

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Дунайський університет Кремс (Австрія)
Донбаська державна машинобудівна академія
Запорізький національний технічний університет
Західночеський університет (Чехія)
Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України
Люблінський технологічний університет (Польща)
Національний технічний університет «КПІ ім. І. Сікорського»
Національний університет «Львівська політехніка»
Український інститут науково-технічної експертизи та інформації
Технологічний інститут Карлсруе (Німеччина)
Університет Вітовта Великого (Литва)
Університет Тор Вергата (Італія)
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України
ІнМехМаш ім. акад. У.А. Джолдасбекова (Казахстан)
Ясський технічний університет (Румунія)

**Збірник тез доповідей
IV Міжнародної науково-технічної конференції
«Перспективи розвитку машинобудування
та транспорту – 2025»**

3 – 5 червня 2025 р.

**Abstracts of papers presented at
IV International scientific and technical conference
“Prospects for the Development of Mechanical Engineering
and Transport – 2025”**

3 – 5 June 2025

Вінниця – 2025 – Vinnytsia

УДК 004+378+537+615+621+629

З-41

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 14 від 26 червня 2025 року)

Редакційна колегія:

**В. Біліченко, Л. Козлов, А. Поляков, В. Михалевич, С. Павлов,
В. Савуляк, І. Назаренко, О. Поліщук**

За загальною редакцією Леоніда Поліщука

Збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2025»: Збірник тез. [Електронне видання] – Вінниця: ВНТУ. – 2025. – 664 с. (PDF)

ISBN 978-617-8163-51-8

В тезах доповідей представлені сучасні наукові, технічні та інженерні досягнення провідних вчених України і зарубіжних країн в напрямку розвитку динаміки та міцності машин і споруд, теоретичних та прикладних задач обробки металів тиском і автотехнічних експертиз, галузі штучних імплантів в механічній біоінженерії, транспортних систем і технологій, матеріалознавства та довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій, використання вібрацій в техніці та технологіях, технологій та систем автоматизації машинобудування, проблем проектування, виготовлення та експлуатації озброєння та військової техніки, інноваційних технологій в контексті підготовки фахівців технічних спеціальностей у воєнний та повоєнний час. Для наукових працівників, аспірантів, викладачів вищих навчальних закладів, інженерів та студентів.

УДК 004+378+537+615+621+629

ISBN 978-617-8163-51-8 (PDF)

ISBN 978-966-641-975-3 (друк)

© Вінницький національний технічний університет, укладання, 2025

ЗМІСТ

Пленарне засідання

1. *Tarek Zohdi* **MACHINE-LEARNING ENABLED DIGITAL-TWINS OF MULTI-DRONE SWARM SYSTEMS** 1
2. *Marco Ceccarelli* **CHALLENGES IN MECHANISM DESIGN FOR ROBOTICS** 3
3. *Іван Назаренко, Олег Дедов, Андрій Бондаренко, Олександр Дьяченко, Андрій Запривода, Євген Міщук, Микола Клименко, Микола Нестеренко, Віктор Нечипорук, Сергій Орищенко, Микола Ручинський, Володимир Слюсар* **ЕНЕРГЕТИКА ПРОЦЕСІВ МАШИН І ТЕХНОЛОГІЙ БУДІВЕЛЬНОЇ ІНДУСТРІЇ (ТЕОРІЯ, АНАЛІЗ, РОЗРАХУНКИ)** 4
4. *Ольга Іванівна Звірко* **ПРОБЛЕМИ ДОВГОВІЧНОСТІ ТА ЦІЛІСНОСТІ ТРУБОПРОВІДІВ ПІД ЧАС ЇХ ПЕРЕПРОФІЛЮВАННЯ ДЛЯ ВОДНЮ У ЗЕЛЕНІЙ РЕКОНСТРУКЦІЇ УКРАЇНИ (PIPELINE DURABILITY AND INTEGRITY ISSUES AT THE REPURPOSING FOR HYDROGEN SERVICE IN UKRAINE'S GREEN RECONSTRUCTION)** 6
5. *Ігор Павлович Паламарчук* **РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОЦІНКИ ЯКІСНОГО СТАНУ ВИРОБІВ МАТЕМАТИЧНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ МЕТОДОМ ФАКТОРНИХ ПРОСТОРІВ** 8
6. *Віктор Вікторович Біліченко, Сергій Володимирович Цимбал, Юрій Юрійович Кукурудзяк* **СТВОРЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ МІСТА** 11
7. *Андрій Олегович Соколько, Олег Григорович Аврунін* **ІНЖЕНЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В РИНОЛОГІЇ: СИМУЛЯЦІЯ, НАВІГАЦІЯ ТА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ХІРУРГІЇ** 16
8. *Геннадій Анатолійович Баглюк* **НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ ПІДХОДИ В ПОРОШКОВІЙ МЕТАЛУРГІЇ КОМПОЗИЦІЙНИХ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ** 19

Секція 1. Проблеми динаміки та міцності машин і споруд

1. *Ілона Володимирівна Драч, Максим Диха* **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ В'ЯЗКОСТІ РОБОЧОЇ РІДИНИ НА ЇЇ РУХ В КАМЕРІ АВТОБАЛАНСИРА ТИПУ LEVLANC** 22
2. *Владислав Миколайович Франчук, Людмила Михайлівна Самчук* **ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО З'ЄДНАННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ КУЗОВНИХ КОНСТРУКЦІЙ АВТОМОБІЛІВ** 24
3. *Павло Миколайович Забродський, Олександр Васильович Медведський, Євгеній Сергійович Сироїд* **ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ НА НАПРУЖЕНИЙ СТАН ВІДРІЗНИХ ТОКАРНИХ РІЗЦІВ** 27
4. *Вячеслав Олександрович Єлістратов, Олександр Володимирович Павленко* **ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСІВ САД У СТВОРЕННІ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ ДЛЯ АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РАМ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ** 29
5. *Петро Пукач* **ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУХОМОГО ДРОТУ ЗА ДОПОМОГОЮ АСИМПТОТИЧНОГО МЕТОДУ** 32
6. *Геннадій Борисович Філімоніхін, Юлія Олександрівна Остапчук, Любов Сергіївна Олійніченко* **ПРАКТИЧНІ СПОСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ МАСОВОЇ І АЕРОДИНАМІЧНОЇ (ГІДРОДИНАМІЧНОЇ) НЕЗРІВНОВАЖЕНОСТІ ЛОПАТЕВОГО ГВИНТА** 34

7. Володимир Ігорович Кузьо, Володимир Миколайович Гурський, Арсеній Назарович Галай КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗБІРНИХ ПАНДУСІВ	37
8. Сергій Володимирович Мироненко, Анатолій Вікторович Ткачов, Олексій Анатолійович Ткачов ВПЛИВ РАДІУСУ КРИВИЗНИ КРАНОВОГО МОСТУ НА ЙОГО ДЕФОРМОВАНУ ПОВЕДІНКУ	40
9. Роман Іванович Сивак, Володимир Сергійович Наляжний ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ УЩІЛЬНЕННЯ	42
10. Андрій Валентинович Слабкий, Леонід Клавдійович Поліщук ІМПУЛЬСНЕ ТА УДАРНЕ НАВАНТАЖЕННЯ В МЕХАНІЦІ РУЙНУВАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА МАТЕРІАЛІВ	45
11. Ярослав Петрович Романчук, Андрій Вікторович Баранов ЗАДАЧА ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНИХ ВИСОТИ Й ДАЛЬНОСТІ ПОЛЬОТУ ДИМОВОЇ ГРАНАТИ	47
12. Андрій Миколайович Сліпчук ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РОБОЧИХ КУТІВ ІНСТРУМЕНТА НА ЗУБОНАРИЗАННЯ МЕТОДОМ POWER SKIVING	49
13. Володимир Михайлович Шатохін, Микола Сергійович Ярмак ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ НЕЛІНІЙНИХ МОДЕЛЕЙ МАШИНИХ АГРЕГАТІВ	51
14. Станіслав Юрійович Костюк СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ У ТРАНСМІСІЯХ АВТОМОБІЛІВ	53
15. Андрій Валентинович Слабкий, Владислав Олександрович Бабійчук ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗМЕНШЕННЯ МЕТАЛОЄМНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ БАРАБАННОЇ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ МІЦНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ	55
16. Геннадій Борисович Філімоніхін, Юлія Олександрівна Сокальська, Юлія Олександрівна Остапчук МЕТОД ЧОТИРЬОХ ПРОБНИХ ПУСКІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МАСОВОЇ І АЕРОДИНАМІЧНОЇ НЕЗРІВНОВАЖЕНОСТІ ПОВІТРЯНОГО ГВИНТА	57
17. Любомир Васильович Крайник, Ігор Гнатович Дуфанець, Мирон Іванович Магац, Степан Миколайович Хімка ФОРМУВАННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ ТРИВІСНОГО АВТОБУСА З МОНОБЛОЧНИМ КУЗОВОМ	60
18. Вадим Вікторович Хворостяний, Микола Анатолійович Долгов, Максим Олександрович Цисар, Володимир Єгорович Бодунов, Роман Сергійович Старинко ОСОБЛИВОСТІ РОЗКИДУ ГРАНИЦІ МІЦНОСТІ В УМОВАХ ЗГИНУ ТОНКОЛИСТОВИХ ЗРАЗКІВ ФЛОАТ-СКЛА	62
19. Сергій Віталійович Бірюков, Олександр Анатолійович Юрченко РАМИ ВІЗКІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ВАГОНІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ	65
20. Микола Павлович Ярошевич, Тетяна Серафимівна Ярошевич, Олександр Володимирович Шовкомуд САМОСИНХРОНІЗАЦІЯ ВІБРОЗБУДНИКІВ З КРАТНИМИ ЧАСТОТАМИ ОБЕРТАННЯ	67
21. Ольга Олександрівна Фурса, Сергій В'ячеславович Свиридов АНАЛІЗ МЕТОДОЛОГІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТА АПАРАТІВ МЕХАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ	69
22. Сергій Іванович Котик, Андрій Валентинович Слабкий ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	71
23. Андрій Юлійович Дреус, Анатолій Валентинович Сохацький, Кристина Віталіївна Геті ПРОБЛЕМА АЕРОДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ МАЛОРОЗМІРНИХ ЕКРАНОПЛАНІВ	73

24. Євген Валентинович Харченко, Дмитро Ігорович Бутринський, Павел Комада МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПРИХОПЛЕНІЙ КОЛОНІ БУРИЛЬНИХ ТРУБ ПІД ЧАС ЇЇ ВИВІЛЬНЕННЯ ІМПУЛЬСНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ	75
25. Євген Валентинович Харченко, Андрій Романович Біловус ПОПЕРЕЧНІ КОЛИВАННЯ БАШТОВОЇ БУРОВОЇ ВЕЖІ ЗІ ЗМІННИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПО ДОВЖИНІ	77
26. Leonid Polishchuk, Oleh Piontkevych, Andrzej Smolarz, Artem Sviatlov FEATURES OF THE DYNAMIC PROCESSES IN CONTROL SYSTEMS OF EMBEDDED DRIVES OF BELT CONVEYORS WITH VARIABLE LOAD ON THE WORKING SECTION	80
27. Володимир Володимирович Блажко, Анна Ігорівна Аніщенко, Олег Олександрович Кулаєнко, Андрій Валерійович Рябушко МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ФІБРОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ В РОБОЧОМУ ПРОСТОРІ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ	84
28. Сергій Сергійович Ляховченко, Сергій Іванович Котик, Андрій Валентонович Слабкий ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗВІДМОВНОСТІ АМОРТИЗАТОРІВ	86
29. Євген Валентинович Харченко, Василь Йосипович Чабан, Андрій Романович Біловус, Андрій Петрович Охримович ЗБУДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ РОТОРА І СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА У ПЛОЩИНІ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ	88

Секція 2. Роботомехатроніка та системи автоматизації машинобудування

1. Олександр Андрійович Дишев, Володимир Миколайович Гурський, Надія Іванівна Магерус ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА ПРИВОДІВ ЛІНІЙНИХ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ	91
2. Віталій Михайлович Корендій, Олександр Юрійович Качур, Михайло Васильович Пилип, Роман Богданович Карпин РОЗРОБЛЕННЯ МОБІЛЬНОГО ГУСЕНИЧНОГО РОБОТА З МАНІПУЛЯТОРОМ ТИПУ SCARA	94
3. Сергій Вадимович Ковалевський ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ БАГАТОЛЕЗОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ ШЛЯХОМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ОДНОРІДНОСТІ РІЗУЧИХ ПЛАСТИН	96
4. Леонід Володимирович Коломієць, Олександр Михайлович Лимаренко ОБМЕЖНИК ВАНТАЖОПІДЙІМАЛЬНОСТІ КРАНІВ МОСТОВОГО ТИПУ	98
5. Ihor Popomarenko, Volodymyr Pavlenko MODELING OF EQUIPMENT AND PARTS USING MACHINE LEARNING	100
6. Артем Вікторович Світлов, Вадим Олександрович Трегубов, Леонід Клавдійович Поліщук, Олег Володимирович Піонткевич АНТИРЕВЕРСНИЙ МЕХАНІЗМ ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА	102
7. Максим Євгенович Соколовський, Антон Сергійович Горбачов, Олег Володимирович Піонткевич ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ	105
8. Олександр Васильович Петров, Андрій Юрійович Фарафон, Віктор Сергійович Коломієць, Сергій Валерійович Мельник ВПЛИВ ДІАМЕТРІВ ДРОСЕЛІВ НА ЗНИЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ГІДРОЦИЛІНДРІ ПІДЙОМУ СТРІЛИ МАШИНИ МАНІПУЛЯТОРНОГО ТИПУ	108
9. Єлизавета Юрїївна Синицина, Владислав Олександрович Степчук, Олександр Павлович Губарев СТРУКТУРА МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА	110
10. Ярослав Володимирович Сольський, Ольга Олександрівна Фурса, Дмитро Анатолійович Лосіхін РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ МАНІПУЛЯТОРУ ДЛЯ ЗЧИТУВАННЯ ШТРИХ-КОДІВ	112

11. Ярослав Володимирович Сольський, Дмитро Русланович Костенко, Ольга Олександрівна Фурса, Дмитро Анатолійович Лосіхін	РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ УНІВЕРСАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ МОНІТОРИНГУ СПІВРОБІТНИКІВ	114
12. Олександр Юрійович Повстяной, Віктор Олександрович Сацук, Людмила Миколаївна Маркіна	РОЗРОБКА ТА ВИГОТОВЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СМАРТ-РУКИ РОБОТА-ГУМАНОЇДА	116
13. Антоніна Вікторівна Кологойда, Геннадій Володимирович Пасов, Юрій Олексійович Горогоцький	РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОДАЧІ ЗАГОТОВОК НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПК	119
14. Богдан Михайлович Цимбал, Денис Євгенійович Молочков	ПРОМИСЛОВІ ЗВАРЮВАЛЬНІ РОБОТИ: ВИРІШЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОБЛЕМ ТА СТИМУЛЮВАННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ	121
15. Артем Іванович Колосовський	НЕОБХІДНІСТЬ АВТОМАТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕПЛО-ВОЛОГОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВОК ТІСТА ПРИ ВИПІКАННІ ХЛІБА В ТУНЕЛЬНІЙ ПЕЧІ	124
16. Дмитро Олександрович Лозінський, Олег Володимирович Піонткевич, Олексій Андрійович Сиротін, Олександр Ігорович Кавецький, Ліфен Ян	ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ДОПОМІЖНИХ ОПЕРАЦІЙ В МАШИНОБУДУВАННІ	125
17. Леонід Геннадійович Козлов, Юрій Анатолійович Буренніков, Андрій Альбертович Кашканов, Сергій Леонідович Козлов	АДАПТИВНИЙ РЕГУЛЯТОР З ДИНАМІЧНОЮ FUZZY-КОРЕКЦІЄЮ НАСТРОЙКИ ДЛЯ МЕХАТРОННОГО ПРИВОДА МАНІПУЛЯТОРА	128
18. Леонід Геннадійович Козлов, Артем Олегович Товкач, Вадим Анатолійович Ковальчук	ПОКРАЩЕННЯ СТАТИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІДРОПРИВОДА НА БАЗІ РЕГУЛЬОВАНОГО НАСОСА ТА КОНТРОЛЕРА	131
19. Юрій Анатолійович Буренніков, Леонід Геннадійович Козлов, Сергій Володимирович Репінський, Костянтин Михайлович Няньчук	МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ МЕХАТРОННОГО ГІДРОПРИВОДУ МАНІПУЛЯТОРА З ЧАСТОТНИМ КЕРУВАННЯМ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА	134
20. Pavlo Brukhal, Yaroslav Kusi	PREDICTING THE OPERABILITY OF THE TECHNOLOGICAL SYSTEM DURING PARTS MACHINING	137
21. Oleksandr Petrov, Edl Milan, Artem Tovkach, Leonid Kozlov	STABILITY OF THE HYDRAULIC DRIVE BASED ON A VARIABLE DISPLACEMENT PUMP WITH AN ELECTRO-HYDRAULIC REGULATOR	139
22. Євгеній Вікторович Рибін, Сергій Іванович Сухоруков	МЕХАНІЗМ НАТЯГУ ДРОТУ В ПРОЦЕСІ РІЗАННЯ ЗАГОТОВОК З ПІНОПОЛІСТИРОЛУ	142

Секція 3. Транспортні системи і технології

1. Вячеслав Павленко, Віталій Павленко	НАВЧАННЯ ТА АДАПТАЦІЯ МУЛЬТИАГЕНТНИХ СИСТЕМ НА ТРАНСПОРТІ, АБО ЯК ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ РЕАГУЄ НА ЗМІНИ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ	144
2. Костянтин Едуардович Голенко, Ілона Володимирівна Драч, Орест Зенонович Горбай, Дмитро Васильович Налесник, Євгенія Ігорівна Яковенко	АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ У ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ	146
3. Світлана Михайлівна Шарай, Володимир Прохорович Сахно, Віктор Михайлович Поляков, Максим Петрович Рой	ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЗАСТОСУВАННЯ НОВІТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ	148
4. Інна Вікторівна Віштак, Вікторія Вадимівна Химич, Анастасія Сергіївна Гайдай	ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МІЖНАРОДНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ	150

5. <i>Альбіна Ігорівна Кузьменко, Вікторія Сергіївна Павлова</i> ПРОЄКТУВАННЯ ТРАНСПОРНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ ПЕРЕВЕЗЕНЬ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	153
6. <i>Олексій Вікторович Фомін, Олексій Вікторович Бурлуцький, Іван Іванович Кульбовський, Данило Олексійович Бурлуцький</i> KEY ASPECTS OF CREATING DIGITAL TWINS OF FREIGHT CARS AT THE DESIGN STAGE	155
7. <i>Алі Нурддинович Аль-Амморі, Олександр Васильович Мозговий, Руслан Миколайович Іщенко</i> ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В АВТОМОБІЛЯХ	158
8. <i>Юрій Володимирович Полупан, Ольга Володимирівна Малєєва</i> ЛОГІСТИКА ЗБУТУ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ ОБОРОННОГО ПРИЗНАЧЕННЯ .	160
9. <i>Ігор Олександрович Хітров</i> ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТУ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА БЕЗПЕКУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	162
10. <i>Борис Іванович Мокін, Олександр Борисович Мокін, Богдан Володимирович Пасєка</i> МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО РУХУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ З АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З ЗУПИНКОЮ В НАСЕЛЕНОМУ ПУНКТІ	164
11. <i>Петро Федорович Горбачов, Станіслав Валерійович Свічинський</i> ШВИДКІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ З ДВОМА ПОВІЛЬНИМИ АВТОМОБІЛЯМИ НА СМУЗІ РУХУ БЕЗ ОБГОНІВ ТА ВИПЕРЕДЖЕНЬ	166
12. <i>Олександр Петрович Кравченко, Ян Янович Діжо</i> ПЕРЕДУМОВИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ЗАВДАННЯХ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ АВТОМОБІЛІВ	168
13. <i>Максим Миколайович Таранюк, Юлія Анатоліївна Малєєва</i> МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ В ЦЕНТРАХ ГУМАНІТАРНОЇ ДОПОМОГИ	172
14. <i>Олександр Валентинович Зимовець</i> ВПЛИВ ВІКОВОЇ СТРУКТУРИ АВТОМОБІЛЬНИХ ПАРКІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	174
15. <i>Євген Вікторович Брагін</i> МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА АНАЛІЗУ РИЗИКІВ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ	176
16. <i>Юрій Анатолійович Монастирський, Олексій Павлович П'ятниця, Сергій Миколайович Сорока</i> ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПАРКУ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ ПРИ ВИДОБУВАННІ ГІРНИЧИХ ПОРІД З РІЗНОЮ ЩІЛЬНІСТЮ	178
17. <i>Юрій Анатолійович Монастирський, Даниїл Сергійович Борис</i> УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТУВАННЯМ ЗАЛІЗНИХ РУД В ШАХТІ ПІСЛЯ СВЕРДЛОВИННОЇ ГІДРОМОНІТОРНОЇ ВІДБІЙКИ	180
18. <i>Юрій Хомич Савін, Олександр Вікторович Соколенко</i> ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ ВІД БОРТОВОЇ ДІАГНОСТИКИ	182
19. <i>Олександр Володимирович Гаврюков, Михайло Юрійович Колесніков, Вадим Юрійович Луценко</i> РОТОРНИЙ ЕКСКАВАТОР ПОПЕРЕЧНОГО КОΠΑННЯ З ТЕЛЕСКОПІЧНОЇ СТРІЛОЮ	184
20. <i>Віктор Євгенійович Перлов</i> ШВИДКІСТЬ ЯК ОСНОВНИЙ КРИТЕРІЙ БЕЗПЕКИ ПЛАНУВАЛЬНИХ РІШЕНЬ	188
21. <i>Євгеній Михайлович Лебідь, Наталія Олександрівна Лужанська, Ірина Георгіївна Лебідь</i> ВПЛИВ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ	190
22. <i>Денис Сергійович Анусін, Микола Васильович Митко</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНО-СЕРВІСНОЇ ЛОГІСТИКИ ДЛЯ ТЕХНІКИ ЛІСОВОГО КОМПЛЕКСУ В ДИЛЕРСЬКИХ СТРУКТУРАХ	192

23. Валерій Юрійович Старжинський, Микола Васильович Митко	ЦІЛЬОВА ФУНКЦІЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ ЗУПИНОК ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ПЕРЕХРЕСТЯХ	196
24. Андрій Альбертович Кашканов, Валерій Володимирович Буряк	ЗЕРНОВА ЛОГІСТИКА АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ В СУЧАСНИХ УМОВАХ РОЗВИТКУ АГРАРНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ	198
25. Андрій Альбертович Кашканов, Микола Леонідович Москалюк	ГНУЧКІСТЬ ТА АДАПТИВНІСТЬ ЯК ІНСТРУМЕНТИ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ	200
26. Олександр Олександрович Галушак, Дмитро Олександрович Галушак	ОСОБЛИВОСТІ ВПОРСКУВАННЯ І ЗГОРЯННЯ СУМІШІ БЮДИЗЕЛЬНОГО ТА ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА В ЦИЛІНДРАХ ДИЗЕЛЯ	202
27. Володимир Волков, Володимир Кужель, Тетяна Волкова	ІНЖИНІРИНГ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ І УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ АВТОМОБІЛІВ	204
28. Мирослав Стефанович Оліскевич, Назар Ярославович Хомин	ЗАСТОСУВАННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗКЛАДУ РОБОТИ ВОДІЇВ	206
29. Сергій Сергійович Мямлін	СТВОРЕННЯ СУЧАСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВАГОНІВ-ЗЕРНОВОЗІВ	208
30. Роман Марчук, Назар Марчук	ДО ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРА ПАЛЬЦЯ ГУСЕНИЧНОГО ШАРНІРА В РЕЖИМІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	211
31. Владислав Вадимович Суслов	ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПОЇЗДКИ НА ВИБІР СПОСОБУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МІСЬКОЮ ТЕРИТОРІЄЮ	213
32. Володимир Васильович Рудзінський, Сергій Володимирович Мельничук, Володимир Олександрович Ломакін	MAIN SPREADING LIMITATIONS OF BATTERY-ELECTRIC VEHICLES	215
33. Сергій Іванович Кривошапов, Олександр Іванович Назаров, Микола Єгорович Сергієнко	СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ВИТОКУ ГАЗУ В ГАЗОБАЛОННИХ АВТОМОБІЛІВ	218
34. Євген Іванович Калінін	СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЕРЕКОСУ В ЗАЧЕПЛЕНІ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ	220
35. Станіслав Юрійович Костюк	СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ У ТРАНСМІСІЯХ АВТОМОБІЛІВ	222
36. Богдан Тарасович Столяр, Ігор Євгенович Грицай	ДИНАМІЧНІ ЯВИЩА В ПРОЦЕСАХ НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС	224

Секція 4. Проблеми проектування, виготовлення та експлуатації озброєння

1. Олександр Сергійович Малярєнко	НАПРЯМКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ОСНОВНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СКЛАДОВИХ НАЗЕМНИХ ЗАПИТУВАЧІВ СИСТЕМИ ДЕРЖАВНОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ВПІЗНАВАННЯ	226
2. Василь Йонович Климченко, Михайло Рімович Арасланов, Кристина Альбертівна Тах'ян	АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ СУПРОВОДЖЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА НАДХОДЖЕННЯ ДАНИХ В НЕПОВНІЙ СФЕРИЧНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ	228
3. Олександр Петрович Терещенко, Андрій Павлович Поляков, Лариса Василівна Мороз	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ	230

4. <i>Олександр Петрович Терещенко, Андрій Павлович Поляков, Лариса Василівна Мороз</i> АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ МАШИН ІНЖЕНЕРНОГО ОЗБРОЄННЯ	233
5. <i>Андрій Вікторович Колесник, Володимир Володимирович Любич, Інна Миколаївна Колесникова</i> СУЧАСНІ МЕТОДИ БУДІВНИЦТВА ОБЛАДНАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК ЗА ДОПОМОГОЮ 3-D ДРУКУ	236
6. <i>Андрій Вікторович Колесник, Володимир Володимирович Любич, Павло Якович Бондаренко</i> МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПІДРОЗДІЛІВ РТВ В УМОВАХ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ	239
7. <i>Андрій Вікторович Колесник, Володимир Володимирович Любич, Інна Миколаївна Колесникова</i> ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ДАЛЬНІХ ДРОНІВ З ВРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ СУЧАСНОЇ ВІЙНИ	242
8. <i>Андрій Вікторович Колесник, Ігор Вячеславович Віщун, Юрій Анатолійович Діденко</i> БЕЗПЛОТНІ ТРАНСПОРТНІ АПАРАТИ. ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ В УМОВАХ СУЧАСНОЇ ВІЙНИ	245
9. <i>Микола Григорович Домненко, Володимир Володимирович Любич, Андрій Вікторович Колесник</i> УЛАШТУВАННЯ ХИБНИХ ПОЗИЦІЙ ДЛЯ БОРОТЬБИ З ДРОНАМИ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ НА СВІТЛОВІ ПРОМЕНІ	248
10. <i>Андрій Вікторович Колесник, Дмитро Васильович Записов, Олександр Петрович Терещенко</i> СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА КОМФОРТНОСТІ УКРИТТІВ ДЛЯ ОСОБОВОГО СКЛАДУ НА ОСНОВІ ДОСВІДУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ	251
11. <i>Валентина Володимирівна Коваленко, Геннадій Анатолійович Баглюк, Анатолій Іванович Троцан, Галина Олексіївна Максимова, Галина Михайлівна Молчановська, Наталія Олексіївна Уськова</i> СТРУКТУРА І ЯКІСТЬ СТАЛІ СИСТЕМИ FE-CR-MO-V	254
12. <i>Олександра Андріївна Амеліна, Олександр Вікторович Зайчук, Юрій Сергійович Гордєєв, Юлія Русланівна Калішенко, Даниїл Володимирович Філоненко, Яна Сергіївна Ставнича</i> СТРОНЦІЙ-АНОРТИТОВА КЕРАМІКА ДЛЯ РАКЕТНОЇ ТЕХНІКИ	256
13. <i>Альберт Анатолійович Леках, Володимир Вікторович Старцев</i> ОЦІНКА МАНЕВРНОСТІ ПІДРОЗДІЛІВ МАТЕРІАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛОГІСТИКИ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ	258
14. <i>Володимир Володимирович Вознюк, Максим Володимирович Грішин, Оксана Борисівна Максимова</i> ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ МІННИХ ЗАГОРОДЖЕНЬ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ДЕСАНТНИМ ОПЕРАЦІЯМ	260
15. <i>Михайло Вікторович Ярмоленко, Віктор Олександрович Кузьменко, Ігор Юрійович Яриш</i> МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ БОЄПРИПАСІВ ТА АРТИЛЕРІЙСЬКИХ СТВОЛІВ	263
16. <i>Володимир Максимюк, Віра Ушакова, Олексій Ушаков</i> ПРО ДОСЛІДЖЕННЯ УДАРНИХ ХВИЛЬ ВІД ВІДСТРІЛУ КУЛЬ У ВОДЯНОМУ КУЛЕУЛОВЛЮВАЧІ	265
17. <i>Микола Войтович, Роман Лампіка</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ, МЕХАНІЧНИХ І ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТОНКОСТІННИХ ФРАГМЕНТІВ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ НА ЇХ ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН	267
18. <i>Віталій Олександрович Кудраш, Богдан Сергійович Резидент</i> ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БОЙОВИХ МАШИН ПІХОТИ З ВРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ БОЙОВИХ ДІЙ В УКРАЇНІ	269

19. *Любомир Васильович Крайник, Петро Михайлович Сивулька, Олег Михайлович Сукач* **КОНУСНИЙ ІНДЕКС СІ (CONE INDEX) – БАЗОВИЙ ПОКАЗНИК ОЦІНКИ РУХУ МАШИН НА ГРУНТОВИХ ПОВЕРХНЯХ** 272
20. *Альона Анатоліївна Ніжньовська, Роман Ігорович Лазаренко* **КРИМІНАЛІСТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСТАНДАРТНОЇ ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ**..... 274
21. *Андрій Володимирович Кіхтан, Дмитро Васильович Налесник, Тарас Любомирович Крайник* **ГІБРИДНИЙ ПРИВІД ВІЙСЬКОВОГО БАГГІ**..... 277
22. *Крайник Тарас Любомирович, Дмитро Петрович Мельник, Степан Михайлович Ковалишин* **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТА КІНЕМАТИКИ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ ДЛЯ БЕЗДОРІЖЖЯ**..... 279

Секція 5. Теоретичні та прикладні задачі механіки деформівного твердого тіла, обробки металів тиском і автотехнічних експертиз

1. *Сергій Григорович Карнаух, Наталія Вікторівна Чоста* **РОЗРОБКА РОЗМІРНОГО РЯДУ КЛИНОШАРНІРНИХ ПРЕСІВ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ ПРОКАТУ** 281
2. *Роман Іванович Сивак, Леонід Клавдійович Поліщук, Гао Хіанан* **УТОЧНЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ФУНКЦІЙ ПОРИСТОСТІ ПРИ ПЛАСТИЧНОМУ ДЕФОРМУВАННІ МАТЕРІАЛІВ** 284
3. *Дель Гаррі Данилович* **COMBINED FRACTURE MODELS OF PLASTIC MATERIALS**..... 287
4. *Іграмотдін Серажутдінович Алієв, Володимир Миколайович Левченко, Роман Іванович Сивак* **ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМОВНОСТІ МЕТАЛУ ПРИ РАДІАЛЬНОМУ ВИДАВЛЮВАННІ** 291
5. *Володимир Миколайович Левченко, Лейла Іграмотдіновна Алієва, Пейман Бехменович Абхарі, Олександр Генадійович Малій* **ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИДАВЛЮВАННЯ**..... 294
6. *Ярослав Вікторович Фролов, Florian Nürnberger, Олександр Сергійович Бобух, Вячеслав Володимирович Бояркін, Дмитро Володимирович Коноводов, Ольга Михайлівна Кузьміна* **FRactal ARCHITECTURE PRINCIPLES IN SOLID-STATE ALLOYING WITH KIRIGAMI STRUCTURES**..... 297
7. *Антон Євгенович Грановський* **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИДАВЛЮВАННЯ КОНІЧНОГО СТАКАНУ МЕТОДОМ ВЕРХНЬОЇ ОЦІНКИ** 300
8. *Пейман Бахменович Абхарі, Денис Олександрович Солянов, Дмитро Сергійович Олійник* **NUMERICAL ANALYSIS OF RADIAL-FORWARD EXTRUSION USING FINITE ELEMENT METHOD** 302
9. *Віталій Сергійович Косарєв, Олег Володимирович Чучин, Дмитро Олександрович Бочковий* **ДОСЛІДЖЕННЯ УТВОРЕННЯ ДЕФЕКТУ УТЯЖИНА ПРИ ПРОЦЕСІ ЗВОРОТНО-ПРЯМОМУ ВИДАВЛЮВАННІ** 304
10. *Роман Іванович Сивак, Данило Віталійович Балагур* **ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПОРИСТИХ ТІЛ** 306
11. *Олександр Володимирович Грушко, Інна Юріївна Кириця, Сергій Іванович Сухоруков, Андрій Васильович Губанов, Томас Шрефл* **MODELLING OF DEFORMATIONS ASSOCIATED WITH TYPE-II RESIDUAL STRESSES IN SINTERED ND-FE-B PERMANENT MAGNETS**..... 309
12. *Богдан Анатолійович Шелудченко, Віктор Романович Білецький, Віктор Миколайович Боровський* **УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМОЗМІНИ ДЕФОРМОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ** 314
13. *Михайло Борисович Штерн, Олег Володимирович Михайлов, Анатолій Олегович Михайлов, Євген Васильович Штефан* **ЕВОЛЮЦІЯ ДЕФЕКТІВ**

МІКРОНЕОДНОРІДНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ГРАНИЧНІ КРИТЕРІЇ ЇХ ПЛАСТИЧНОГО РУЙНУВАННЯ	316
14. <i>Костянтин Дмитрович Колісник, Віталій Леонідович Чухліб</i> ВПЛИВ ФАКТОРА ФОРМИ ЗАГОТОВКИ НА ЯКІСТЬ КУВАННЯ ГАКІВ	319
15. <i>Богдан Михайлович Маркович, Юлія Андріївна Сенік, Христина Іванівна Ліщинська</i> МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ РОЗМІРНИХ ЕФЕКТІВ НА МОДУЛІ ПРУЖНОСТІ ЛОКАЛЬНО НЕОДНОРІДНИХ НЕФЕРОМАГНІТНИХ ТОНКИХ ПЛІВОК	321
16. <i>Олександр Сергійович Нефед'єв, Сергій Павлович Нефед'єв, Яків Юхимович Бейгельзімер, Валерій Федорович Балакін, Роман Юрійович Кулагін</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТРЬОХНИТКОВОГО ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ-РОЗДІЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ Х-ПОДІБНОГО РОЗТАШУВАННЯ ВАЛКІВ	323
17. <i>Юрій Бабай, Сергій Губський</i> АЛГОРИТМ МОДЕЛЮВАННЯ ВАЛКОВОГО ФОРМУВАННЯ КОРИТНОГО ПРОФІЛЮ 3D-ТИПУ	325
18. <i>Володимир Маркусович Михалевич, Микола Анатолійович Колісник, Андрій Анатолійович Штуць</i> ПОБУДОВА ТА СПРОЩЕННЯ МОДЕЛІ ДЕФОРМОВНОСТІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК У ПРОЦЕСАХ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ ТА ТОРЦЕВОГО СТИСНЕННЯ	327
19. <i>Володимир Маркусович Михалевич, Оксана Іванівна Тютюнник, Юрій Володимирович Добранюк</i> ТРИСТУПЕНЕВА СХЕМА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ДЕФОРМУВАННЯ З ПРОМІЖНИМ ЗНИЖЕННЯМ ШВИДКОСТІ ПІСЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ГРАНИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ	330
20. <i>Ірина Василівна Луцька, Володимир Ананійович Максимюк, Іван Семенович Чернишенко</i> ПРО ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ ТОРОЇДАЛЬНИХ ОБОЛОНОК НЕКОЛОВОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ	333
21. <i>Олександр Миколайович Дуванський, Віталій Леонідович Чухліб</i> ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ КУВАННЯ КОРПУСІВ ЗАПІРНОЇ АРМАТУРИ НА ТЕЧІЮ МЕТАЛУ ТА ФОРМУ ПОКОВКИ	335
22. <i>Василь Іванович Музичук</i> ВІДНОВЛЕННЯ ЗАПАСУ ПЛАСТИЧНОСТІ ЗАГОТОВОК ТЕРМІЧНОЮ ОБРОБКОЮ	337
23. <i>Олександр Володимирович Калюжний, Володимир Леонідович Калюжний, Ольга Віталіївна Холявік</i> ВАРІАНТИ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ВИТЯГУВАННЯ З ПОТОНШЕННЯМ	339
24. <i>Юрій Петрович Глухов</i> НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ДВОШАРОВОЇ ПОЛОСИ З ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ НА ЖОРСТКІЙ ОСНОВІ	341
25. <i>Андрій Миколайович Шостачук</i> МАРКІВСЬКІ ЛАНЦЮГИ В ПРОЦЕСАХ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ	343
26. <i>Андрій Юрійович Глухов</i> ПРО ВПЛИВ ПОЧАТКОВИХ НАПРУЖЕНЬ НА ШВИДКОСТІ ХВИЛЬ КРУЧЕННЯ У НЕСТИСЛИВОМУ КОМПОЗИТНОМУ МАТЕРІАЛІ ПРИ ПРОКОВЗУВАННІ ШАРІВ	345
27. <i>Сергій Іванович Сухоруков, Владислав Анатолійович Баранов</i> АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМАЩЕННЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ ПОШАРОВОГО ЛОКАЛЬНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК	347
28. <i>Віктор Валерійович Савуляк, Володимир Олександрович Білостечний</i> ВПЛИВ ЛОКАЛЬНОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛИСТОВИХ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЇХ ПЛАСТИЧНІСТЬ	349
29. <i>Тетяна Ігорівна Молодецька</i> ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ПОЕТАПНОГО ГНУТТЯ ТОНКОЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ	352

30. *Володимир Олексійович Палієнко, Віталій Леонідович Чухліб* **АНАЛІЗ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ МЕТАЛУ ПРИ КУВАННІ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ** 354
31. *Анна Володимирівна Лисенко, Євген Анатолійович Сторожук* **ЧИСЕЛЬНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТРИШАРОВІЙ ЦИЛІНДРИЧНІЙ ОБОЛОНЦІ ЕЛІПТИЧНОГО ПЕРЕРІЗУ З РЕБРИСТИМ НАПОВНЮВАЧЕМ НА ОСНОВІ ГІПОТЕЗИ ЛАМАНОЇ ЛІНІЇ** 356

Секція 6. Проблеми розвитку галузі штучних імплантатів в механічній біоінженерії

1. *Олексій Михайлович Мормітко, Сергій Васильович Тимчик* **РОЗПІЗНАВАННЯ РУХІВ ОЧЕЙ НА ОСНОВІ БІОЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ** 358
2. *Антон Олександрович Пастушенко, Леонід Григорович Коваль* **СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ СИЛИ ЗАХОПЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕМГ СИГНАЛІВ ТА ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ** 361
3. *Роман Наумович Кветний, Ярослав Володимирович Іванчук* **МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО ПРОЦЕСУ М'ЯЗОВОГО СКОРОЧЕННЯ** 365
4. *Вікторія Володимирівна Федотова* **РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНИХ ІМПЛАНТІВ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ ТРАВМ ШИЇ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА БІОМЕДИЧНІ РІШЕННЯ** 367
5. *Ігор Іванович Сидоренко, Софія Вікторівна Ковбан, Сергій Володимирович Павлов, Вальдемар Вуйцик* **ВИЗНАЧЕННЯ СИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ У КОЛІННОМУ СУГЛОБІ ЛЮДИНИ ПРИ ПРИСІДАННІ** 370
6. *Ігор Іванович Сидоренко, Софія Вікторівна Ковбан, Сергій Володимирович Павлов, Вальдемар Вуйцик* **ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНО-МАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕГМЕНТІВ ТІЛА ДЛЯ БІОМЕХАНІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ** 373
7. *Андрій Олегович Соколюцов, Олег Григорович Аврунін* **ІНЖЕНЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В РИНОЛОГІЇ: СИМУЛЯЦІЯ, НАВІГАЦІЯ ТА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ХІРУРГІЇ** 376
8. *Павло Олександрович Яковишен, Сергій Анатолійович Андрікевич, Артем Володимирович Щербатюк* **ОПТИМІЗАЦІЯ ОБРОБКИ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ В ТЕЛЕМЕДИЧНИХ СИСТЕМАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА АДАПТИВНОГО СТИСНЕННЯ** ... 379
9. *Олег Олександрович Сидорук, Леонід Григорович Коваль* **ОПТИМІЗАЦІЯ МЕХАНІКИ ШТУЧНОГО КОЛІННОГО СУГЛОБА** 382
10. *Дмитро Олександрович Пантелейчук* **МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ТА СТАНУ ЛЮДИНИ В УМОВАХ РОЗУМНОГО СЕРЕДОВИЩА** 386
11. *Сергій Володимирович Костішин* **МОДЕЛЬ РУКИ ЯК БІОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ В ПРОЦЕСІ ПРИЦІЛЮВАННЯ** 389
12. *Максим Олександрович Вітавський, Валерій Іванович Савуляк* **МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СТОМАТОЛОГІЧНИХ РЕСТАВРАЦІЙ ТА ЇХ ВИБІР** 392
13. *Олексій Олександрович Дячук, Сергій Васильович Тимчик* **ГЕМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕХАНІЧНИХ ШТУЧНИХ КЛАПАНІВ СЕРЦЯ** 394
14. *Юрій Євгенович Поуданєн, Андрій Вікторович Кожем'яко* **ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ АРХІТЕКТУР НЕЙРОМЕРЕЖ В ЗАДАЧАХ КЛАСИФІКАЦІЇ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ** 398
15. *Олександр Володимирович Поліщук* **ПІДБІР АПАРАТУРИ ДЛЯ МОБІЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ НАСЕЛЕННЯ: КРИТЕРІЇ ТА ПІДХОДИ** 400

16. *Олександр Нукифорович Романюк, Сергій Володимирович Павлов* **РОЗРОБКИ ІМПЛАНТОВАНИХ НЕЙПРОІНТЕРФЕЙСІВ**..... 403
17. *Zhanbubi Erzhanovna Karataeva, Sadraddin Abdulkarimovich Abdulkarimov, Zulfia Azimkhanovna Zhumabekova, Muratkali Abenovich Zhamanbayev* **ADAPTIVE TRAJECTORY CONTROL FOR MOBILE ROBOTS IN DYNAMIC ENVIRONMENTS**..... 406
18. *Ainur Alibekovna Ormanbekova, Nurtalap Nurlanuly Fazylov, Ospan Matkarimovich Doszhanov, Zhazira Tulegenovna Zhulayeva* **MODELING AND CONTROL OF AN OBJECT RECOGNITION SYSTEM WITH DELTA ROBOTS IN COPPELIASIM**409
19. *Muratkali Abenovich Zhamanbayev, Tolkynai Kanatovna Iskakova, Aigerim Aldabergenkyzy Nauryzbayeva, Nazym Niyazgaliqyzy Nurgali* **EVALUATING KEY APPLICATIONS OF MACHINE VISION IN INDUSTRIAL AND MOBILE ROBOTICS**..... 412
20. *Birzhan Onerbaiuly Kosherbayev, Ainur Alibekovna Ormanbekova, Aigerim Aldabergenkyzy Nauryzbayeva, Nurzhan Beibituly Zhumakhan* **DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR A ROBOTIC MANIPULATOR BASED ON FUZZY LOGIC** 415
21. *Gulzhan Bakytynna Kashaganova, Birzhan Önerbayuly Kosherbayev, Byrzhan Dabayevna Sharipova* **REINFORCEMENT LEARNING FOR AUTONOMOUS DRONE NAVIGATION IN INDOOR ENVIRONMENTS**..... 418

Секція 7. Матеріалознавство та довговічність матеріалів, покриттів, конструкцій

1. *Мирослав Степанович Стечишин, Олександр Володимирович Диха, Денис Вікторович Здоренко, Олег Петрович Бабак* **ЗМІЦНЕННЯ ДОВГОМІРНИХ ОТВОРІВ КАРБОНАТОВАНИМ В ТІЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ** 421
2. *Володимир Валентинович Кухар, Елеонора Олегівна Бутенко* **КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ПРИЧИН ДЕГРАДАЦІЇ ЦИНКОВОГО ПОКРИТТЯ НА ГНУТИХ СТАЛЕВИХ ПРОФІЛЯХ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ** 423
3. *Віктор Курілович, Геннадій Фролов, П.В. Мазур, Тетяна Чевичелова, Віктор Варченко, Сироватка В'ячеслав* **КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ ТИТАНУ**..... 425
4. *Валерій Вікторович Перемітько, Михайло Сергіович Чумак* **ШЛЯХИ КЕРУВАННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ТА ХАРАКТЕРОМ ЗНОСУ КОНТАКТНИХ ПАР ТЕРТЯ** 426
5. *Едуард Анатолійович Лисенков, Вікторія Олексіївна Біла, Ганна Олександрівна Бартощак* **НОВІ НАНОКОМПОЗИТНІ ПОЛІМЕРНІ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ ПОЛІМОЛОЧНОЇ КИСЛОТИ ТА КОМБІНОВАНОГО НАПОВНЮВАЧА «ВУГЛЕЦЕВІ НАНОТРУБКИ – НАНОЧАСТИНКИ СРІБЛА»**..... 428
6. *Оксана Юрчишин, Юрій Філатов, Віктор Ковальов, Володимир Сідорко, Сергій Ковальов* **ПОЛІРУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ОПТОТЕХНІКИ З АЛЮМІНІЮ** 430
7. *Дмитро Олександрович Демянчук, Ольга Іванівна Звірко* **ВПЛИВ ОРІЄНТАЦІЇ НАДРІЗУ ЗРАЗКІВ НА УДАРНУ В'ЯЗКІСТЬ ТРУБОПРОВІДНОЇ СТАЛІ З УРАХУВАННЯМ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**..... 433
8. *Андрій Євгенович Стецько, Максим Андрійович Дружб'як* **ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**..... 435
9. *Олександр Васильович Вдовиченко, Михайло Борисович Штерн, Олена Геннадіївна Кіркова, Анатолій Миколайович Колесников, Андрій Васильович Кузьмов, Неоніла Дмитрівна Ткачук* **ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТЕЙ ПОШИРЕННЯ ПРУЖНИХ ХВИЛЬ В ПОРОШКОВОМУ ТИТАНІ**..... 437
10. *Валерій Іванович Савуляк, Володимир Олександрович Гримашевич* **ПІДВИЩЕННЯ УДАРНО-АБРАЗИВНОЇ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДОРОЖНІХ МАШИН**..... 439

11. *Аліна Олександрівна Макудера , Олена Вікторівна Дуднік, Сергій Миколайович Лакиза, Віктор Петрович Редько, Микола Іванович Гречанюк* **СКЛАДНО-КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ НА ОСНОВІ НАНОКРИСТАЛІЧНОГО ПОРОШКУ ZrO₂** 441
12. *Олена Вікторівна Дуднік, Ірина Олегівна Марек, Олексій Костянтинівич Рубан, Ольга Михайлівна Яценко, Ірина Іванівна Дідук, Тетяна Вячеславівна Мосіна* **ВПЛИВ КОМПЛЕКСНОЇ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ НА СПІКАННЯ КОРУНДОВОЇ КЕРАМІКИ**..... 444
13. *Валерій Іванович Савуляк, Василь Васильович Шевченко* **АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ УДАРНОГО ІНСТРУМЕНТА З ҐРУНТОМ ПРИ ЗАНУРЕННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТОВПЧИКІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ НАСАДЖЕННЯХ**..... 447
14. *Геннадій Анатолійович Баглюк, Галина Олексіївна Максимова, Галина Михайлівна Молчановська, Валентин Якович Куровський* **АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ ШТАМПОВОГО ІНСТРУМЕНТА ПІСЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**..... 449
15. *Віктор Борисович Шевцов, Микола Вікторович Макаренко, Денис Геннадійович Носов* **ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ АДИТИВНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВІДНОВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНОЇ ФОРМИ** 451
16. *Вальдемар Вуйцік, Бахит Ералієва, Леонід Клавдійович Поліщук, Валерій Йосипович Шенфельд* **ЗАСТОСУВАННЯ ДАВАЧІВ БРЕГГА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОВОЛОКОН** 454
17. *Микола Вікторович Макаренко, Віктор Борисович Шевцов, Денис Геннадійович Носов* **ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗВАРНИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ: ВИКЛИКИ, МОЖЛИВОСТІ ТА ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ ...** 457
18. *Олександр Сергійович Очеретько, Іван Васильович Кривда, Валерій Вікторович Перемітько* **РЕЗЕРВИ ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМУНІКАЦІЙ** 460
19. *Oleksandr Vasilevskiy, Alexandra Woods, Michael Michael Cullinan* **IMPROVED METHODOLOGY FOR MEASURING THE EMISSIVITY OF METAL POWDERS**..... 462
20. *Шиліна Олена Павлівна* **ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ НАПЛАВЛЕННОЇ ПОВЕРХНІ СТАЛІ** 465
21. *Олена Павлівна Шиліна, Максим Анатолієвич Ляско* **ВПЛИВ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ТЕПЛА НА СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ ЗМІЦНЕННІ ДЕТАЛЕЙ** 467
22. *Ivan Tsybailo, Lesya Svirskya, Sofia Krechkovska, Oleksandra Student* **TORATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF HEATRESISTANT STEEL BY HEAT TREATMENT AFTER ITS LONG-TERM OPERATION ON A TRP STEAM PIPELINE** 469
23. *Володимир Степанович Дорошенко, Олександр Борисович Янченко* **АЛЮМІНІЙ – 200 РОКІВ ВІДКРИТТЮ: ВІД ЛАБОРАТОРНОГО ФЕНОМЕНУ ДО КОНСТРУКЦІЙНОГО МЕТАЛУ АВТО-, АВІА- Й КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ ...** 471
24. *Володимир Степанович Дорошенко, Олександр Борисович Янченко* **ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ЗА ПОЛІМЕРНИМИ МОДЕЛЯМИ, ЩО ВАКУУМУЮТЬСЯ**..... 473
25. *Олександр Борисович Янченко, Володимир Степанович Дорошенко* **ПРИКЛАД РОБОТИЗАЦІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИВАРНИХ ФОРМ ДЛЯ ЛИТТЯ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБІННИХ АПАРАТІВ ЗА РАЗОВИМИ МОДЕЛЯМИ**..... 475

26. Олена Геннадіївна Науменко	ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПРИВОДНИХ ВАЛІВ ВСЮДИХОДІВ ЧЕРЕЗ РАЦІОНАЛЬНИЙ ВИБІР МАТЕРІАЛІВ	477
27. Андрій Володимирович Галушак, Галина Василівна Кречковська, Діана-Галина Володимирівна Шабатура	ЗВ'ЯЗОК МІЖ ПОРИСТІСТЮ ТА ТВЕРДІСТЮ СПІНЕНОГО ПОЛІВІНІЛХЛОРИДУ РІЗНОЇ ЩІЛЬНОСТІ	479
28. Олександр Дмитрович Петров, Євген Валентинович Корбут	ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРОБКИ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	481
29. Ihor Oleksiiiovych Vakulenko, Serhii Oleksandrovych Plitchenko, Tetyana Volodymyrivna Kalinina	EFFECT OF PLASTIC DEFORMATION THE METAL FOR ELECTRODE ON ELECTRIC ARC	483
30. Євген Корбут, Валерія Парненко, Тетяна Ніколаєнко	МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СВЕРДЛІННЯ ІНСТРУМЕНТОМ З ПОКРИТТЯМ ДИСКРЕТНОЇ СТРУКТУРИ	486
31. Володимир Степанович Дорошенко, Олександр Борисович Янченко	МОДЕЛЮВАННЯ ПОРИСТИХ МЕТАМАТЕРІАЛІВ ЗА ПРИНЦИПАМИ ВОРОНОГО-ДЕЛОНЕ	489
32. Вадим Миколайович Орел, Олександр Федорович Саленко, Петро Петрович Мельничук	МЕХАНІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ FDM ВИРОБІВ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО НАНЕСЕННЯ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ	491
33. Валерій Іванович Савуляк, Максим Олександрович Вітавський, Сергій Валерійович Ружицький	ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ЗУБНИХ ІМПЛАНТАТІВ В КОНТЕКСТІ ЇХ СУМІСНОСТІ З ОРГАНІЗМОМ	494
34. Валерій Іванович Савуляк, Максим Сергійович Дмитрієв, Валерій Йосипович Шенфельд	ДОСЛІДЖЕННЯ НА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ГНУЧКИХ ЕЛЕКТРОДНИХ СТРИЧОК ПОВЕРХОНЬ	496
35. Валерій Йосипович Шенфельд, Олександр Іванович Боднар, Валерія Валеріївна Шенфельд	КЕРУВАННЯ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯМ В ПРОЦЕСІ НАПЛАВЛЕННЯ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ ПОКРИТТІВ	499
36. Orest Bilyu, Rodríguez Gustavo Domínguez, Chi Bojórquez Ricardo Benjamín	SELECTING PARAMETERS FOR A TRIVIAL FLAW DETECTOR TO IMPLEMENT EXPRESS ANALYSIS OF DAMAGED OBJECTS	501
37. Валерій Олександрович Колесніков	ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ВИСОКОАЗОТНИХ СТАЛЕЙ ПІСЛЯ НАВОДНЮВАННЯ	504
38. Тарас Оленюк	ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПОПЕРЕДНЬО ЗАГАРТОВАНИХ ЗАГОТОВОК У ВИГОТОВЛЕННІ ПРЕС ФОРМ	506
39. Дмитро Віталійович Бакалець, Владислав Володимирович Поліщук	ОЦІНКА ВПЛИВУ ЕКСТРЕМАЛЬНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПІД ЧАС НАПЛАВЛЕННЯ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН	508
40. Роман Михайлович Ігнатюк, Олександр Святославович Стадник, Сергій Володимирович Морозюк	АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ	510
41. Петр Петрович Савчук	ДО ПИТАННЯ ПРО СТВОРЕННЯ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	513
42. Gao xianan, Leonid Polischuk,	INTRODUCTION TO TITANIUM ALLOY MATERIALS	515
43. Андрій Валерійович Рябушко, Олег Олександрович Кулаєнко, Володимир Володимирович Блажко	СИСТЕМА ПОЗИЦІОНУВАННЯ АКУСТИЧНИХ СЕНСОРІВ	520

44. Валерій Іванович Савуляк, Андрій Андрійович Осадчук **КОНСОЛІДАЦІЯ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙ МЕТОДОМ КОНТАКТНОГО ПЛАВЛЕННЯ**..... 522
45. Борис Сергійович Карпінос, Леонід Васильович Кравчук, Костянтин Павлович Буйських, Анатолій Віталійович Рутковський, Євгеній Олександрович Задворний, Віктор Маркович Снівак **ПРОГНОЗУВАННЯ ГРАНИЧНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА УМОВ ЦИКЛІЧНОЇ ДІЇ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗОВОГО СЕРЕДОВИЩА** 524
46. Мирослав Васильович Марич, Г.А. Баглюк, Т.Л. Кузнецова, Г.М. Молчановська, О.А. Голубенко **ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ СПЕЧЕНОГО ЖАРОМІЦНОГО СПЛАВУ СИСТЕМИ Nb-Ti-Al-Cr-Mo** 527
47. Оксана Василівна Власова, Галина Олексіївна Максимова, Галина Михайлівна Молчановська, Тетяна Олександрівна Васильєва **МІКРОСТРУКТУРА ТА ФАЗОВИЙ СКЛАД БІМЕТАЛЕВИХ ШАРУВАТИХ КОМПОЗИТИВ НИЗЬКОЛЕГОВАНА СТАЛЬ - (W-CO)/(AG-CU)**..... 529

Секція 8. Використання вібрації в техніці та технологіях

1. Павло Володимирович Майструк, Володимир Володимирович Майструк **ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ КОЛИВАЛЬНИХ СИСТЕМ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН**..... 531
2. Роман Романович Обертюх **МАЛОГАБАРИТНІ ВІБРАЦІЙНІ ТА ВІБРОУДАРНІ ГІДРОІМПУЛЬСНІ ВІБРАТОРИ З ВБУДОВАНИМ ПАРАМЕТРИЧНИМ ГЕНЕРАТОРОМ ІМПУЛЬСІВ ТИСКУ** 533
3. Андрій Явтушенко, Сергій Губський **ВІБРАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ВАЛКОВОГО ФОРМУВАННЯ ГНУТИХ ПРОФІЛІВ** 535
4. Віталій Михайлович Корендій, Олег Ярославович Паращин, Олександр Михайлович Янів, Тарас Романович Вільчинський, Владислав Віталійович Киричук **ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ОДНОМАСОВОЇ КОЛИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ З ВІБРОЗБУДНИКОМ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПУ** 537
5. Роман Михайлович Юзефович, Ігор Миколайович Яворський, Олег Васильович Личак, Євген Віталійович Сбродов, Юрій Іванович Торба **ВІБРАЦІЙНА ДІАГНОСТИКА ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ** 539
6. Роман Михайлович Юзефович, Ігор Миколайович Яворський, Олег Васильович Личак, Роман Іванович Пеліпець, Богдан Романович Комарницький, Роман Тарасович Слєпко **МОДЕЛЬ СИГНАЛІВ ВІБРАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ОБЕРТОВИХ МЕХАНІЗМІВ**..... 541
7. Ігор Павлович Паламарчук, Денис Олександрович Науменко **ВІБРОМЕХАНІЧНА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ** 543
8. Віталій Олександрович Кудраш **ІНЕРЦІЙНА ВИБИВНА РЕШІТКА З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ НА БАЗІ ГІТ ПІДВИЩЕНОЇ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ**..... 545
9. Микола Пікула **РОЗШИРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАСТОСУВАННЯМ БАГАТОСТАДІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ** 547
10. Володимир Яцун **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СПОСОБУ ЗБУДЖЕННЯ РЕЗОНАНСНИХ ВІБРАЦІЙ**.. 549
11. Катерина Юріївна Дейнека, Юрій Васильович Науменко, Сергій Вікторович Жабчик **СТВОРЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ АВТОКОЛИВНИХ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ЗЕРНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИНАХ БАРАБАННОГО ТИПУ** 552

12. Роман Романович Обертюх, Іван Вікторович Костинюк ВІБРОУДАРНИЙ ГІДРОІМПУЛЬСНИЙ ВІБРАТОР – ГІДРОЦИЛІНДР НА БАЗІ ПРОРІЗНИХ ПРУЖИН	555
13. Вадим Олексійович Круци, Кирило Валентинович Савченко ВИЗНАЧЕННЯ НАЯВНОСТІ ПОШКОДЖЕННЯ РЕГУЛЯРНИХ СИСТЕМ ЧЕРЕЗ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЇХ КОЛИВАНЬ	557
14. Ірина Миколаївна Берник АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ СИНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ «УЛЬТРАЗВУКОВИЙ АПАРАТ – ТЕХНОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ»	560
15. Іван Іванович Назаренко, Микола Миколайович Нестеренко, Василь Васильович Ведмідь, Тетяна Миколаївна Нестеренко ДОСЛІДЖЕННЯ ХВИЛЬОВИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ УЩІЛЬНЕННІ ЛЕГКОБЕТОННИХ РОЗЧИНІВ	562
16. Андрій Валерійович Рябушко, Олег Олександрович Кулаєнко, Володимир Володимирович Блажко СИСТЕМА ПОЗИЦІОНУВАННЯ АКУСТИЧНИХ СЕНСОРІВ	565
17. Володимир Володимирович Блажко, Анна Ігорівна Аніщенко, Олег Олександрович Кулаєнко, Андрій Валерійович Рябушко МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ФІБРОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ В РОБОЧОМУ ПРОСТОРИ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ	567
18. Віталій Олександрович Кудраш, Ярослав Андрійович Піпа ВІБРАЦІЙНА ДІАГНОСТИКА ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ МАШИН	569

Секція 9. Інноваційні технології в контексті підготовки фахівців для сталого розвитку України

1. Інна Вікторівна Віштак, Крістіна Богданівна Скидан КОРПОРАТИВНА СОЦІАЛЬНА ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ (CSR) ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ	572
2. Оксана Олександрівна Адлер СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДІВНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ ПЕРЕХОДУ ДО СТАЛОГО ЕКОНОМІЧНОГО ЗРОСТАННЯ	574
3. Олександр Васильович Поліщук, Ярослав Віталійович Загнітко СПІВПРАЦЯ З ВИРОБНИЦТВОМ ЯК ЗАПОРУКА ЯКІСНОЇ ПІДГОТОВКИ ДОКТОРІВ ФІЛОСОФІЇ У ГАЛУЗІ МАШИНОБУДУВАННЯ: УКРАЇНСЬКИЙ ТА МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД	576
4. Ігор Павлович Паламарчук, Yuaqxia Fu ОЦІНКА ЯКІСНОГО СТАНУ КИТАЙСЬКИХ КОВБАС МАТЕМАТИЧНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ МЕТОДОМ ФАКТОРНИХ ПЛОЩ	580
5. Леонід Клавдійович Поліщук, Роман Іванович Сивак, Максим Андрійович Колчин, Сергій Олександрович Чубур ПОКРАЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТОКАРНО-КАРУСЕЛЬНОГО ВЕРСТАТА	584
6. Богдан Анатолійович Шелудченко, Олег Борисович Плужніков, Валерій Анатолійович Яновський ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЛАНЦЮГОВОЇ ЛІНІЇ, ЯК СИМУЛЯТОРА ЗРІВНОВАЖЕНИХ СТАТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ	586
7. Леонід Олександрович Майданевич, Галина Василівна Шелепало ТЕХНІЧНИЙ ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ: ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ	588
8. Ігор Георгійович Пімонов, Олександр Володимирович Ярижко, Василь Іванович Мощенок ВПЛИВ ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ ГІДРОАПАРАТУРИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ГІДРОПРИВОДА БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН	591

9. <i>Юрій Анатолійович Свящук, Олександр Васильович Поліщук</i> ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ПЛАНУВАННІ ТА ПРОВЕДЕННІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ МАШИНОБУДУВАННЯ	593
10. <i>Ярослав Микитович Корнієнко, Сергій Сергійович Гайдай, Дмитро Станіславович Семененко</i> ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ДРАЖУВАННЯ НАСІННЯ	597
11. <i>Ольга Сергіївна Созонюк</i> ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ СПІВПРАЦІ З ТРАНСПОРТНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ У ПІДГОТОВЦІ ВИКЛАДАЧІВ ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ	600
12. <i>Олена Дмитрівна Атаманенко</i> РОЗВИТОК ЛІДЕРСЬКОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРАКТИВНОГО КУРСУ «АКАДЕМІЯ ЛІДЕРСТВА «DREAM. ACTION. REALITY» (DAR)»»	603
13. <i>Олена Володимирівна Гречановська</i> «ПАСТКИ ВЛАДИ» У ДІЯЛЬНОСТІ ВИКЛАДАЧА ЗВО	605
14. <i>Віталій Олександрович Кудраш</i> ІНЖЕНЕРНА ТВОРЧИСТЬ ЯК МЕТОД ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ	608
15. <i>Тетяна Федорівна Архіпова</i> ВИСОТНИЙ ОГЛЯДОВИЙ МАЙДАНЧИК З ЗАСКЛЕНОЮ БАГАТОПРОФІЛЬНОЮ КАПСУЛОЮ	610
16. <i>Андрій Володимирович Погребняк, Леонід Клавдійович Поліщук, Валерій Йосипович Шенфельд, Максим Максимович Керничний</i> РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ВАКУУМНОГО ПРЕСА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	612
17. <i>Марія Михайлівна Гнатів</i> ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ	615
18. <i>Людмила Іванівна Поліщук, Микола Іванович Поліщук</i> ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИМУЛЯЦІЙ ПІД ЧАС ВИКЛАДАННЯ ФІЗИКИ	618
19. <i>Василь Володимирович Овчарук</i> ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ОСВІТНЬО-ВИХОВНОГО СЕРЕДОВИЩА ЗВО ЗАСОБАМИ АКТИВІЗАЦІЇ СПОРТИВНО-МАСОВОЇ РОБОТИ	621
20. <i>Василь Володимирович Овчарук, Віра Григорівна Овчарук</i> ЦІННОСТІ ФІЗИЧНОГО САМОВДОСКОНАЛЕННЯ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ В ОСВІТНІЙ ІННОВАТИЦІ УКРАЇНИ	623
21. <i>Юрій Юрійович Буренніков, Олена Володимирівна Гречановська</i> МОДЕРНІЗАЦІЯ ВИХОВНОЇ РОБОТИ У ТЕХНІЧНИХ ЗВО ЗАСОБАМИ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ: НАЦІОНАЛЬНО-ПАТРІОТИЧНИЙ ВЕКТОР РОЗВИТКУ	626
22. <i>Oleh Polishchuk, Andrii Polishchuk, Mirosław Bonek, Artem Tolstyuk</i> DEVELOPMENT OF A SCREW EXTRUDER FOR A 3D PRINTER TO PROCESS COMPOSITE MIXTURES INTO FINISHED PRODUCTS	629
23. <i>Руслан Олександрович Лавренко, Юрій Володимирович Булига</i> ВИКОРИСТАННЯ CALS ТЕХНОЛОГІЙ НА ПП «ВІННИЦЬКА ОВОЧЕВА КОМПАНІЯ»	632
24. <i>Віра Андріївна Петрук</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ВИКЛАДАННЯ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ В УМОВАХ СКОРОЧЕННЯ АУДИТОРНИХ ГОДИН	634
25. <i>Юлія Степанівна Грак</i> РОЗДУМИ ЩОДО ПСИХОЛОГІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ СТУДЕНТСЬКОЇ МОЛОДІ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ	637
26. <i>Тетяна Федорівна Архіпова</i> 360-OBSERVATION TOWER WITH A DYNAMIC MAST	639
27. <i>Сергій Олександрович Кот</i> TEOLINGUISTIC “FOSSILS” IN MACHINE BUILDING TERMS	641
28. <i>Ірина Валеріївна Фіник</i> ФОРМУВАННЯ ПСИХОЛОГІЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ У МАЙБУТНІХ ВИПУСКНИКІВ ЗВО ЗАСОБАМИ ТРЕНІНГОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ	644

MACHINE-LEARNING ENABLED DIGITAL-TWINS OF MULTI-DRONE SWARM SYSTEMS

UC Berkeley, Will C. Hall Family Endowed Chair in Engineering Dept. of Mechanical

Abstract

The report presents the development of a digital twin based on machine learning to quickly determine the optimal programming to achieve the desired tactical behavior, similar to the behavior of a swarm of several drones. The goal is to create a system with fully autonomous behavior by optimizing the values of the operating parameters embedded in the coupled differential equations of the dynamics of a swarm of drones. Ways to achieve minimization of the "cost-error" function are presented. A discrete element method (DEM) has been developed for the rapid design of a quadcopter of any complex shape, the attachment of engines, and then its exposure to an aggressive environment in order to determine its performance.

Keywords: Drone-swarms, Machine-learning, Multibody dynamics, Structural-dynamics.

The goal of this work is to develop a machine-learning enabled digital-twin to rapidly ascertain optimal programming to achieve desired tactical multi-drone swarmlike behavior. There are two main components of this work. The first main component is a framework comprised of a multibody dynamics model for multiple interacting agents, augmented with a machine-learning paradigm that is based on the capability of agents to identify (a) desired targets, (b) obstacles and (c) fellow agents, as well as the resulting collective actions of the drone-swarm of agents. The objective is to construct a system with entirely autonomous behavior by optimizing the actuation parameter values that are embedded within the coupled multibody differential equations for drone-swarm dynamics. This is achieved by minimizing a cost-error function that represents the difference between the simulated overall group behavior and in-field behavior from observed ground truth synthetic data in the form of temporal snapshots corresponding to multiple camera frames. The second main component of the analysis is to deeply assess the structural performance of drone-swarm members, by studying chassis design, deployment and dynamic-structural performance. As an example, we investigate a tactical quadcopter drone under attack, specifically by subjecting it to series of launched explosions. A Discrete ElementMethod (DEM) is developed to rapidly design a quadcopter of any complex shape, attach motors and then to subject it to a hostile environment, in order to ascertain its performance. The method also allows one to describe structural damage to the quadcopter drone, its loss of functionality (thrust), etc. Furthermore, the use of DEM can also capture fragmentation of the quadcopter and can ascertain the resulting debris field. Numerical examples are provided to illustrate the two components of the overall model, the computational algorithm and its ease of implementation.

Tarek Zohdi, Professor of Mechanical Engineering, W. C. Hall Family Endowed Chair in Engineering, Chair of the Designated Emphasis Program in Computational and Data Science and Engineering and Associate Dean for Research in the College of Engineering at UC Berkeley, as well as Faculty Scientist at Lawrence Berkeley National Labs, member of the National Academy of Sciences and the National Research Council of the US National Commission on Theoretical and Applied Mechanics, national coordinator of AmeriMech USA, Email: zohdi@berkeley.edu

ЦИФРОВІ ДВОЙНИКИ БАГАТОДРОННИХ РОЄВИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Анотація.

В доповіді представлена розробка цифрового двійника на основі машинного навчання для швидкого визначення оптимального програмування для досягнення бажаної тактичної

поведінки, подібної до поведінки рою кількох дронів. Метою є створення системи з повністю автономною поведінкою шляхом оптимізації значень параметрів спрацьовування, вбудованих у зв'язані диференціальні рівняння динаміки рою дронів. Наведено шляхи досягнення мінімізації функції «вартість-помилка». Розроблено метод дискретних елементів (DEM) для швидкого проектування квадрокоптера будь-якої складної форми, приєднання двигунів, а потім його впливу на агресивне середовище з метою визначення його продуктивності.

Ключові слова: Рої дронів, машинне навчання, динаміка багатьох тіл, структурна динаміка.

Тарек І. Зохді, професор кафедри інженерії, заступник декана з дослідження в Інженерному коледжі Каліфорнійського університету в Берклі, науковий співробітник університету Лоуренса Берклі, член Американської академії механіки, член Національної Академії наук та Національної дослідницької ради Національної комісії США за відділенням теоретичної та прикладної механіки, національний координатор AmeriMech США, Email: zohdi@berkeley.edu

Challenges in Mechanism Design for Robotics

Marco Ceccarelli

LARM2: Laboratory of Robot Mechatronics, Dept of Industrial Engineering, University of Roma Tor Vergata, Rome, Italy -<https://larm2.ing.uniroma2.it> e-mail: marco.ceccarelli@uniroma2.it

Abstract.

Challenges in Mechanism Design for Robotics and Mechatronics can be considered from several viewpoints in technical, social, and financial ones as due to new designs and applications, mainly in service fields. In this lecture the main issues are discussed in terms of Innovation aspects coming from Mechanism Design. The attention is focused on challenging aspects that are related to the mechanical structure of a modern system as for the structure and operation when considering assigned tasks either in substituting or helping human operators. The lecture presents aspects emphasizing the role of mechanism design in developments of robotic systems as since the action in performing tasks, either in coordination or not with human operators, is of mechanical nature due to motion and force transmission goals of the operation. The challenges of mechanism design are presented both in terms of technical solutions and community activity, since each of them depends, impacts, and generates each other. Examples of past and current solutions are presented to show how a mechanism design can be determinant for novel successful achievements and community developments. In particular, the activities at LARM2 in Rome are outlined on topics and systems that can be available for collaborations both in research and joint student formation.

Keywords: Robotics and Mechatronics, Mechanism Design, Innovation, History of MMS



Marco Ceccarelli, born in Rome in 1958, is Professor of Mechanics of Machines at the University of Rome Tor Vergata, Italy, where he chairs LARM2: Laboratory of Robot Mechatronics. His research interests cover the subjects of robotics, mechanism design, medical devices, experimental mechanics, and history of mechanical engineering with several published papers in the fields of Robotics and Mechanical Engineering. He has been visiting professor in several universities in the world while he received several honors and awards. He is ASME fellow. Professor Ceccarelli serves on several Journal editorial boards and conference scientific committees. He is editor-in-chief of the MDPI journal Robotics and of the SAGE

International Journal on Advanced Robotic Systems for the area on Service Robotics He is editor of the Springer book series on Mechanism and Machine Science (MMS) and History of MMS. He has been the President of IFToMM, the International Federation for the Promotion of MMS in 2008-11 and 2016-19. More information at the web page: LARM2 webpage: <https://larm2.ing.uniroma2.it/marco-ceccarelli/>

Main references by author's publications

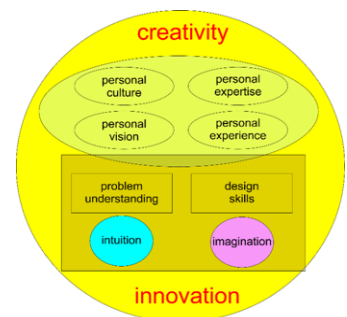
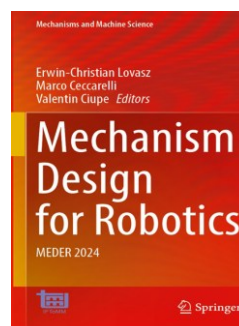
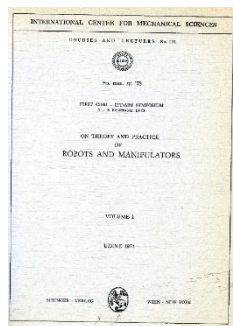
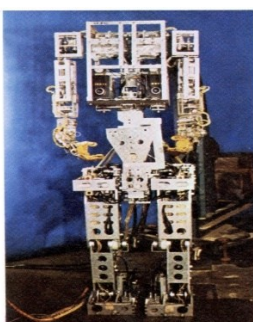
Lovasz, EC., Ceccarelli, M., Ciupe, V. (eds) Mechanism Design for Robotics. MEDER 2024. Mechanisms and Machine Science, vol 166.

Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-67383-2>

Ceccarelli M., Innovation Challenges for Mechanism Design, Mechanism and Machine Theory, 125 (2018) 94–100. DOI 10.1016/j.mechmachtheory.2017.11.026

Ceccarelli M. Challenges in service robot devices for elderly motion assistance. Robotica. Published online 2024:1-14. doi:10.1017/S0263574724001528

Ceccarelli M., Fundamentals of Mechanics of Robotic Manipulation, Springer, Cham, 2022 (second Edition). ISBN 978-3-030-90846-1. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-90848-5>



Енергетика процесів машин і технологій будівельної індустрії

(теорія, аналіз, розрахунки).

Іван Назаренко¹, Олег Дєдов¹, Андрій Бондаренко², Олександр Дьяченко¹, Андрій Запривода¹, Євген Мішук¹, Микола Клименко¹, Микола Нестеренко³, Віктор Нечипорук¹, Сергій Орищенко¹, Микола Ручинський¹, Володимир Слюсар¹

¹Київський національний університет будівництва і архітектури.

²Одеська державна академія будівництва та архітектури.

³Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка".

Анотація. В роботі приведені результати досліджень режимів, параметрів, надійності та енергетики машин і процесів подрібнення матеріалів та їх сортування, перемішування та ущільнення сумішей на основі моделей, що враховують фізико-механічні та реологічні властивості оброблювальних середовищ. Були обґрунтовані фізичні та математичні моделі, досліджені та визначені розмірні параметри та безрозмірні критерії, встановлені закономірності руху досліджуваних систем «машина – середовище» та визначення енергії на протікання технологічного процесу. Аналіз результатів досліджень базувався на параметричному та структурному синтезі. Розрахунки режимів і параметрів здійснювалися за методиками та алгоритмами, застосування яких базувалася на критеріях оцінки енергетики процесу. За такими алгоритмами досягалася можливість забезпечувати мінімізацію витрат енергії та підвищення продуктивності.

Ключові слова: машини будівельної індустрії, процеси подрібнення, сортування, перемішування та ущільнення, фізичні та математичні моделі, режими, параметри, критерії, енергія, аналіз, розрахунки.

Аналіз досліджень. Проблема зменшення енерговитрат та підвищення якості процесів подрібнення, сортування, перемішування та ущільнення є актуальними задачами будівельної індустрії. В роботі [1] здійснені дослідження процесів подрібнення матеріалів та визначення енергії на основі встановлення реальних напружень і деформацій. В роботі [2] досліджено процеси сортування матеріалів та запропоновано алгоритми визначення раціональних режимів та енергетичних показників грохотів. Робота [3] присвячена визначенню ефективних режимів та енергії на протікання процесів перемішування у вібраційних бетонозмішувачах. Низка робіт[4-5] присвячена розробці фізичних та математичних моделей та дослідження параметрів і режимів вібраційних систем «машина – середовище» для ущільнення будівельних сумішей. Дослідження фізичних аспектів розсіяння енергії в матеріалах при статичному та динамічному їх навантаженні приведені в роботах[6-7]. Базуючись на результатах цитованих робіт сформульовані мета та задачі даної роботи.

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення енергії на протікання процесів подрібнення, сортування, перемішування та ущільнення на основі системного дослідження спільного руху машин і середовищ.

Задачі дослідження. 1. Обґрунтування фізичних та математичних моделей досліджуваних процесів. 2. Визначення енергії на протікання процесів та розробка алгоритмів розрахунку, використання яких забезпечує мінімізацію витрат енергії та підвищення продуктивності.

Викладення основного матеріалу. Технічні системи технологічного призначення займають чільне місце в багатьох технологічних процесах різних галузей народного господарства.

Такими процесами є подрібнення, сортування, перемішування, ущільнення та інші подібні процеси. Найбільш ефективними способами виконання подібних процесів є такі, що основані на динамічному принципі дії. В першу чергу це техніка на використанні ефектів динамічної дії низьких та високих частот коливань. Широке, енергоефективне, використання подібної техніки стримується відсутністю теоретичних досліджень спільного руху машинних агрегатів і оброблювальних середовищ, як єдиної синергетичної системи. Існуючі підходи базуються на застосуванні роздільного дослідження технічних систем і процесів обробки середовищ.

Отримані аналітичні залежності відображають часткові задачі, які є достовірними виключно в рамках здійснених досліджень. В даному дослідженні енергетики технічних систем динамічної дії на оброблювальні середовища запропонований новий підхід та методологія, що

враховують вплив енергетичних полів фізико-механічних ефектів, трансформацію та інверсію видів енергетичної дії. Розроблені критерії для аналізу комбінацій і їх вплив на інтенсивність фізико-механічних процесів. Інтенсифікація фізико-механічних процесів досягається сформульованою ідеєю: ефективний та енергоощадний процес можливий за рахунок дослідження та використання спільного взаємовпливу внутрішніх властивостей підсистем в розрахунках параметрів технічної системи. Виявлені закономірності кількісних і якісних змін всіх значимих характеристик підсистем. Внаслідок виконаних досліджень розкриті нові властивості поведінки дискретно-континуальних систем в умовах силового вібраційного навантаження. Отримані закони зміни стану дисперсних середовищ під дією силових навантажень технічними системами при реалізації різних технологічних процесів дали можливість запропонувати нові процеси навантаження, в тому числі реалізацію багаторежимних з мінімізацією енергетичних витрат та підвищеною ефективністю протікання робочих процесів.

Висновки.

1. Запропонований підхід дослідження енергетичних характеристик руйнування матеріалу в камері дробарки із забезпеченням гарантованої зони стійкості параметрів може бути використаний і для інших процесів.
2. Виявлено залежність використовуваної енергії від конструктивних та технологічних параметрів вібраційного грохота.
3. Досліджено врахування сил опору бетонній суміші у вигляді інерційних і дисипативних сил визначає точність встановлення закону коливань змішувального барабана, обґрунтування його раціональних параметрів і витрат енергії на процес перемішування.
4. Внаслідок виконаних досліджень процесів ущільнення розкриті нові властивості поведінки дискретно-континуальних систем в умовах силового вібраційного навантаження.
5. Отримані закони зміни стану систем «машина – ущільнююче середовище» під дією силових навантажень дали можливість запропонувати реалізацію багаторежимних з мінімізацією енергетичних витрат та підвищеною ефективністю протікання робочих процесів.

Література

1. Ye. O. Mishchuk, I. I. Nazarenko, D. O. Mishchuk. Definition of rational operating modes of a vibratory jaw crusher// *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021, (4): p.56 –
2. Назаренко І.І., Орищенко С.В. Моделювання процесу руху матеріалу по грохоту. *Техніка будівництва*. – 2009. – №22. – С. 81– 84.
3. Ручинський М.М., Свиридюк Д.Я. Дослідження коливань вібраційного бетонозмішувача з урахуванням впливу перемішувачого матеріалу. *Техніка будівництва. Науково-технічний журнал*. Київ: КНУБА, 2013. № 31. с. 35–42.
4. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем. Навчальний посібник (2-е видання). – К.: Видавничий Дім «Слово», 2010. – 440 с.
5. Bernyk I. Research parameters of ultrasound processing equipment dispersed in a technological environment. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol. 18. №3. p. 3-13
6. Назаренко І.І., Нестеренко М.М., Запривода А.В., Бондаренко А.Є., Слюсар В.С. Дослідження фізичних аспектів розсіяння енергії в матеріалах при статичному та динамічному їх навантаженні. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2022. Т. 6, № 1. С. 70–78.
7. Назаренко І., Запривода А., Бондаренко А., Слюсар В. Determination of energy parameters of vibrating machines for compaction and formation of concrete products according to different power form of load. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2024. № 113. С. 18–28.

PIPELINE DURABILITY AND INTEGRITY ISSUES AT THE REPURPOSING FOR HYDROGEN SERVICE IN UKRAINE'S GREEN RECONSTRUCTION

Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine

Abstract.

Challenges in terms of solving the problem of using existing natural gas pipelines in Ukraine for hydrogen operation within the framework of the green energy transition are analysed. The main reasons for the possible loss of integrity of long-operated gas pipelines in the case of gaseous hydrogen transportation are given. The methodological aspects for increasing the sensitivity of mechanical indicators to hydrogen are highlighted. The main attention is paid to the development of damage in steels and the role of hydrogen in this process. The operational degradation of pipe steels is summarised according to their main physical and mechanical indicators, and an assessment of the failure risk is analysed.

Key words: steel, hydrogen transport, operation, hydrogen uptake, embrittlement, fracture toughness, local fracture criteria.

Energy security is crucial for the sustainability of countries, including Ukraine. Hydrogen will play a significant role in a decarbonised energy system and green reconstruction in the coming decades. The European Green Deal was defined as one of the main strategic priorities of the European Union in 2019. In May 2022, the European Commission presented a plan to rapidly reduce the oil and gas consumption, as well as the introduction and use of “green” energy sources (REPowerEU). The development of hydrogen energy, which is part of the policy on the issues of green energy transition, achieving climate neutrality, sustainable energy and strengthening energy security, involves the transportation of gaseous hydrogen through pipelines [1, 2]. Ukraine has an extensive infrastructure for transporting natural gas, which is planned to be repurposed for hydrogen service according to the EU and Ukrainian government policies (the European Hydrogen Backbone initiative, the Central European Hydrogen Corridor, and others) [3].

The realisation of such a prospect of hydrogen transportation by existing natural gas networks exacerbates the issue of violation of pipeline integrity due to the well-known negative impact of hydrogen on the mechanical properties of steels [2, 4, 5]. One of the most important issues is hydrogen embrittlement, as well as a decrease in resistance to brittle fracture of steels as a result of hydrogen impact, which is often responsible for unpredictable low-energy fracture of metal components. Additionally, operational degradation of pipeline steels should be taken into account, since long-term service of gas pipelines causes a deterioration of the mechanical properties of steels [6, 7].

The analysis of serviceability according to key indicators of hydrogen embrittlement of steels of long-term operated gas pipelines, which could lose their initial physical and mechanical properties, is presented in the work. The important role of operational damage in reducing resistance to brittle fracture is considered, taking into account that hydrogen absorbed by the metal contributes to its intensification, and this is one of the mechanisms of the harmful action of hydrogen from the inner surface of pipelines. The development of damage in long-term operated pipeline steels is analysed. It is summing up that the operational damage as a result of the interaction of steels with an aggressive environment inside pipelines under simultaneous action of mechanical loading should be considered a key aspect of the manifestation of hydrogen embrittlement.

It is demonstrated that the application of nonlinear fracture mechanics approaches taking into account the anisotropy of properties of pipeline steels is suitable for the assessment of hydrogen embrittlement with high sensitivity.

Based on the research results of the determination of fracture toughness under the action of hydrogen, local fracture criteria were formulated as the basis for establishing conditions for safe operation of pipelines.

REFERENCES

1. Laureys A., Depraetere R., Cauwels M., Depover T., Hertelé S., Verbeken K. Use of existing steel pipeline infrastructure for gaseous hydrogen storage and transport: A review of factors affecting hydrogen induced degradation. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2022. V. 101, 104534.
2. Pluvinage G., Toth L., Capelle J. Effects of hydrogen addition on design, maintenance and surveillance of gas networks. *Processes*. 2021. 9, № 7. 1219.
3. Zvirko O. Development of the methodology for assessing the serviceability of existing gas pipelines of Ukraine under green hydrogen transportation. *Procedia Structural Integrity*. 2024. V. 59. P. 120–124.
4. Cabrini M., Sinigaglia E., Spinelli C., Tarenzi M., Testa C., Bolzoni F. M. Hydrogen embrittlement evaluation of micro alloyed steels by means of J-integral curve. *Materials*. 2019. V. 12, 1843. P. 1–17.
5. Cauwels M., Depraetere R., De Waele W., Hertelé S., Depover T., Verbeken K. Hydrogen-assisted degradation of an X70 pipeline steel evaluated by single edge notched tension testing. *Procedia Structural Integrity*. 2024. V. 54. P. 233–240.
6. Zvirko O. I. In-service degradation of structural steels (A survey). *Materials Science*. 2021. V. 57, No. 3. P. 319–330.
7. Nykyforchyn H., Tsyrlunyk O., Zvirko O., Kret N. Analysis and mechanical properties characterization of operated gas main elbow with hydrogen assisted large-scale delamination. *Engineering Failure Analysis* 2017. V. 82. P. 364–377

ZVIRKO Olha – D.Sc., Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Head of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv; olha.zvirko@gmail.com.

ПРОБЛЕМИ ДОВГОВІЧНОСТІ ТА ЦІЛІСНОСТІ ТРУБОПРОВІДІВ ПІД ЧАС ЇХ ПЕРЕПРОФІЛЮВАННЯ ДЛЯ ВОДНЮ У ЗЕЛЕНІЙ РЕКОНСТРУКЦІЇ УКРАЇНИ

Анотація.

Проаналізовано виклики з огляду на вирішення проблеми використання наявних магістральних газопроводів України для експлуатації у водні в рамках зеленого енергетичного переходу. Приведено основні причини можливої втрати цілісності тривало експлуатованих газопроводів в умовах транспортування газоподібного водню. Висвітлено методичні аспекти підвищення чутливості механічних показників до водню. Основну увагу надано розвитку пошкодженості в сталях та роль в цьому процесі водню. Узагальнено експлуатаційну деградацію трубних сталей за їх основними фізико-механічними показниками та дано оцінку ризику руйнування.

Ключові слова: сталь, транспортування водню, експлуатація, наводнювання, крихкість, в'язкість руйнування, критерії локального руйнування.

Звірко Ольга Іванівна – доктор технічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії наук України, завідувач відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України, Львів; olha.zvirko@gmail.com.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОЦІНКИ ЯКІСНОГО СТАНУ ВИРОБІВ МАТЕМАТИЧНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ МЕТОДОМ ФАКТОРНИХ ПРОСТОРІВ

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. Серед основних проблем оцінки якісного стану виробів можна відзначити труднощі комплексної оцінки при застосуванні параметрів, які істотно різняться за своєю фізико-механічною або хіміко-біологічною природою. Зокрема, існуючі математичні моделі якості харчової продукції обмежуються лише аналізом органолептичних характеристик, що реалізовується створенням та колегіальним рішенням спеціальної експертної комісії. Така структура оцінки викликає певні труднощі організаційного характеру та має явно виражений суб'єктивний характер, практично не опирається на цифрову інформацію, що є у наявності на основі результатів експериментальних досліджень. Тому метою наукової роботи стало розробка та апробація математичних моделей якісного стану, що можуть мати лінійну, плоску та просторову візуалізацію. Розроблені математичні моделі відзначаються простотою складання та високою наочністю, можливістю обробки достатньо великого обсягу інформації, застосування необмеженої кількості параметрів для порівняльної оцінки. Використані критерії оцінки представлені безрозмірними комплексами, що дозволяють об'єктивно оцінювати факторний простір як за різноплановими самостійними параметрами, так і за розгалуженими сімействами споріднених характеристик. Представлені методи математичного аналізу нівелюють її суб'єктивний характер, що у цілому дозволяє значно поліпшити адекватність оцінки стану продукції.

Ключові слова: моделі якості; лінійна, плоска та просторова візуалізація; якісні та нормативні параметри; безрозмірні комплекси.

Вступ

Існуючі математичні моделі якості продукції, зокрема для виробів харчових виробництв, базуються на використанні оцінки за органолептичними характеристиками, що дає можливість проводити виключно суб'єктивну оцінку якості зразків за колегіальною характеристикою експертною комісією. При розробці та обґрунтуванні математичної моделі якості виробів виявилось достатньо зручним вибрати за базовий напрямок напрямки осі декартової системи координат, що дозволяє вести геометричну візуалізацію у лінійному, плоскому та просторовому діапазоні [1, 2]. У геометричному плані такі моделі наочно були представлені у вигляді найбільш простих геометричних фігур від променя до багатогранника. Для чисельної оцінки при застосуванні різних оціночних характеристик застосовували безрозмірні комплекси у вигляді відносних величин, що дозволило об'єктивно зробити якісний порівняльний аналіз досліджуваних зразків виробів за розрахованими критеріями оцінки [3]. Останні можна обирати на основі нормативних характеристик згідно ДСТУ або технічних умов; при використанні загально відомих рекомендацій, що були обґрунтовані на базі численних експериментальних або теоретичних досліджень.

Тому безсумнівно *актуальним* є розробка та використання нових ефективних методів оцінки якісного стану сировини, напівфабрикатів та готових виробів, що забезпечують умови ефективної експлуатації, безпечного харчування, екологічності, планування здорового образу життя.

Метою роботи є розробка системи ефективної оцінки якісного стану харчових та промислових виробів шляхом використання результатів експериментального аналізу, математичного моделювання при застосуванні розробленого методу «факторних просторів».

Результати дослідження

При виконанні представленого методу моделювання попередньо необхідно здійснити сортування оціночних характеристик залежно від того, як вони впливають на якісний стан виробів, тобто при зростанні їх величини відбувається підвищення чи зниження якості. Отже у якості *першої гіпотези* прийняли те, що негативні та позитивні параметри створюють відповідні якісні простори, сума яких свідчить про стан виробів або продукції.

Для реалізації такої оцінки якісні характеристики виробів переводили до безрозмірного вигляду при використанні відношення дійсних та нормативних параметрів. Очевидно, що при цьому величина будь-

якого нормативного показника дорівнює одну умовну одиницю, а поточні характеристики виробів становлять частки до одиниці. Можливість реалізації такої оцінки визначає друга гіпотеза, згідно із якою якісний стан виробів визначається кількісно за величинами співвідношень між безрозмірними характеристиками нормативних та поточних параметрів.

Для переведення параметрів для порівняльної оцінки у безрозмірні комплекси, використовували відношення між величинами характеристик продукції R_i та їх нормативними значеннями R_n . Для плоскої моделі при відкладенні даних величин із певного центру по діагоналях через певний кут очевидно, що на площині отримана через кінці відкладених променів геометрична фігура відображається у вигляді правильного багатокутника для нормативних параметрів, а для поточних оціночних характеристик – у вигляді неправильного [2, 3].

Кількість кутів або сторін багатокутників визначається кількістю параметрів m , що беруться для оцінювання певного зразка виробів. Величина такого кута дорівнює $360/m$. При розрахунку площ неправильних багатокутників використали метод розбивання фігури на трикутники (рис.1), використовуючи складену програму обчислень. Аналіз даних обчислень дозволив отримати математичний алгоритм для розрахунку факторних площ для будь-якої кількості параметрів оцінки.

Склали розрахункову графічну модель на прикладі оцінювання характеристик акацієвого сорту меду з використанням 5 негативних параметрів якості (рис. 1) [2].

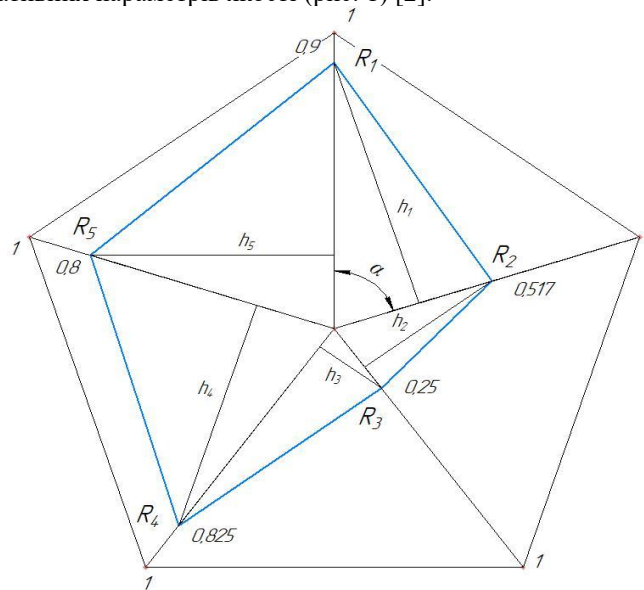


Рис. 1. Розрахункова графічна модель 5-факторного простору негативних параметрів для оцінювання якості акацієвого сорту меду: $R = 1$ величина нормованих параметрів (в ум.од); $R_1 = 0,9$ – коефіцієнт показника масової частки води; $R_2 = 2,86$ – коефіцієнт показника масової частки сахарози; $R_3 = 0,25$ – коефіцієнт показника кислотності; $R_4 = 0,825$ – коефіцієнт показника ГМФ; $R_5 = 0,8$ – коефіцієнт показника рН; h_1, h_2, h_3, h_4, h_5 – висоти трикутників, на які розбивається п'ятикутник для розрахунку площі факторного простору параметрів якості зазначеного сорту меду; α – кут, який утворюється внаслідок проведення прямих, що будували із центру до вершин правильного 5-кутника; синім кольором відображено 5-кутник, що відображає факторний простір за оцінюваними параметрами якості зазначеного сорту меду, а чорним – нормативний факторний простір.

Так, із рис. 1 площа S_1 першого трикутника складає $S_1 = 0,5h_1 \cdot OB = 0,5 \cdot OA \cdot \sin \alpha \cdot OB = 0,5 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot \sin \alpha$. Аналогічно отримали, що площі $S_2 = 0,5 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \sin \alpha$; $S_3 = 0,5 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot \sin \alpha$; $S_4 = 0,5 \cdot R_4 \cdot R_5 \cdot \sin \alpha$; $S_5 = 0,5 \cdot R_5 \cdot R_1 \cdot \sin \alpha$. Тоді загальна шукана площа 5-кутника становить:

$$S_{05} = 0,5 \sin \alpha \cdot [R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_3 \cdot R_4 + R_4 \cdot R_5 + R_5 \cdot R_1] \quad (1)$$

Площа правильного багатокутника $S_{np} = S_n$ на відображеній на рис.1 графічній моделі становить:

$$S_{np} = \frac{mR^2 \sin^2\left(\frac{180}{m}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{180}{m}\right)} = mR^2 \sin\left(\frac{180}{m}\right) \cdot \cos\left(\frac{180}{m}\right) = 0,5mR^2 \sin\left(\frac{360}{m}\right) \quad (2)$$

Враховуючи, що показаний на рис. 1 кут $\alpha = 360/m$, то формулу (2) остаточно представили у вигляді:

$$S_{np} = S_n = 0,5mR^2 \sin \alpha \quad (3)$$

Таким чином, простір оцінювання як нормованих S_n , так і оцінюваних показників S_i для i -того параметра можна визначити, використовуючи подані та знайдені геометричні характеристики та їх величини, які були отримані у результаті експериментальних досліджень.

Висновки

1. Аналіз існуючих моделей якісного стану виробів виявив, що результати оцінки мають незначну та обмежену за кількістю незалежних оціночних параметрів; або явно виражений суб'єктивний характер у ході оцінки якості, зокрема, харчової продукції, не використовують цифрової інформації та в якості критеріїв оцінки мають лише органолептичні характеристики.

2. Розроблена система математичного моделювання якісного стану виробів базується на чисельних параметрах оцінки, які є необмеженими за кількістю, що дозволяє здійснити ефективну об'єктивну оцінку якісного стану досліджуваних зразків продукції; побудова моделей відзначається простотою складання та будь-якою точністю оцінки, хоча адекватність оцінки залежить від правильного вибору оціночних параметрів.

3. При використанні розробленої системи оцінки математичних моделей критерії оцінки представлені безрозмірними комплексами, що дозволяють об'єктивно оцінювати факторний простір як за різноплановими параметрами, так і за розгалуженими сімействами споріднених характеристик. Візуалізація моделей якості наочно можна представляти в одно-, двох- та тривимірному факторному просторі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Паламарчук І. П., Загорко Н. П., Яременко Я. В., Сватова Н.С. Математичні моделі якості м'ясопродуктів з рослинними домішками // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. Вип. 24, т. 3. С. 177-187. DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3
2. Palamarchuk, Igor P., Adamchuk, Leonora, Palamarchuk, Vladyslav I., ... T., Hutsol, Taras, O., Bezalychna, Olena. Assessment of the Ecological Safety of Honey with the Help of "Factor Area" Models. Sustainability (Switzerland), 2024. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208018791>
3. Palamarchuk, I., Mushtruk, M., Piddubny, V., Tkachenko H.,... Modeling of the qualitative state of oilseeds from soybean seeds by multifactorial analysis of factor areas. Scifood, vol.19, 2025. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208018791>

Паламарчук Ігор Павлович — професор Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ, e-mail: vibroprocessing@gmail.com.

Development of a system for assessing the quality of products by mathematical modeling using the method of factor spaces

Abstract. Among the main problems of assessing the quality of products, one can note the difficulties of comprehensive assessment when using parameters that differ significantly in their physical-mechanical or chemical-biological nature. In particular, existing mathematical models of food product quality are limited only to the analysis of organoleptic characteristics, which is implemented by the creation and collective decision of a special expert commission. Such an assessment structure causes certain organizational difficulties and has a clearly expressed subjective nature, practically does not rely on digital information that is available on the basis of the results of experimental research. Therefore, the purpose of the scientific work was to develop and test mathematical models of the quality state, which can have linear, flat and spatial visualization. The developed mathematical models are characterized by ease of compilation and high clarity, the ability to process a sufficiently large amount of information, and the use of an unlimited number of parameters for comparative assessment. The used evaluation criteria are represented by dimensionless complexes that allow objectively evaluating the factor space both by diverse independent parameters and by branched families of related characteristics. The presented methods of mathematical analysis eliminate its subjective nature, which in general allows significantly improving the adequacy of the assessment of the state of the product.

Key words: quality models; linear, planar and spatial visualization; qualitative and normative parameters; dimensionless complexes.

Igor Palamarchuk P. — Professor of National University Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, e-mail: vibroprocessing@gmail.com

В.В. Біліченко
С.В. Цимбал
Ю.Ю. Кукурудзяк

СТВОРЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ МІСТА

Вінницький національний технічний університет

Анотація. У тезі розглядається досвід кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету у створенні інтерактивної системи керування міським пасажирським транспортом. Представлено результати реалізації проектів в містах Вінниця, Могилів-Подільський, Кам'янець-Подільський, Дніпро, а також поточну науково-дослідну роботу в місті Черкаси. Основна увага приділяється розробці програмного середовища CityBusService, яке забезпечує формування, аналіз і оптимізацію маршрутної мережі на основі GPS-координат та динамічних параметрів транспортних засобів.

Ключові слова: інтерактивна система, міський пасажирський транспорт, оптимізація маршрутів, CityBusService, GPS-навігація, транспортна мережа, моделювання перевезень.

Фахівці кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету, під керівництвом професора Біліченка В.В., вже тривалий час займаються науковими дослідженнями і розробкою інноваційних проектів у сфері організаційно-технічного розвитку систем міських пасажирських перевезень. Основною метою цієї роботи є підвищення ефективності функціонування маршрутної мережі громадського транспорту шляхом використання сучасних ІТ-рішень і автоматизованих систем керування.

Ще у 2008 році була сформульована концепція оптимізації пасажирського автомобільного транспорту у місті Вінниця, яка передбачала комплексний підхід до структурування та вдосконалення маршрутної мережі. Впровадження цієї концепції в 2012 році дозволило значно покращити якість транспортного обслуговування населення, зменшити дублювання маршрутів, оптимізувати інтервали руху та забезпечити більш раціональне використання транспортних засобів. З моменту впровадження концепції фахівці кафедри систематично здійснюють авторський супровід, включаючи моніторинг, аналіз фактичного стану транспортної системи та своєчасне коригування раніше розроблених рішень відповідно до нових умов.

На основі отриманих наукових результатів у подальші роки були розроблені аналогічні проекти для міст Могилів-Подільський (2008), Кам'янець-Подільський (2014) та Дніпро (2017), що свідчить про високу практичну значущість методичних підходів кафедри. Наразі виконується науково-дослідна робота над проектом «Створення інтерактивної системи керування пасажирським транспортом міста Черкаси», яка реалізується з використанням сучасних цифрових технологій і автоматизованих інструментів аналізу.

У межах виконання цих досліджень розроблено програмне забезпечення CityBusService — інтерактивне середовище, яке дозволяє формувати, аналізувати та оптимізувати маршрутну мережу міського транспорту. Система використовує GPS-координати зупинок і маршрутів, зберігає інформацію про траєкторії руху, дозволяє створювати як статичну, так і динамічну базу даних, аналізувати навантаження, інтервали та ефективність роботи транспортних засобів. Програмне забезпечення захищено сімома свідоцтвами про реєстрацію авторського права, що підтверджує унікальність та інноваційність розробки.

На рисунках 1–3 представлено реалізацію CityBusService, її структуру, а також приклади формування бази зупинок, перегонів і маршрутів. Крім того, здійснюється формування GPS-карти зупинок міста, побудова моделі транспортної мережі та її подальша оптимізація з використанням відповідних алгоритмів.



Рис. 1 – Програмна реалізація CityBusService



Рис. 2 – Структура середовища CityBusService

Модуль I

ФОРМУВАННЯ СТАТИЧНОЇ БАЗИ

- Формування бази вулиць міста
- Формування бази зупинок міста
- Формування бази перегонів і маршрутів
- Формування бази транспортних засобів міста і маршрутів

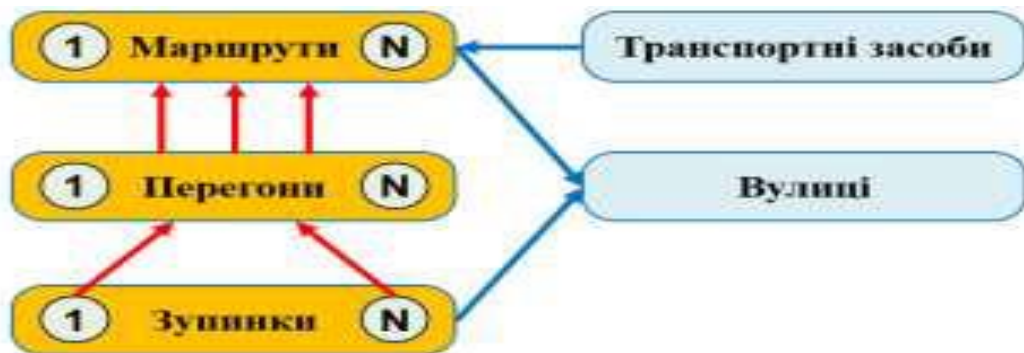


Рис. 3 – Статична база транспортної мережі

База зупинок формується для всіх вулиць міста по яких курсує міський пасажирський транспорт (рис. 4). Для кожної зупинки визначаються GPS- координати, які прив'язуються до парної або непарної сторони вулиці. В базі даних зберігається інформація про назву зупинки, координати та зв'язок з вулицею.

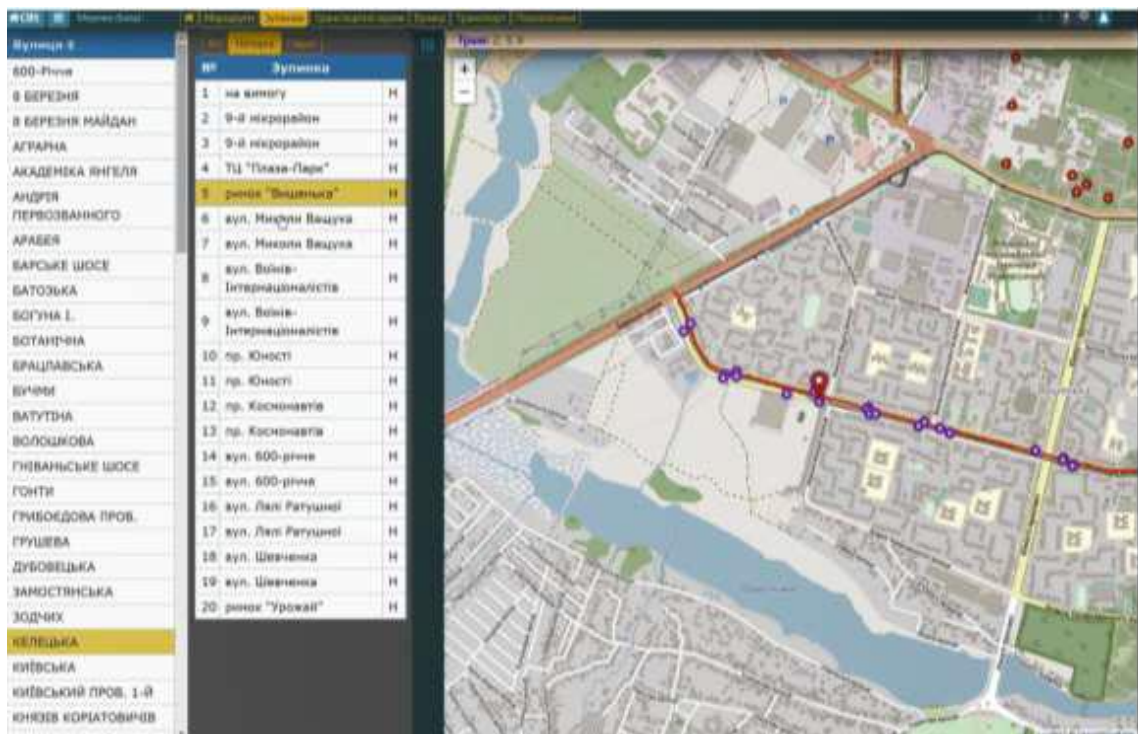


Рисунок 4 – Формування бази вулиць і зупинок міста

База зупинок з їх GPS-координатами дає можливість сформувати GPS-карту всіх існуючих зупинок міста (рис. 5).

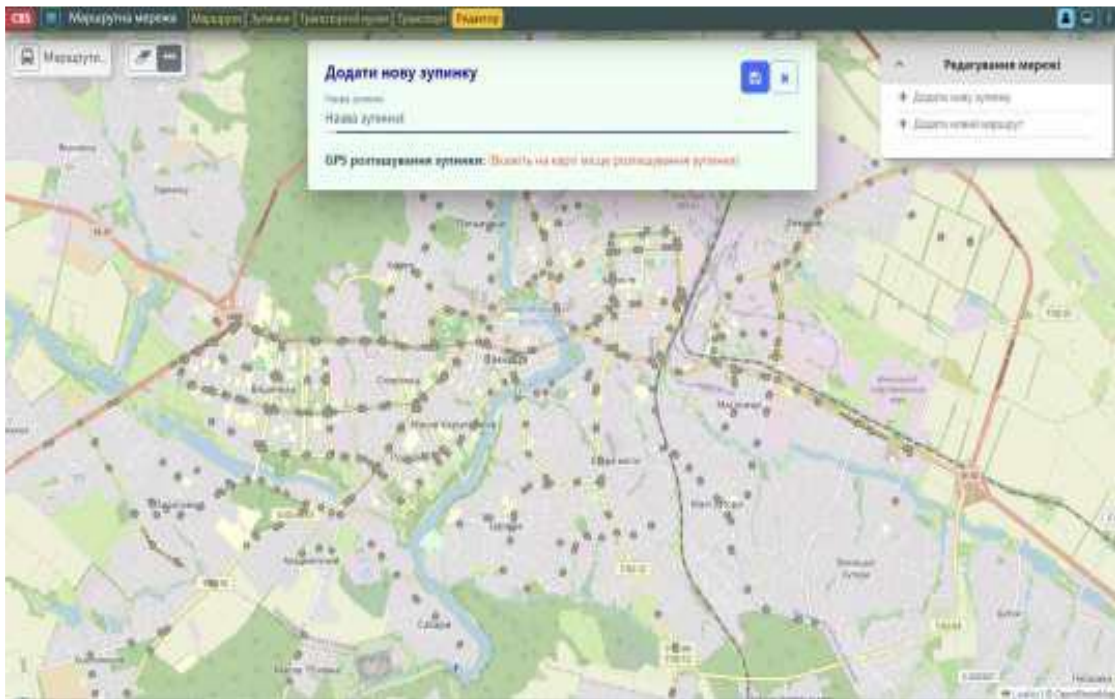


Рисунок 5 – GPS-карта всіх зупинок міста

Формування транспортних маршрутів (рис. 6) має певні особливості, які полягають в необхідності збереження траєкторії руху транспорту між зупинками маршруту.

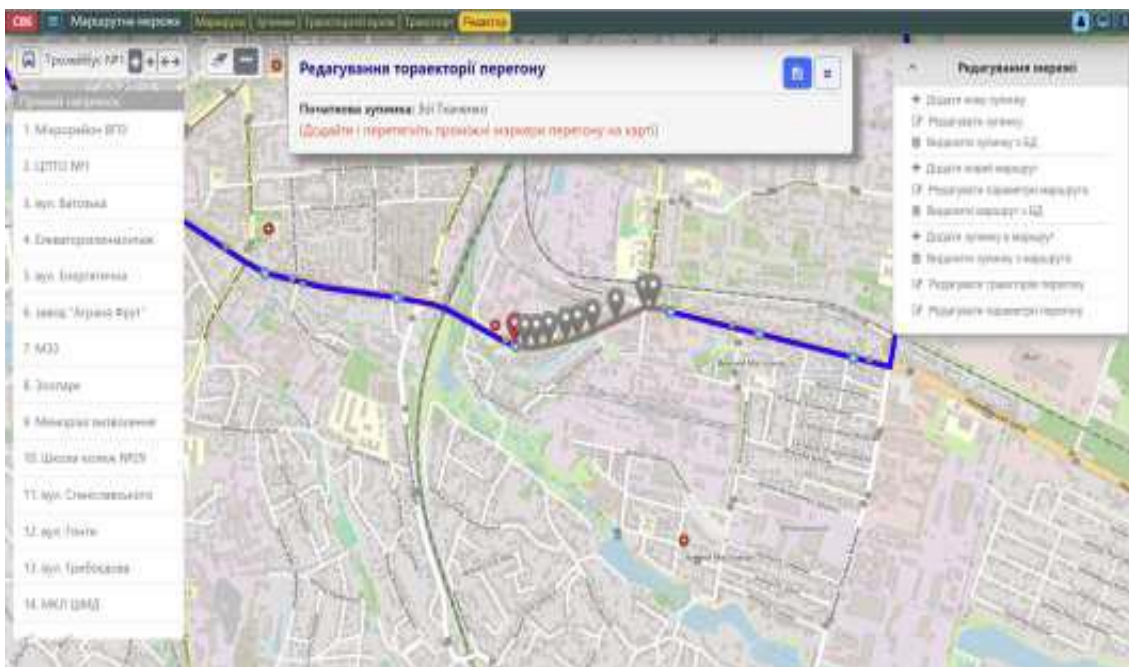


Рисунок 6 – Формування бази перегонів і маршрутів

Після цього алгоритм досліджень передбачає формування бази транспортних засобів, формування динамічної бази транспортної мережі, аналіз параметрів для кожного перегону (зупинки) маршруту, що виконувався для вибраного інтервалу часу (рис. 34), Заключним етапом є моделювання та оптимізація транспортної мережі.

Кафедра АТМ за цим напрямком виконала госпдоговірних робіт на суму понад 5 млн. гривень.

Висновки

1. Проведені дослідження та практична реалізація розробок засвідчили ефективність використання інтерактивних інформаційних систем для управління міським пасажирським транспортом.

2. Впровадження концепцій оптимізації маршрутної мережі в ряді українських міст (Вінниця, Могилів-Подільський, Кам'янець-Подільський, Дніпро) дозволило значно покращити якість транспортного обслуговування населення.

3. Розроблене програмне середовище CityBusService є дієвим інструментом для формування, аналізу та моделювання транспортної мережі, з урахуванням GPS-даних, динаміки перевезень і сучасних вимог до міської мобільності.

4. Отримані результати мають значний практичний потенціал для подальшого впровадження в інших містах України з метою підвищення ефективності та якості функціонування громадського транспорту.

5. Наявність авторських свідоцтв та обсяг виконаних госпдоговірних робіт свідчить про високу наукову та прикладну цінність розробленої системи.

Список використаних джерел

1. Skarga-Bandurova I., Derkach M., Velykzhanin A. A Framework for Real-Time Public Transport Information Acquisition and Arrival Time Prediction Based on GPS Data. In: Dependable IoT for Human and Industry. River Publishers, 2018, pp. 411–431

2. Grytsenko S.I., Hrechkovska A.I., Kordyak M.O. Development of intelligent transport systems of Ukraine. Intellectualization of logistics and Supply Chain Management, 2023, Vol. 17, pp. 35–42

3. Danchuk V., Hutarevych O. Adaptable Dynamic Routing System in Urban Transport Logistics Problems Using GIS Data. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, No 125, 2024, pp. 19–31

4. Ivannikova V., Nesterov O. Model of Transport System Optimization in Kyiv (Ukraine). In: Transbaltica XII, Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure, 2021/2022, pp. 456–467

5. Polishchuk O., Yadzhak M. Interactive evaluation of operation efficiency of the city's transport system by methods of U-statistics. arXiv, 2021

6. Kuzkin O. Optimal planning of trip and round trip cycle time on an urban route. Technology Audit and Production Reserves, 2018, DOI: 10.15587/2312-8372.2018.129039

7. Rosca C., Stancu A., Neculaiu C., Gortoescu I. Designing and Implementing a Public Urban Transport Scheduling System Based on Artificial Intelligence for Smart Cities. Applied Sciences, 2024, 14(19):8861

ІНЖЕНЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В РИНОЛОГІЇ: СИМУЛЯЦІЯ, НАВІГАЦІЯ ТА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ХІРУРГІЇ

Харківський національний університет радіоелектроніки

Анотація

У роботі розглянуто використання тривимірного моделювання як інструменту біомедичної інженерії в ринології. Представлено результати клінічних і навчальних досліджень із використанням 3D-друкованих анатомічних моделей для симуляційного тренування функціональної ендоскопічної хірургії пазух носа. Показано, що такі моделі забезпечують високу точність, відтворюваність та об'єктивну оцінку хірургічних навичок. Проведено порівняльний аналіз з кадаверичними тренінгами, що підтвердив еквівалентність результатів. Зроблено висновок про перспективність впровадження 3D-моделювання у навчальний процес, передопераційне планування та сертифікацію хірургів.

Ключові слова: 3D-моделювання, ринологія, біомедична інженерія, симуляційне навчання, FESS.

Розвиток біомедичної інженерії в останнє десятиліття суттєво вплинув на трансформацію підходів до хірургічного навчання, планування оперативних втручань та післяопераційної верифікації результатів у сфері оториноларингології [1]. У сучасній літературі розглядаються різноманітні підходи до моделювання базових навичок ендоскопічної хірургії [2]. Серед них – використання овочів (перець, томати), тваринних тканин (зокрема, голови ягнят) замість трупного матеріалу, а також 3D-моделі та технології доповненої реальності. Кожен із цих методів має певні переваги та обмеження, що унеможливає його повноцінне заміщення трупних зразків. Абстрактні моделі на основі овочів ефективно розвивають базові хірургічні навички, такі як зорово-моторна координація, точність рухів та маневреність під час роботи з ендоскопічними інструментами. Згідно з даними, 90% учасників навчальних програм відзначили підвищення впевненості та кращу підготовку до подальших етапів навчання, включаючи диссекцію трупів і реальні хірургічні втручання. Тваринні тканини не повністю відтворюють анатомічні особливості людини та реакції на хірургічні маніпуляції. Наприклад, голова ягняти широко використовується у тренуваннях з ендоскопії носових пазух через її документально підтверджену схожість з людською анатомією. Однак такі моделі мають суттєві недоліки: необхідність спеціальних умов зберігання, обмежений термін придатності (до 4 годин) та відмінності у будові складних структур (наприклад, задніх гратчастих клітин, клиноподібного чи лобового синусів). Таким чином, як овочеві, так і тваринні моделі слугують допоміжними інструментами для опанування базових навичок роботи з ендоскопічним обладнанням, але не є самодостатніми для повноцінної підготовки хірургів. Їхнє застосування доцільне лише у поєднанні з іншими методами навчання [3, 4]. Особливо перспективним напрямом є впровадження тривимірного (3D) моделювання в ринології, де складна анатомічна будова приносних синусів створює високі вимоги до просторової орієнтації хірурга, точності доступу та безпеки маніпуляцій. Технології 3D-друку, обробки медичних зображень та симуляційного аналізу забезпечують формування анатомічно достовірних моделей, які можуть застосовуватись як у навчальних цілях, так і для клінічного планування втручань. 3D-моделі, виготовлені з даних комп'ютерної томографії (формат DICOM), проходять сегментацію у спеціалізованому програмному забезпеченні (Mimics, 3D Slicer) з подальшим експортом у STL-файли для адитивного виробництва. У типових моделях використовуються полімери з контролем твердості: для імітації кісткової тканини застосовується матеріал з твердістю Shore D 83–86, для м'яких тканин — Shore A 28–33. Мінімальна товщина друку становить 0,0125 мм, що забезпечує високу

точність відтворення складних анатомічних зон, зокрема фронтальної пазухи, *aggeg nasi* та решітчастого лабіринту. Клінічну ефективність таких моделей було продемонстровано в дистанційному навчальному курсі, де хірурги отоларингологи під контролем досвідчених спеціалістів виконували симуляційні фронтальні синусотомії на моделях із наростаючою складністю варіативності анатомії. Під час курсу час виявлення дренажного шляху фронтальної пазухи (FSDP) зменшився з 1292 ± 672 с до 321 ± 267 с ($p = 0,017$), попри ускладнення анатомії. Об'єм FSDP збільшився з $2,36 \pm 0,00$ до $9,70 \pm 1,49$ мл ($p = 0,014$), що підтверджено за допомогою 3D-реконструкції в системі SYNAPSE VINCENT. Загальний освітній ефект курсу був оцінений учасниками на $95,5 \pm 5,1$ бала зі 100 можливих, а спостерігачами — на $89,2 \pm 15,8$ бала. Розширене дослідження за участю 47 оториноларингологів (9 експертів, 19 фахівців середнього рівня, 19 новачків) дозволило валідувати ефективність 3D-моделей за шкалою OSATS (Objective Structured Assessment of Technical Skills). Експерти набрали $74,7 \pm 3,6$ бала, фахівці середнього рівня — $58,3 \pm 10,1$, новачки — $43,1 \pm 11,1$ ($p < 0,001$). У групі новачків, які проходили семисесійну тренувальну програму, OSATS зріс з $41,1 \pm 8,0$ до $61,1 \pm 6,9$ ($p < 0,001$), а час виконання *mini-FESS* скоротився з $1783,2 \pm 577,8$ до $861,6 \pm 441,0$ с ($p = 0,004$). Після завершення тренування 80% новачків вперше успішно виконали повний FESS на кадаврах, що вказує на високу адаптивність симуляцій до клінічної практики [5]. У порівняльному дослідженні 17 хірургів виконували ідентичні FESS-процедури на 3D-моделях і на кадаврах. За OSATS-оцінкою не було виявлено статистично значущих відмінностей: $50,41 \pm 13,31$ на моделях проти $48,29 \pm 16,01$ на кадаврах ($p = 0,36$). Аналогічно, час виконання *mini-FESS* не відрізнявся достовірно ($21:29 \pm 0:10$ хв проти $20:33 \pm 0:07$ хв, $p = 0,53$). Висока кореляція результатів між моделями та кадаврами ($r = 0,84$, $p < 0,001$) підтверджує об'єктивну придатність моделей як альтернативи для навчання та оцінки хірургів [6]. Інженерні аспекти моделювання включають модульність, можливість стандартизації та варіативність анатомічної складності. Різні типи моделей охоплюють різні варіанти анатомічної будови, дозволяючи адаптувати навчання відповідно до рівня підготовки. Прозорі сегменти моделі забезпечують візуальний контроль за якістю розтину, а сумісність із навігаційними та AR-системами відкриває перспективи інтеграції у хірургію з віртуальним плануванням. Проте, основною проблемою залишається відтворення реалістичних умов операції, таких як слизова оболонка, кровотеча та забруднення лінзи ендоскопа, що ускладнює процес навчання. У контексті інженерії 3D-моделювання поєднує точність цифрової обробки медичних зображень, функціональність сучасних полімерних матеріалів і технології адитивного виробництва. Це дозволяє реалізувати концепцію цифрового двійника ЛОР-анатомії для використання як у передопераційному плануванні, так і в післяопераційній оцінці втручань [7, 8]. За рахунок низької вартості, відсутності етичних та інфекційних ризиків, високу стандартизацію і масштабованість, даний підхід є одним з найбільш перспективних у хірургічному навчанні. Сучасні клінічні рекомендації з підготовки хірургів визнають навчання на кадаврах «золотим стандартом», однак у останні роки зростає інтерес до відтворюваних навчальних моделей. Цей пов'язано із економічною доцільністю, правовими обмеженнями та етичними аспектами використання біологічних зразків. Кожен із альтернативних методів має власні сильні та слабкі сторони, найбільш перспективним напрямком для навчання та преопераційного планування вважається 3D-моделювання [8].

Таким чином, тривимірне моделювання в ринології, засноване на принципах біомедичної інженерії, продемонструвало високу ефективність як засіб хірургічного навчання, інструмент об'єктивного тестування навичок та технологію планування складних оперативних втручань. Інтеграція з телемедичними платформами [9, 10], навігаційними системами та технологіями доповненої реальності визначає подальший вектор розвитку створення інтелектуальних симуляційних тренінгових середовищ для постійної клінічної практики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tymkovich, M. et al. (2021). Application of SOFA Framework for Physics-Based Simulation of Deformable Human Anatomy of Nasal Cavity. 8th European Medical and Biological Engineering Conference. EMBEC 2020. IFMBE Proceedings, vol 80. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64610-3_14.
2. Selivanova, K. G., Avrunin, O. G., Tymkovich, M. Y., & Manhora, T. V. (2021). 3D Visualization of Human Body Internal Structures Surface During StereoEndoscopic Operations Using Computer Vision Techniques. *Przegląd Elektrotechniczny*, (9), 30–33.

3. Tikka S, Chaithra BG, Sharma SB, Janakiram TN. A Feasible, Low-Cost, Capsicum and Tomato Model for Endoscopic Sinus and Skull Base Surgery Training. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2022 Dec;74(Suppl 3):4565-4570. doi: 10.1007/s12070-021-02583-z. Epub 2021 Jul 5. PMID: 36742779; PMCID: PMC9895242.
4. De Oliveira HF, Bollala VR, Anselmo-Lima WT, Costa CAPO, Nakanishi M. A feasible, low-cost, reproducible lamb's head model for endoscopic sinus surgery training. *PLoS One.* 2017 Jun 29;12(6):e0180273. doi: 10.1371/journal.pone.0180273. PMID: 28662196; PMCID: PMC5491169.
5. Suzuki M, Watanabe R, Nakazono A, Nakamaru Y, Suzuki T, Kimura S, Matoba K, Murakami M, Hinder D, Psaltis AJ, Homma A, Wormald PJ. Can high-fidelity 3D models be a good alternative for cadaveric materials in skill assessment for endoscopic sinus surgery? A comparison study in assessment for surgical performance in 3D models and cadavers. *Front Med (Lausanne).* 2024 Oct 17;11:1301511. doi: 10.3389/fmed.2024.1301511. PMID: 39484199; PMCID: PMC11524814.
6. Suzuki M, Miyaji K, Watanabe R, Suzuki T, Matoba K, Nakazono A, Nakamaru Y, Konno A, Psaltis AJ, Abe T, Homma A, Wormald PJ. Repetitive simulation training with novel 3D-printed sinus models for functional endoscopic sinus surgeries. *Laryngoscope Investig Otolaryngol.* 2022 Jul 21;7(4):943-954. doi: 10.1002/lio2.873. PMID: 36000044; PMCID: PMC9392405.
7. Avrunin, O. G., Tymkovych, M. Y., Saed, H. F. I., Loburets, A. V., Krivoruchko, I. A., Smolarz, A., & Kalimoldayeva, S. (2019). Application of 3D printing technologies in building patient-specific training systems for computing planning in rhinology. Paper presented at the Information Technology in Medical Diagnostics II - Proceedings of the International Scientific Internet Conference on Computer Graphics and Image Processing and 48th International Scientific and Practical Conference on Application of Lasers in Medicine and Biology, 2018, 1-8. doi:10.1201/9780429057618-1.
8. Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія / [С.В. Павлов, О.Г. Аврунін, С.М. Злепко, С.В. Бодяньський та ін.]; за редакцією С. Павлова, О. Авруніна. – Вінниця: ПП «ГД «Едельвейс і К», 2019. – 260 с.
9. Місоченко С. Ю., Селіванова К. Г., Аврунін О. Г. Дослідження використання вірогіднісних методів у сфері обробки біомедичних зображень. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXX міжнародної науковопрактичної конференції MicroCAD2022, 19-21 жовтня 2022 р. Харків : НТУ «ХП», 2022. С. 902.
10. Avrunin, O., Kolisnyk, K., Nosova, Y., Tomashevskiy, R., & Shushliapina, N. (2020). Improving the methods for visualization of middle ear pathologies based on telemedicine services in remote treatment. Paper presented at the 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2020 - Conference Proceedings, 347-350. doi:10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250090.
4. Sokol, Y., Avrunin, O., Kolisnyk, K., & Zamiatin, P. (2020). Using medical imaging in disaster medicine. Paper presented at the 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems, IEPS 2020 - Proceedings, 287-290. doi:10.1109/IEPS51250.2020.9263175

Соколюцов Андрій Олегович, аспірант кафедри біомедичної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки. м. Харків, andrii.sokoltsov@nure.ua

Аврунін Олег Григорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки. м. Харків, oleh.avrunin@nure.ua

ENGINEERING TECHNOLOGIES OF THREE-DIMENSIONAL MODELING IN RHINOLOGY: SIMULATION, NAVIGATION, AND SURGICAL OUTCOME ASSESSMENT

Abstract

This study explores the application of three-dimensional modeling as a biomedical engineering tool in rhinology. It presents clinical and educational research findings on the use of 3D-printed anatomical models for simulation-based training in functional endoscopic sinus surgery (FESS). The models demonstrate high anatomical accuracy, reproducibility, and enable objective evaluation of surgical skills. A comparative analysis with cadaveric training confirmed the equivalence of outcomes. The study concludes that 3D modeling holds significant promise for integration into surgical education, preoperative planning, and surgeon certification processes.

Keywords: 3D modeling, rhinology, biomedical engineering, simulation training, FESS.

Andrii Sokoltsov, PhD student, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, andrii.sokoltsov@nure.ua

Oleg Avrunin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, oleh.avrunin@nure.ua

НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ ПІДХОДИ В ПОРОШКОВІЙ МЕТАЛУРГІЇ КОМПОЗИЦІЙНИХ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

Анотація. У доповіді розглядається новітні технологічні та матеріалознавчі підходи в порошковій металургії композиційних та функціональних матеріалів.

Ключові слова: Порошкова металургія, композиційні матеріали, карбідосталі, мікроструктура.

Передові технології порошкової металургії охоплюють різні напрямки, які представлені на рис. 1.

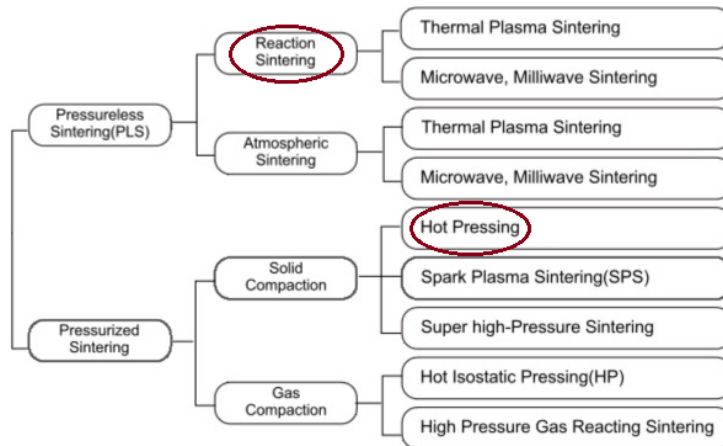


Рис. 1 – Передові технології порошкової металургії

До основних базових технологічних та матеріалознавчих засад слід віднести:

1. Реакційне спікання;
2. Гаряче штампування пористих порошкових заготовок;
3. Мультикомпонентні, високо- та середньоентропійні сплави;
4. Використання як основних компонентів вихідної порошкової шихти феросплавів та термічно синтезованих лігатур;
5. Використання гідриду титану як основної компоненти титан вміщуючих порошкових композитів замість порошку титану.

Карбідосталі

Теоретично обґрунтована та розроблена принципово нова технологічна схема виготовлення карбідосталей - високотносостійких порошкових композиційних матеріалів, який базується на використанні ефекту in-situ формування карбідної фази в процесі термічного синтезу із вихідної суміші з порошків титану, вуглецю та сталі (рис. 2).



Рис. 2 – Розроблена технологічна схема

Запропонована технологічна схема базується на використанні в якості вихідної сировини значно більш дешевих порошоків гідриду титану та вуглецю замість дорогого карбіду титану, дозволяє суттєво (на 25-40%) знизити енерговитрати на всьому технологічному циклі виготовлення карбідосталей та забезпечити отримання більш дисперсної структури та, відповідно, вищого рівня властивостей отриманого матеріалу у порівнянні із відомими технологіями.

Мікроструктура високозносостійких композиційних матеріалів на основі залізовуглецевих сплавів, армованих високомодульними сполуками (TiC, TiB₂) показана на рисунку 3.

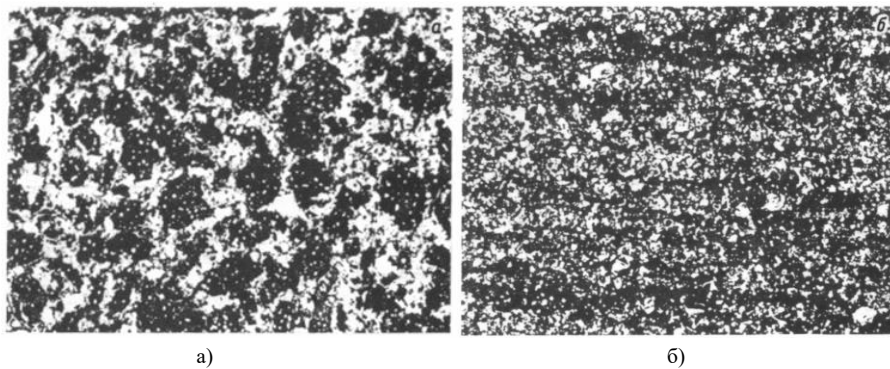


Рис. 3 – Мікроструктура спеченої (а) та гарячештампованої (б) карбідосталі

На рис. 4 показана залежність міцності на згин композиту швидкорізальна сталь - 20% TiC від технології отримання.

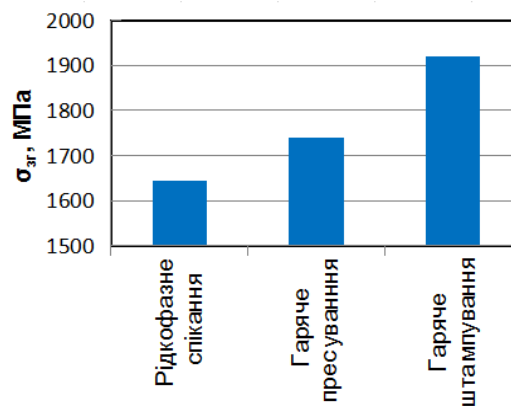


Рисунок 4 – Формування бази вулиць і зупинок міста

Алюмоматричні композити системи Al-TiC. Теоретично обґрунтована та розроблена нова технологічна схема виготовлення алюмоматричних композитів системи Al-TiC, яка базується на

використанні ефекту in-situ формування карбідної фази в процесі термічного синтезу із вихідної порошкової суміші з порошків Al, Ti та C.

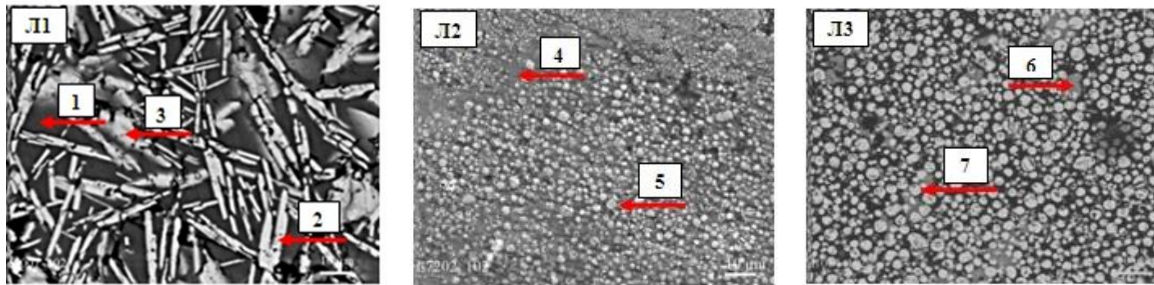


Рисунок 5 – Мікроструктури алюмоматричних композитів

Вплив співвідношення компонентних складових вихідної шихти на структуру та фазовий склад синтезованого композиту показано на рисунку 6.

Шифр сплаву	Вміст елементів, % (мас.)		
	Al	Ti	C
Л1	40	54	6
Л2	45	44	11
Л3	20	64	16

Рисунок 6 – Мікроструктури алюмоматричних композитів

Чисельне моделювання процесу in situ реакційного синтезу композитів на основі залізовуглецевих сплавів, армованих армованих TiC із суміші елементарних порошків Fe-Ti-C. Розроблена фізично обґрунтована напівемпірична математична модель термічного синтезу часток карбиду титану (TiC) при спіканні пресовок із суміші порошків системи Fe-Ti-C. Модель дозволяє оцінити утворення TiC, включаючи зародження, ріст і пов'язаний з цим температурно-часовий режим. Вона містить числові описи теплових, дифузійних і хімічних процесів, враховуючи фазові перетворення та їх залежність від хімічного складу (рис. 7).

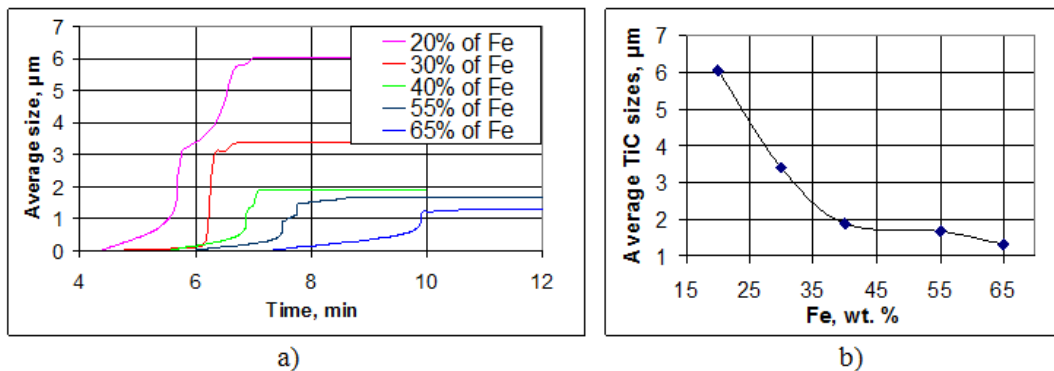


Рисунок 7 – Результати моделювання росту частинок TiC залежно від вмісту Fe: а) кінетичні криві росту частинок TiC; б) отримані середні розміри частинок TiC

Записано з виступу на конференції.

Баглик Геннадій Анатолійович доктор технічних наук, старший науковий співробітник, членкореспондент НАН України, директор Інституту проблем матеріалознавства ім.І.М.Францевича НАНУ, Київ, E-mail:g.bagliuk@ipms.kyiv.u

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ В'ЯЗКОСТІ РОБОЧОЇ РІДИНИ НА ЇЇ РУХ В КАМЕРІ АВТОБАЛАНСИРА ТИПУ LEBLANC

¹ Хмельницький національний університет

Анотація

Подано результати моделювання розподілу швидкостей в об'ємі в'язкої робочої рідини в процесі обертового руху роторної системи. Розглянуто режим повного пріоритету відцентрових сил, коли вільна поверхня рідини набуває циліндричної форми. Верифікацію моделі здійснено на експериментальних даних. Показано, що автобалансири з робочою рідиною меншої в'язкості є більш ефективними.

Ключові слова: балансувальний пристрій типу Leblanc, робоча рідина, в'язкість.

Вібрації, викликані дисбалансом, є проблемою в динаміці роторних машин. У випадках, коли дисбаланс є змінним або коли балансування ротора на ходу є неможливим, одним із дієвих способів вирішення такої проблеми є автоматичне балансування. Балансир Leblanc – це, зазвичай, жорстке порожнє кільце (циліндричне або тороподібне) частково заповнене рідиною [1]. Через простоту та доступність у виготовленні, надійність та безшумність в практичній реалізації, несприятливість зношуванню робочих поверхонь використання балансира типу Leblanc є перспективним методом автоматичного балансування для класу серійних машин (зокрема, побутових), дисбаланс яких є змінним через особливості роботи машини [2, 3].

Метою роботи є обґрунтування розподілу швидкостей в об'ємі робочої рідини в процесі обертового руху роторної системи з АБП за режиму повного пріоритету відцентрових сил, коли вільна поверхня рідини набуває циліндричної форми, та оцінка впливу в'язкості робочої рідини на її рух та поведінку в камері АБП як коригувальної маси.

Розглядається обертовий рух рідини в камері радіуса R і висотою h автобалансируального пристрою типу Leblanc у випадку квазістаціонарного обертання роторної системи з кутовою швидкістю ω_0 ($[\omega] = \text{с}^{-1}$) навколо осі ротора за режиму повного пріоритету відцентрових сил. Радіус вільної поверхні рідини за цього режиму – R_0 . Вважається, що в'язка рідина (μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини), розташована між «циліндрами» (зовнішній – стінка камери АБП, внутрішній – вільна поверхня рідини), обертається концентричними циліндричними шарами. Момент сил, що діють по циліндричній межі між шарами рідини не залежить від радіуса біжучого циліндричного шару рідини r , оскільки рідина рухається стаціонарно. Тому:

$$M_F(r) = r \cdot \mu \cdot \frac{rd\omega}{dr} \cdot 2\pi \cdot r \cdot h = 2\pi \cdot h \cdot \mu \cdot r^3 \frac{d\omega}{dr} = M_F, \quad R_0 \leq r < R. \quad (1)$$

Інтегруванням виразу (1) з граничною умовою $\omega(R) = \omega_0$ одержано вираз для розподілу кутових швидкостей в об'ємі в'язкої робочої рідини (2):

$$\omega(r) = \omega_0 + \frac{M_F}{4\pi \cdot h \cdot \mu} \cdot \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{R^2} \right). \quad (2)$$

За формулою (1) градієнт швидкості обернено пропорційний в'язкості. Тому можна висунути гіпотезу, що в'язкі рідини є малоефективними для відстеження дисбалансу роторної системи. Експериментально визначено вплив в'язкості (внутрішнього тертя) коригувальної рідини на амплітуду коливань і відповідно на ефективність балансування для різних значень дисбалансу ротора. Для цього на дослідних установках, що моделюють вертикальну і

горизонтальну роторні системи проведено серію дослідів з рідинами близькими за густиною, але суттєво різними за в'язкістю: з прісною водою ($\rho \approx 1000 \text{ кг/м}^3$; $\mu \approx 10,1 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$); зі специфічною рідиною 1 ($\rho \approx 1230 \text{ кг/м}^3$; $\mu \approx 177,13 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$); зі специфічною рідиною 2 ($\rho \approx 1370 \text{ кг/м}^3$; $\mu \approx 1327,59 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$). На рис. 1 подано амплітудно-частотні характеристики коливань вільного краю ротора за умов: об'єм робочої рідини 50 мл, $R = 0,2 \text{ м}$, $h = 0,05 \text{ м}$, величина імітаційного дисбалансу ротора $D = 1000 \text{ г}\cdot\text{см}$.

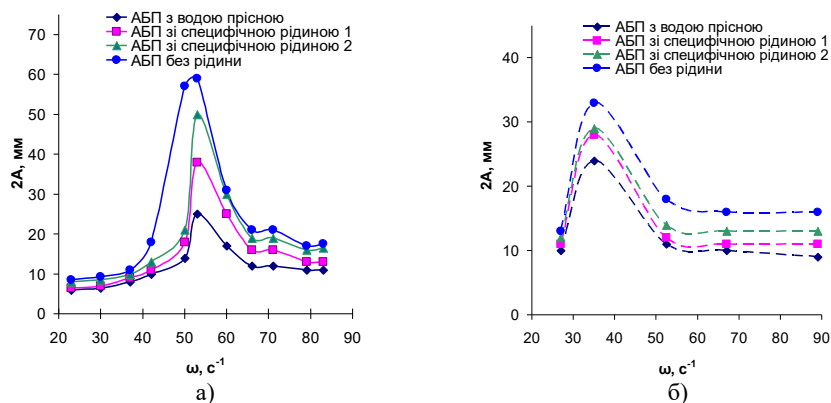


Рис. 1. Амплітудно-частотні характеристики коливань вільного краю барабана:
а) – випадок вертикального ротора; б) – випадок горизонтального ротора

Порівняння відповідних амплітуд коливань ротора (рис. 1) дозволяє зробити висновок: автобалансувальний пристрій з прісною водою (з рідиною найменшої в'язкості) є більш ефективним, ніж балансер з специфічними рідинами в якості коригувальних мас. Значення коефіцієнтів ефективності при переході через резонанс з використанням рідин різної в'язкості для вертикального ротора містяться в діапазоні від 2,36 до 1,18; для горизонтального – від 1,38 до 1,14.

Доведено припущення, що в'язкість (внутрішнє тертя між шарами) рідини, пролонгує включення в'язкої рідини в процес автобалансування і не дозволяє рідині встановитися точно проти дисбалансу не залежно від просторового розташування осі ротора. Тому за суттєвої в'язкості робочої рідини зрівноважування дисбалансу є малоефективним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. LeBlanc, M.: Automatic Balancer for Rotating Bodies. US Patent 1.159.052, 1914. Available at: <https://patents.google.com/patent/US1209730A/en>
2. Narkhede1, Churnika N., Dhande, K.K. (2016). Review on vibration reduction of a vertical axis drum based washing machine. IJARIE, vol. 2, 3, 3842-3847.
3. Nilawar, S. G., Yerrawar, R. N. (2023). Numerical modeling of semi-automatic washing machine motion model, Proceedings of the 11th International Conference on Applied Mechanics.

Драч Ілона Володимирівна – д-р. техн. наук, професор кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, drachil@khmnu.edu.ua.

Диха Максим Олександрович – канд. техн. наук, докторант кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, maxdixal@gmail.com.

Analysis of Viscosity Effects on Working Fluid Motion in a Leblanc-Type Balancer

Abstract

This paper presents a simulation of velocity distribution in a viscous working fluid during rotor rotation. It focuses on a regime dominated by centrifugal forces, where the fluid's free surface becomes cylindrical. The model is validated with experimental data. Results show that auto-balancers using lower-viscosity fluids are more efficient

Keywords: Leblanc-type Balancing Device, Working Fluid, Viscosity.

Drach Ilona V. – Doctor. Sc. (Eng), Professor of Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, Khmelnytsky, drachil@khmnu.edu.ua.

Dykha Maksym – PhD, doctoral student Department of Tribology, Automobiles and Materials Science Khmelnytskyi National University, Khmelnytsky, maxdixal@gmail.com.

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО З'ЄДНАННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ КУЗОВНИХ КОНСТРУКЦІЙ АВТОМОБІЛІВ

Луцький національний технічний університет¹

Анотація. Розглянуто сучасні методи з'єднання та зміцнення кузовних конструкцій в автомобілебудуванні, які спрямовані на досягнення високої структурної жорсткості, зниження ваги та забезпечення безпеки пасажирів. Проаналізовано переваги й недоліки найбільш поширених технологій зварювання, зокрема точкового, MIG/MAG та лазерного, а також альтернативних методів – клейових з'єднань і механічного кріплення. Акцент зроблено на важливості впровадження композитних матеріалів, автоматизації процесів та систем контролю якості. Окреслено перспективні напрями розвитку, включаючи інтеграцію зварювання з 3D-друком і дослідження енергоефективності та екологічності виробництва. Представлений огляд підкреслює значення комбінування технологій для створення надійних і сучасних автомобільних конструкцій.

Ключові слова: з'єднання, кузов, зварювання, якість, виробництво.

Сучасне автомобілебудування перебуває у постійному пошуку ефективних рішень для створення легких, міцних і безпечних кузовних конструкцій. Основна мета інженерів і виробників – забезпечити високу структурну жорсткість кузова, мінімізувати його вагу та підвищити безпеку пасажирів, одночасно оптимізуючи виробничі витрати. Досягнення цих цілей стало можливим завдяки впровадженню новітніх методів з'єднання та зміцнення матеріалів, що дозволяють покращити механічні характеристики конструкцій та підвищити їхню довговічність.

В останні десятиліття автомобільна промисловість активно використовує передові технології, що включають різні типи зварювання, такі як лазерне, точкове та MIG/MAG зварювання. Окрім традиційних зварювальних методів, у виробництві автомобілів все більше застосовуються альтернативні підходи, зокрема клейові з'єднання та механічне кріплення, які дозволяють з'єднувати деталі без теплового впливу, зменшуючи ризик деформацій та втрати механічних властивостей. Крім того, впровадження композитних матеріалів відкриває нові можливості у зменшенні ваги автомобільних конструкцій без втрати їхньої міцності та жорсткості [1].

Точкове або контактне зварювання є широко використовуваним методом у виробництві автомобілів, особливо для з'єднання тонколистової сталі. Цей процес здійснюється шляхом використання електродів, які нагрівають метал до температури плавлення та створюють точкове з'єднання. Висока швидкість процесу дозволяє виконувати сотні з'єднань за секунди, що робить цей метод надзвичайно ефективним для масового виробництва. Автоматизовані системи дозволяють контролювати параметри струму та часу імпульсу, що забезпечує стабільну якість зварного з'єднання. Окрім цього, точкове зварювання не потребує додаткових матеріалів, таких як дроти або захисні гази, що зменшує виробничі витрати.

Основними перевагами точкового зварювання є висока продуктивність, низька собівартість та простота автоматизації. Це з'єднання забезпечує високу міцність і добре витримує механічні навантаження. Локальний нагрів сприяє мінімальному впливу на загальну структуру деталі, що допомагає уникнути значних деформацій. Проте існують і певні недоліки. Щоб уникнути ослаблення конструкції, необхідно рівномірно розподіляти точки зварювання. Крім того, температура під час зварювання може спричинити локальні деформації, що впливає на точність геометрії деталей. Електроди в процесі експлуатації поступово зношуються, що вимагає їхньої періодичної заміни.

MIG (MetalInertGas) та MAG (MetalActiveGas) – це два схожі, але водночас відмінні методи дугового зварювання, які широко застосовуються в промисловості для з'єднання металевих конструкцій. Вони особливо популярні в автомобілебудуванні, суднобудуванні, важкій промисловості та інших галузях, де необхідні високоміцні та надійні зварні з'єднання. Основний принцип цих технологій полягає у використанні електродного дроту, який автоматично та безперервно подається у зону зварювання. Під впливом електричної дуги він плавиться і створює міцний шов. Водночас застосовується захисний газ, що запобігає контакту розплавленого металу з киснем та іншими небажаними домішками, які можуть погіршити якість зварного з'єднання.

Основна відмінність між MIG і MAG зварюванням полягає у складі газового середовища. У методі MIG застосовуються інертні гази, такі як аргон або гелій, які не вступають у хімічні реакції з розплавленим металом і створюють стабільні умови для зварювального процесу. Це робить MIG зварювання особливо ефективним для роботи з кольоровими металами, зокрема алюмінієм, міддю та їх сплавами. Натомість MAG зварювання використовує активні гази, такі як вуглекислий газ або його суміші з аргонем та киснем. Ці гази вступають у певні хімічні взаємодії з металом, що сприяє глибшому проплавленню та покращенню механічних властивостей шва. Тому MAG зварювання найчастіше застосовується для роботи з конструкційними сталями, включаючи вуглецеві та нержавіючі сталі [2].

Однією з ключових особливостей цих методів є їхня висока продуктивність і можливість автоматизації. Сучасні системи зварювання оснащені механізмами для точної подачі дроту, контролю параметрів зварювання та підтримання стабільності дуги. Це дозволяє значно підвищити якість та однорідність зварних з'єднань, що особливо важливо у виробництві автомобільних кузовів, мостових конструкцій, трубопроводів та інших металевих виробів. Використання захисного газу дозволяє уникнути утворення оксидів та небажаних домішок, що забезпечує чистоту та довговічність шва.

MIG/MAG зварювання має низку переваг, які роблять його одним із найбільш затребуваних методів у промисловості. Завдяки безперервній подачі електродного дроту зварювання відбувається швидше, ніж при традиційних методах, що суттєво підвищує ефективність виробництва. Автоматизація процесу дозволяє значно зменшити вплив людського фактора та забезпечити стабільність результату, що особливо важливо при серійному виробництві. Крім того, цей метод є універсальним, оскільки дозволяє зварювати різні типи металів та їх сплавів, забезпечуючи високу якість шва. Завдяки використанню захисних газів зменшується ризик утворення оксидів та шлакових включень, що позитивно впливає на механічні властивості з'єднання.

Проте, попри всі переваги, MIG/MAG зварювання має й певні недоліки, які варто враховувати під час його застосування. Одним із головних обмежень є висока чутливість до зовнішніх умов, таких як вітер, вологість та протяги. Якщо захисний газ розсіюється через несприятливі погодні умови, це може призвести до окислення металу і, як наслідок, до погіршення якості шва. Також цей метод вимагає ретельного контролю параметрів зварювання, оскільки неправильне налаштування може спричинити утворення пористості або інших дефектів, що знижують міцність з'єднання. Ще одним фактором, який слід враховувати, є висока вартість обладнання та витратних матеріалів. Для забезпечення якісного зварювання необхідно використовувати спеціальні джерела струму, захисні гази та інші комплектуючі, що може бути дорогим для малих підприємств або майстерень.

Попри деякі недоліки, MIG/MAG зварювання залишається одним із найефективніших і найпоширеніших методів з'єднання металів у промисловості. Його висока продуктивність, якість зварних швів та можливість автоматизації роблять цей метод незамінним у таких сферах, як машинобудування, автомобілебудування, будівництво та виробництво металоконструкцій. При правильному налаштуванні обладнання, дотриманні технологічних норм та врахуванні зовнішніх факторів можна досягти стабільного та якісного результату, що забезпечить довговічність та надійність зварних конструкцій [3].

У сфері з'єднання та зміцнення кузовних конструкцій автомобілів важливо зосередитися на розробці нових матеріалів, які забезпечать кращу міцність та зменшену вагу конструкцій. Дослідження в напрямку оптимізації зварювальних процесів, автоматизації та роботизації дозволять підвищити точність і стабільність результатів. Також важливими є дослідження систем моніторингу та контролю якості зварних з'єднань, які зменшать ймовірність дефектів. Інші важливі напрямки

включають вивчення енергетичної ефективності та екологічності зварювальних процесів, а також поглиблені дослідження клеєвих з'єднань та механічного кріплення, що стають популярними в автомобільній промисловості. Розвиток нових методів зміцнення матеріалів після зварювання та інтеграція зварювання з іншими сучасними технологіями, такими як 3D-друк, також відкривають великі перспективи для удосконалення виробничих процесів та підвищення якості автомобілів.

Сучасні методи з'єднання та зміцнення кузовних конструкцій автомобілів відіграють ключову роль у забезпеченні їхньої міцності, довговічності та безпеки. Кожен із розглянутих методів має свої переваги та недоліки, тому виробники часто комбінують різні технології, щоб досягти оптимальних результатів. Використання лазерного, точкового та інших видів зварювання дозволяє створювати надійні, ефективні та легкі конструкції, що відповідають сучасним вимогам автомобільної промисловості. Подальший розвиток матеріалознавства та зварювальних технологій сприятиме вдосконаленню процесів виробництва, підвищенню якості та безпеки автомобілів майбутнього.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сукбір Сінгх. Варіант зварювання MIG для подібних і різнорідних металів. Хар'яна, Індія, 2022.
2. Карлос Гонсалес-Гонсалес, Хорхе Лос Сантос-Ортега. Екологічний та економічний аналіз процесів зварювання TIG, MIG, MAG та SMAW. 2023. С. 21.
3. Сяохуй Ян, Чжибін Ян, Їнь Ма, Чуньюань Ши, Чжибін Сінь. Розподіл пористості та механічна відповідь стикового з'єднання зі зварюванням лазер-MIG гібридом сплаву алюмінію 6082-T6. Оптика і лазерні технології. С. 132.

Франчук Владислав Миколайович, здобувач вищої освіти факультету транспорту та механічної інженерії Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, franchuk884@gmail.com

Самчук Людмила Михайлівна к.т.н., доцент Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Samchuk204@gmail.com

Innovative Approaches to Joining and Reinforcing Automotive Body Structures

Abstract. *The article examines modern methods of joining and reinforcing automotive body structures aimed at achieving high structural rigidity, reducing weight, and ensuring passenger safety. It analyzes the advantages and disadvantages of the most common welding technologies, including spot, MIG/MAG, and laser welding, as well as alternative approaches such as adhesive bonding and mechanical fastening. Emphasis is placed on the importance of implementing composite materials, process automation, and quality control systems. The paper outlines promising areas of development, including the integration of welding with 3D printing and the study of energy efficiency and environmental sustainability of production. The review highlights the importance of combining various technologies to create reliable and modern automotive structures.*

Keywords: *connection, body structure, welding, quality, manufacturing.*

Franchuk Vladyslav Mykolaiovych, higher education applicant, Faculty of Transport and Mechanical Engineering, Lutsk National Technical University, Lutsk, franchuk884@gmail.com

Samchuk Liudmyla Mykhailivna, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, Samchuk204@gmail.com

REFERENCES

1. Sukhbir Singh. Variant Of MIG welding of similar and dissimilar metals. Haryana, India, 2022.
2. Carlos González-González, Jorge Los Santos-Ortega. Environmental and Economic Analyses of TIG, MIG, MAG and SMAW Welding Processes. 2023. P. 21.
3. Xiaohui Yan a. Zhibin Yang a. b. YinMa a. Chunyuan Shi b. Zhibin Xin b. Porosity distribution and mechanical response of laser-MIG hybrid butt welded 6082-T6 aluminum alloy joint. Optics & Laser Technology. P. 132. SMAW Welding Processes. 2023. P. 21.

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ НА НАПРУЖЕНИЙ СТАН ВІДРІЗНИХ ТОКАРНИХ РІЗЦІВ

Поліський національний університет

Анотація. З метою запобігання поломкам твердосплавних відрізних різців з напаяними пластинами вивчався їх напружений стан при різних способах закріплення пластини. Використовувався метод фотопружності з моделями різців виготовленими з оптично-чутливих матеріалів. Визначалися головні та еквівалентні напруження. Встановлена оптимальна конструкція кріплення твердосплавної пластини.

Ключові слова: напруження, різець, фотопружність, закріплення

Серед інструментів, що використовуються при токарному обробі деталей особливе місце через умови в яких вони працюють займають відрізні та канавочні різці. Різання відбувається вузьким лезом в обмеженому просторі з несприятливими умовами відведення тепла і стружки. Через це на відміну від, наприклад прохідних різців, які виходять з ладу, як правило, внаслідок зношення, основною причиною відмови відрізних різців є поломка твердосплавної пластини. Передчасний і часом не прогнозований вихід з ладу призводить до втрат в продуктивності виробничого процесу.

Для встановлення причин поломок твердосплавних пластин різців проводять аналітичні і експериментальні дослідження. При аналітичних дослідженнях твердосплавну пластину приймають як тверде тіло, навантажене зосередженою силою [1], або використовують метод скінчених елементів [2]. При цьому вивчається напружено-деформований стан пластинки. Основною причиною виходу з ладу вважається виникнення великих розтягуючих напружень біля передньої поверхні пластини. Для експериментальних досліджень напружено-деформованого стану використовують голографічний метод [3], метод рентгенівської дифракції [4] та метод фотопружності.

В даній роботі методом фотопружності вивчався вплив способу закріплення твердосплавної пластинки на її напружений стан. Цей метод поєднує в собі неруйнівність, високу чутливість, а також здатність визначати залишкові напруження. З оптично чутливого матеріалу на основі епоксидної смоли ЕД-6 були виготовлені три моделі відрізних різців з різними способами закріплення твердосплавної пластини. На поляризаційно-проекційній установці ППУ-7, де моделі навантажувалися на спеціальному стенді силою, що імітувала силу різання, одержані картини ізохром та ізоклін (рис. 1).

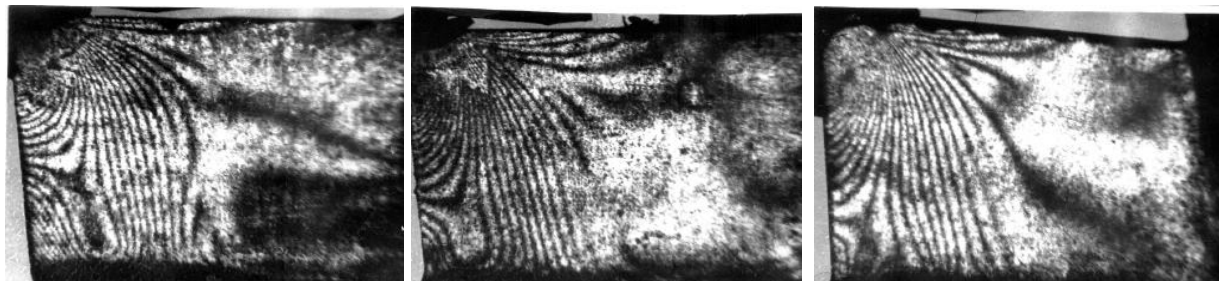


Рис. 1. Картини ізохром

Обчислювалися значення головних напружень σ_1 і σ_2 , а також за другою теорією міцності еквівалентного напруження $\sigma_{\text{екв}}$.

Графік розподілення $\sigma_{\text{екв}}$ (в полосах) вздовж передньої поверхні пластинок показаний на рис. 2а.

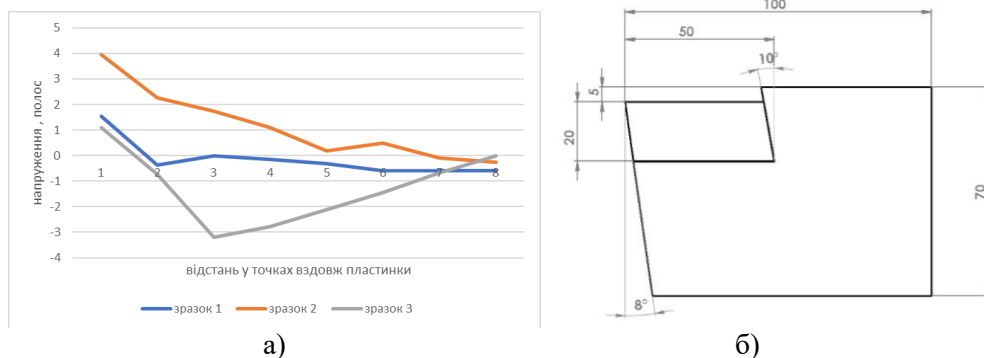


Рис. 2. Розподілення $\sigma_{\text{екв}}$ вздовж передньої поверхні а),

Виявилось, що найменшими напруження $\sigma_{\text{екв}}$ є при способі закріплення показаному на рис.2б.

Очевидно, що спосіб закріплення твердосплавної пластини впливає на її напружений стан при роботі і для запобігання поломкам пластини необхідно враховувати конструкцію і геометричні параметри відрізного різця.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Petrusenko L.A.; Antonyuk V.S. (2016) Calculation of stresses arising in the hazardous area of the blade part of the cutting tool. *Visnyk NTUU «KPI». Seriya mashynobuduvannia* №2 (77). С. 147-156. <http://doi.org/10.20535/2305-9001.2016.77.80969>
2. Kurt, A., Yalçın, B. & Yılmaz, N. (2015) The cutting tool stresses in finish turning of hardened steel with mixed ceramic tool. *Int J Adv Manuf Technol* 80, 315–325. doi.org/10.1007/s00170-015-6927-3
3. Ostasevicius V., Gaidys R., (2010) Rimkeviciene J., Dauksevicius R. An approach based on tool mode control for surface roughness. *Journal of Sound and Vibration* 329 4866–4879.
4. S Lubis*, S Darmawan, Rosehan, W Winata, M Zulkarnain (2020) Tool wear analysis of ceramic cutting tools in the turning of gray cast iron materials IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 857 012003 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/857/1/012003

Забродський Павло Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Поліський національний університет, Житомир, zabrpm@gmail.com

Медведський Олександр Васильович, кандидат технічних наук, доцент, Поліський національний університет, Житомир, aleksmedvedsky@gmail.com

Сироїд Євгеній Сергійович, асистент, Поліський національний університет, Житомир, syroides@ukr.net

Abstract. In order to prevent breakage of carbide cutting tools with brazed inserts, their stress state was studied with different methods of securing the insert. The photoelasticity method was used with models of cutters made of optically sensitive materials. The principal and equivalent stresses were determined. The optimal design of the carbide insert fastening was established.

Keywords: tension, cutter, photoelasticity, fixing

P.M. Zabrodskyi, PhD, Associate Professor, Polissia National University, zabrpm@gmail.com

O.V. Medvedskyi, PhD, Associate Professor, Polissia National University, aleksmedvedsky@gmail.com

Y.S. Syroid, Assistent Professor, Polissia National University, syroides@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСІВ САД У СТВОРЕННІ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ ДЛЯ АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РАМ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Анотація

Рама вантажного автомобіля є базовою його деталлю, яка сприймає всі навантаження. Для ефективного використання продуктів САД під час проектування рами необхідним є створення її адекватної розрахункової схеми, яка б урахувала різноманітність умов руху автомобіля з унікальним розташуванням сил та фізичним змістом джерел їх виникнення. Не врахування вказаних особливостей призводить до появи екстремальних і не правдоподібних розрахункових напружень у певних місцях моделі рами, які типово виникають в місцях різкого перепаду перерізів лонжеронів. Різкі зміни форми і напрямки деформації розрахункового зразка викликають сумніви щодо адекватності моделі, що аналізується. Щоб уникнути цього доцільно штучно накладати певні обмеження на напрямки можливих деформацій. Для цього треба враховувати особливості будови несучої конструкції автомобіля та імовірні ступені її свободи.

Ключові слова: вантажний автомобіль; рама; експлуатація; напружений стан; моделювання; аналіз.

Вступ

Рама – це базова деталь вантажного автомобіля, яка сприймає всі зовнішні та внутрішні навантаження. Невідповідність конструкції рами заданим умовам експлуатації може призвести до втрати автомобілем працездатності через виникнення різних пошкоджень. Режим руху автомобіля визначає наявність, розподіл і напрямки навантажень, що діють на його несучу систему. У загальному випадку навантаження на раму вантажного автомобіля викликаються під час розгону-гальмування, буксирування, переїзду перешкоди, повороту, розвантаження-навантаження, від агрегатів автомобіля та вантажу і є найчастіше несиметричними.

Сучасні САД-системи [1] надають можливість враховувати всі вказані навантаження під час дослідження напруженого стану рами. Актуальним наразі є розробка методології створення розрахункових схем навантажень рами вантажного автомобіля в цих системах, які б найбільше відповідали типовим умовам руху автомобіля з урахуванням особливостей будови рами та підвіски для моделювання та аналізу напружено-деформованого стану рами.

Матеріал і результати досліджень

У процесі моделювання напружень і деформацій конструкції в САД-системах є доступним два варіанти створення розрахункових схем: рама автомобіля розглядається як балка з певною кількістю опор або може бути класифікована, як статично не визначена система. Відповідно будується розрахункова схема (рис. 1).

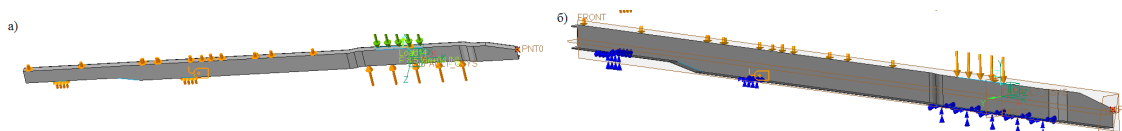


Рис. 1 – Розрахункові схеми лонжерона рами

Перший варіант є реалізацією класичної задачі опору матеріалу – за відомими навантаженнями визначають реакції опор рами [2]. Розрахункова схема лонжерона (рис. 1а) створена на основі припущення, що на лонжерон діє половина навантаження рами, наявність

поперечин не враховується, розглядаються виключно деформації у вертикальній площині.

Перспективнішим вбачається інший варіант, де не треба визначати реакції опор. У цьому випадку на місця, де знаходяться опори (місця кріплення кронштейнів підвіски), треба накласти граничні обмеження, які обмежують ступені свободи площадок, куди прикладені реакції опор. На (рис. 1,б) граничні обмеження показано дрібними стрілочками під лонжероном.

Результати розрахунків (рис. 2) за наведеними схемами за однакового навантаження на лонжерон рами вказують на помітну різницю в значеннях напружень і дуже різні значення деформацій. При цьому деформації лонжерону відрізняються ще й за напрямком.

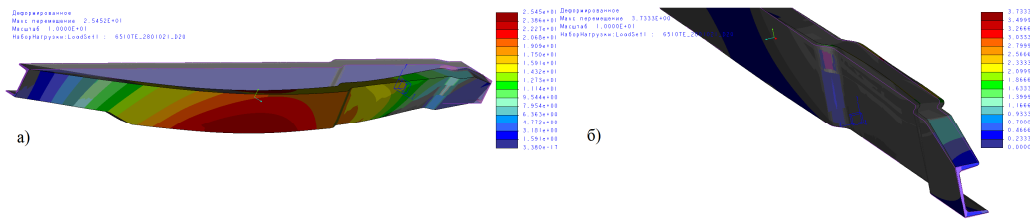


Рис. 2 – Деформації лонжерону рами

За використання першого варіанту розрахункової схеми з заданими реакціями опор отримано прогин лонжерону вниз і сильний його вигин у бік (рис. 2а), максимальне значення деформації склало 25,45 мм, а максимальне значення напружень за Мізесом – 355 МПа. Очевидно, що отриманий результат моделювання напруженого стану лонжерону не є адекватним, оскільки лонжерон рами реального автомобіля не може деформуватися вказаним чином. Сумнівним є і отримане значення деформації за статичного навантаження автомобіля. Отриманий результат моделювання є наслідком не адекватно створеної розрахункової схеми.

У випадку використання розрахункової схеми з граничними обмеженнями отримано значення деформації лонжерону 3,33 мм (рис. 2б), що ближче до реального стану. При цьому максимальне напруження за Мізесом дорівнює 505 МПа.

Видно, що значення отриманих максимальних напружень і деформацій лонжеронів рами вантажного автомобіля при використанні різних розрахункових схем помітно відрізняється.

Розрахункова схема з накладанням додаткових обмежень на бокові поверхні лонжерону, що виключають можливість його деформації (прогину) у бік, наведена на рис. 3а, а результат моделювання наведено на рис. 3б. За результатами моделювання видно, що лонжерон вигнуло й скрутило, максимальне напруження дорівнює 530 МПа, деформація дорівнює 139 мм.

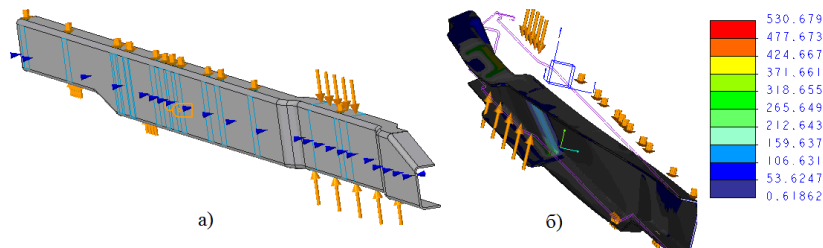


Рис. 3 – Розрахункова схема з накладанням додаткових обмежень та результати розрахунків

Розглянуті приклади демонструють значну залежність результатів моделювання від розрахункової схеми рами вантажного автомобіля, що є вагомою причиною для виконання верифікації моделювання напружено-деформованого стану рами.

Найкращим варіантом для цього є створення адекватної моделі реально існуючого об'єкта досліджень, для якого вже визначені експериментальні дані напружень і деформацій. Після отримання результатів моделювання, збіжних з експериментальними даними, використовувати дану розрахункову схему для об'єктів, що проектуються чи аналізуються.

Проте цей спосіб складно реалізувати у зв'язку з малодоступністю даних експериментів заводів-виробників. Тому певного часу використовувався спосіб верифікації за допомогою визначення напружень у лонжероні відповідного профілю на основі положень опору матеріалів

[3–5]. В [6] аналогічний спосіб верифікації було використано для модального аналізу.

Але такий спосіб має суттєвий недолік, який полягає в тому, що розрахунок на основі положень опору матеріалів має низку припущень. Не враховані за моделювання припущення суттєво впливають на результати застосування методу скінченних елементів, як видно з розглянутих вище прикладів.

Висновок

Доцільно оцінювати адекватність створюваної розрахункової схеми за рахунок оцінювання вигляду та значення деформації об'єкта досліджень (будь яким способом, у тому числі наближеним розрахунковим), з урахуванням результатів будови об'єкта досліджень щодо можливого вигляду деформацій. Створення розрахункової схеми для аналізу напруженого стану вимагає розуміння способів використання інструментів САД-систем і глибокого розуміння будови об'єкта дослідження та умов його роботи. Обов'язковим є аналіз імовірних ступенів свободи рами автомобіля з урахуванням способів з'єднань її складових.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Yelistratov, V. & Pavlenko, O. & Kharkov, O. & Chernenko, S. & Chernysh, A. & Puzyr, R. (2022). Peculiarities of the of Engineering Disciplines Teaching Process Organization Using Three-Dimensional Computer Modeling Methods. *IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, pp. 1-5.
2. Arimadla, S., & Kumar, P., & Jhansi, P., & Vivek, M., & Susheel, P. (2022). Design and static analysis of heavy vehicle chassis with different alloy materials at different optimum load conditions. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Vol. 09, Issue 03, pp. 1202-1209.
3. Palagiri, D., & Davidson, C., & Vemuluri, R. (2017). Static, dynamic and harmonic analysis of heavy vehicle chassis system. *International journal of research in mechanical engineering & technology*, Vol. 7, Issue 2, pp. 44-47.
4. Siraj, A., & Babu, R., & Reddy, S. (2019). Static analysis of dump truck chassis frame made of composite materials. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, Vol. 11, No. 2, pp. 21-32.
5. Singh, N., & Chauhan, H. (2017). Dynamic analysis & shape optimization of electric car chassis. *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, Vol. 4, No. 4, pp. 1-4.
6. Khannukar, K., & Kallannavar, V., & Manjunath, Dr. (2015). Dynamic analysis of automotive chassis using FEA. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Vol. 02 Issue 09, pp. 2164-2170.

Єлістратов Вячеслав Александрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, E-mail: yelisslava@gmail.com

Павленко Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, E-mail: alexander6170101@gmail.com

USE OF CAD COMPLEXES IN CREATING CALCULATION SCHEMES FOR ANALYSIS OF THE STRESS-DEFORMATION STATE OF TRUCK FRAMES

Abstract

The truck frame is its basic part that perceives all loads. For the effective use of CAD products during frame design, it is necessary to create an adequate calculation scheme that would take into account the variety of vehicle driving conditions with a unique arrangement of forces and the physical content of the sources of their occurrence. Failure to take into account these features leads to the appearance of extreme and implausible design stresses in certain places of the frame model, which typically occur in places of sharp differences in the cross-sections of the spars. Sharp changes in the shape and direction of deformation of the design sample raise doubts about the adequacy of the model being analyzed. To avoid this, it is advisable to artificially impose certain restrictions on the directions of possible deformations. For this, it is necessary to take into account the features of the structure of the supporting structure of the car and its probable degrees of freedom.

Key words: truck; load-bearing system; operation; stress state; modeling; analysis.

Yelistratov Viacheslav O. – PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of Automobiles and Tractors Department Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, E-mail: yelisslava@gmail.com

Pavlenko Olexandr V. – PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of Automobiles and Tractors Department Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, E-mail: alexander6170101@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУХОМОГО ДРОТУ ЗА ДОПОМОГОЮ АСИМПТОТИЧНОГО МЕТОДУ

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація

Метою цієї роботи є всебічне дослідження впливу факторів безперервної дії на характер змін амплітуди та частоти коливань в одновимірних нелінійних пружних системах, що характеризуються поздовжнім рухом. Для дроту, що рухається вздовж своєї осі, розглянуто взаємозалежність амплітуди та частоти коливань як у резонансному, так і в нерезонансному випадках.

Ключові слова: нелінійні коливання, рухомий дріт, асимптотичні методи, поздовжня швидкість, динамічний процес, перемотувальна машина.

Вступ

Метою роботи є комплексне дослідження впливу різної природи факторів неперервної дії на характер зміни амплітуди і частоти коливань одновимірних нелінійно-пружних систем, які характеризуються поздовжнім рухом. Для досягнення поставленої мети розв'язано такі завдання: отримано аналітичні та графічні залежності частоти коливання систем, які характеризуються поздовжньою швидкістю, від натягу, довжини, густини матеріалу, модуля пружності, початкової амплітуди та інших величин для нерезонансних та резонансних випадків; 2) встановлено вплив способу закріплення кінців рухомого дроту на АЧХ процесу; 3) проведено експериментальні дослідження та виміряно амплітуду та частоту коливання дроту, який рухається вздовж своєї осі на перемотувальному верстаті; 4) на основі отриманих результатів дослідження запропоновано технічні рекомендації для удосконалення роботи верстата та проведено порівняльну характеристику між режимами роботи такого обладнання.

Математична модель нелінійних коливань

Для опису поперечних коливань дроту за координатну вісь приймаємо прямолінійну вісь x . Від цієї осі будемо відраховувати відхилення елементів дроту при поперечних його коливаннях. При поперечних коливаннях відхилення визначаються однією функцією двох змінних $y = y(x, t)$, де x це координати на осі, а t – час. Поперечні коливання дроту при перемотуванні описуються повільно змінними у часі параметрами: поздовжня швидкість, момент інерції котушки, та натяг дроту. Динамічні процеси у такому нелінійно-пружному середовищі описується диференціальним рівнянням з повільно змінними коефіцієнтами

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \beta^2(\tau) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \varepsilon f_1\left(\tau, y, \frac{\partial y}{\partial t}, \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}, \psi\right), \text{ де } \beta^2(\tau) = \frac{P(\tau)}{\rho} - V^2(\tau); V(\tau) - \text{повільно змінна у}$$

часі поздовжня швидкість дроту; $P(\tau)$ – повільно змінна у часі сила натягу дроту; ε – малий додатний параметр; $\nu t = \psi$; ν – частота збурюючої сили; $\omega t = \theta$; ω – частота власних поперечних коливань дроту. За допомогою асимптотичних методів знайдено наближений розв'язок вказаного вище рівняння.

Отримані основні результати дослідження

Зростання поздовжньої швидкості призводить до зменшення частоти коливання і при значенні 3,3 м/с для таких умов відбувається збій у коливаннях. Коли дріт не переміщується, тобто $V=0$, то власна частота коливання дроту становитиме 19 Гц, а при зростанні поздовжньої

швидкості до 2,1 м/с, частота зменшується на 12,5%. Аналіз графічного представлення залежностей показує, що радіус веденого барабана не суттєво впливає на частоту поперечних коливань дроту, чого не скажеш про лінійну швидкість перемотування дроту: при її зростанні частота поперечних коливань спадає. За допомогою програмного середовища MAPLE отримано графічне представлення залежності амплітуди коливання дроту від швидкості для нерезонансного випадку. При зростанні поздовжньої швидкості, амплітуда зростає майже за лінійним законом. Зокрема, при $V=5$ м/с зростання амплітуди коливання становить 5% порівняно з дротом, що не характеризується повздовжнім рухом (вільні коливання нерухомого дроту) через 10 с. На основі використання асимптотичного методу побудовано графік зміни амплітуди у резонансному режимі для різних повздовжніх швидкостей дроту при силі тертя 10 Н та 15 Н. Вони майже ідентичні, що говорить про дуже малий вплив сили тертя між ведучим барабаном і віссю на амплітуду коливання. Максимальне значення амплітуди при швидкості дроту 3,2 м/с досягає 0,0115 м, при однорідних крайових умовах і 0,0106 м при лінійній швидкості дроту 1,3 м/с. Якщо врахувати силу в 5Н, яка діє на дріт від коливання ролика, то при повздовжній швидкості 3,2 м/с амплітуда коливання рівна 0,0108м (неоднорідні крайові умови). Амплітуда зменшиться на 6,7% у порівнянні з нерухомими роликами. Зменшення сили на роликах до 2 Н призводить до зменшення амплітуди коливання на 4%.

Висновки

Отримано математичні залежності, які дають змогу комплексно дослідити вплив параметрів рухомого середовища на характер зміни частоти і амплітуди та більш точно спрогнозувати динамічні явища у них. Для реальної фізичної моделі отримано аналітичні та графічні залежності частоти коливання систем, які характеризуються поздовжньою чи кутовою швидкостями, від натягу, довжини, густини, швидкості руху, початкової амплітуди, модуля пружності і інших величин для нерезонансних та резонансних випадків. Для дроту, який рухається вздовж своєї осі було розглянуто взаємозалежності амплітуди та частоти коливання у резонансному та нерезонансному випадках. Встановлено вплив вібрацій ролика на характер зміни АЧХ коливань процесів. Проаналізовано вплив способу закріплення кінців на АЧХ. За результатами аналізу ефективності устаткування для різних режимів перемотування знайдено оптимальне значення швидкостей. Це дозволило підвищити експлуатаційні характеристики устаткування на 13%. Розроблено практичні технічні рекомендації для удосконалення роботи верстата та зроблено порівняльну характеристику між режимами. Визначено, що при запровадженні нових вузлів верстата розриви дроту зменшуються приблизно на 13% при збільшенні швидкості намотування з 1,3 м/с до 3,2 м/с. Це дозволило покращити продуктивність такого обладнання у 2,5 рази. Виходячи з теоретичних результатів, в ході експериментального дослідження, запропоновано практичні рекомендації. Проведено натурний експеримент щодо удосконалення роботи верстата для перемотування дроту з кольорових та дорогоцінних матеріалів та зроблено порівняння з теоретично отриманими.

Пукач Петро Ярославович — доктор техн. наук, професор, директор Інституту прикладної математики та фундаментальних наук, Національний університет «Львівська політехніка»

Research of vibrational characteristics of a moving wire using the asymptotic method

Abstract

The aim of this work is a comprehensive study of the influence of continuous factors on the nature of changes in the amplitude and frequency of oscillations in one-dimensional nonlinear elastic systems characterized by longitudinal motion. For a wire moving along its axis, the interdependence of the amplitude and frequency of oscillations in both resonant and non-resonant cases is considered.

Keywords: frequency, dispersion relation, wave solution, asymptotic method.

Pukach Petro Ya. — Doctor of Tech. Sciences, Professor, Director of the Institute of Applied Mathematics and Fundamental Sciences, Lviv Polytechnic National University

ПРАКТИЧНІ СПОСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ МАСОВОЇ І АЕРОДИНАМІЧНОЇ (ГІДРОДИНАМІЧНОЇ) НЕЗРІВНОВАЖЕНОСТІ ЛОПАТЕВОГО ГВИНТА

Центральноукраїнський національний технічний університет

Анотація

Теоретично обґрунтовані нові практичні способи визначення масової і аеродинамічної (гідродинамічної) незрівноваженості лопатевого гвинта, що ґрунтуються на зміні щільності повітря, газу (рідини), використанні реверсу, ефекту землі.

Ключові слова: пропелер, балансування, безпілотний апарат, пілотований апарат, балансувальний прилад, ефект землі.

Вступ

Основним джерелом вібрацій в машинах з лопатевими гвинтами є масова і аеродинамічна (гідродинамічна) незрівноваженість гвинтів. Тому існує загальна проблема з балансування лопатевих гвинтів [1,2]. При одиничному чи дрібносерійному виготовленні лопатевих гвинтів аеродинамічне (гідродинамічне) балансування забезпечується правкою геометричної форми гвинта. Незрівноваженість мас балансується на балансувальному верстаті чи з використанням балансувального приладу [3]. З появою малих безпілотних і пілотованих апаратів виробництво лопатевих гвинтів стало масовим. В таких умовах традиційні методи незастосовні, бо трудомісткі. Для виготовлених гвинтів актуальною стає більш часткова проблема з виділення із динамічної незрівноваженості масової і аеродинамічної (гідродинамічної) складових [4–6]. Це потрібне для розробки подальших методів балансування лопатевих гвинтів, перевірки якості виготовлення і збалансованості гвинтів, відбракування тощо.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування практичних способів визначення масової і аеродинамічної (гідродинамічної) незрівноваженостей лопатевого гвинта.

Результати дослідження

Для окремого визначення масової і аеродинамічної (гідродинамічної) незрівноваженостей лопатевого гвинта запропоновано двічі визначати динамічну незрівноваженість гвинта. Перший раз – при нормальних умовах, а другий раз – при змінених, при яких змінюється тільки аеродинамічна (гідродинамічна) незрівноваженість гвинта за відомим законом. Запропоновані способи, що ґрунтуються на: зміні щільності повітря, газу чи рідини; використанні реверсного обертання гвинта; використанні ефекту землі (екрану, що встановлюється за чи перед гвинтом). Зокрема, для зміни щільності повітря чи газу, або рідини запропоновано: замінювати їх на інший газ чи рідину з іншою щільністю; змінювати температуру повітря (газу); змінювати тиск повітря (газу).

В теоретичному обґрунтуванні використовуються властивості аеродинамічної (гідродинамічної) незрівноваженості: прямо пропорційна залежність від щільності повітря, газу чи рідини; зміна напрямку на протилежний при реверсному обертанні лопатевого гвинта з тією ж швидкістю; збільшення величини при встановленні екрану перед гвинтом.

Запропоновані способи оцінюють аеродинамічну (гідродинамічну) незрівноваженість через еквівалентну масову незрівноваженість, заміряну балансувальним приладом на конкретному режимі роботи гвинта. Тип приладу, як і датчиків вібрацій немає значення. Динамічна незрівноваженість характеризується двома комплексними числами, які визначають напрям і величину незрівноваженості у першій і другій площині корекції [3].

Нехай при звичайній роботі лопатевого гвинта виміряна динамічна незрівноваженість:

$$U0_j = U0_j^{(m)} + U0_j^{(a)}, \quad / j = 1, 2 / . \quad (1)$$

Нехай динамічна незрівноваженість виміряна при змінених умовах:

$$U1_j = U0_j^{(m)} + U1_j^{(a)}, \quad / j = 1, 2 / . \quad (2)$$

В (1), (2) ліворуч стоять виміряні (відомі) величини, а праворуч – невідомі величини, причому індекс “*m*” має масова незрівноваженість, а індекс “*a*” – аеродинамічна (гідродинамічна).

Для підвищення точності визначення складових динамічної незрівноваженості гвинта рекомендується змінювати умови роботи гвинта так, щоб аеродинамічна (гідродинамічна) незрівноваженість змінилася не менше ніж на 30% [3].

Запропонована теоретична залежність між аеродинамічною (гідродинамічною) незрівноваженістю, виміряною в змінених і звичайних умовах роботи гвинта:

$$U1_j^{(a)} = k_p k_e k_\omega U0_j^{(a)}, \quad / j = 1, 2 / , \quad (3)$$

де: $k_p = \rho1 / \rho0$ – відношення щільності повітря, газу (рідини) при змінених умовах, до щільності при нормальних умовах роботи гвинта; $k_e = F1 / F0 > 1$ – відношення осьової аеродинамічної сили, заміряної при змінених умовах роботи до цієї сили, заміряної при нормальних умовах роботи гвинта, враховується тільки при встановленні екрану, інакше $k_e = 1$;

$$k_\omega = \text{sign}(\omega1 / \omega0), \quad (4)$$

де $\omega0$ – кутова швидкість обертання гвинта при нормальних, а $\omega1$ – змінених умовах.

Формула (3) визначає масовий еквівалент аеродинамічної (гідродинамічної) незрівноваженості при змінених умовах роботи гвинта. Вона одночасно враховує зміну аеродинамічної незрівноваженості від: зміни питомої ваги повітря, газу чи рідини; реверсу; ефекту землі. Формула (3) показує істотну відміну аеродинамічної (гідродинамічної) незрівноваженості від масової. Може використовуватися для моделювання руху машин і апаратів з лопатевими гвинтами.

З (1) – (3) знаходимо незрівноваженості, що відповідають нормальним умовам роботи гвинта:

$$U0_j^{(a)} = \frac{U1_j - U0_j}{k_p k_e k_\omega - 1}, \quad U0_j^{(m)} = U0_j - \frac{U1_j - U0_j}{k_p k_e k_\omega - 1}, \quad / j = 1, 2 / . \quad (5)$$

При змінених умовах масова незрівноваженість не зміниться, а аеродинамічна (гідродинамічна) незрівноваженість буде визначатися за формулою (3).

Теоретично встановлено, що найбільшу точність визначення масової і аеродинамічної (гідродинамічної) незрівноваженостей лопатевого гвинта потенційно забезпечують способи, засновані на заміні повітря, газу чи рідини на газ чи рідину з іншою щільністю. При цьому у випадку повітряного гвинта спосіб, заснований на зміні температури повітря чи газу важкий у реалізації через потребу у забезпеченні значної (більше 70 C) зміни температури.

Реверсне обертання лопатевого гвинта змінює напрями векторів аеродинамічної чи гідродинамічної незрівноваженостей на протилежний з деякою похибкою. Ця похибка менша для плоских, симетричних лопатей. Тому цей спосіб може давати додаткові похибки.

Спосіб, заснований на встановленні екрану перед чи за лопатевим гвинтом не тільки змінює величину, але дещо змінює і напрямок аеродинамічної (гідродинамічної) незрівноваженості. Це може вносити похибки у визначення цих незрівноваженостей.

Результати досліджень застосовні до лопатевих гвинтів, лопаті яких обтикаються ламінарним потоком повітря, газу чи рідини. У випадку гребного гвинта кавітація знижує точність способів.

Розроблені способи потребують як мінімум 6 запусків повітряного гвинта [3]: три пробних пуска для визначення динамічної незрівноваженості при нормальній роботі лопатевого гвинта; три пробних пуска для визначення динамічної незрівноваженості при змінених умовах роботи лопатевого гвинта. Така кількість пусків може бути надмірною. Проте швидкість обертання гвинта при другому визначенні динамічної незрівноваженості може відрізнятись від швидкості обертання гвинта при першому визначенні динамічної незрівноваженості. Це розширює області

застосування розроблених способів, бо не завжди можна обернути гвинт з однією сталою швидкістю у нормальних і змінених умовах.

В подальшому планується експериментально перевірити і порівняти запропоновані способи на спеціально створеному стенді [6].

Висновки

Для визначення масової і аеродинамічної (гідродинамічної) незрівноваженостей лопатевого гвинта достатньо визначити динамічну незрівноваженість гвинта балансувальним приладом два рази. Перший раз – при нормальних умовах роботи гвинта, а другий – при змінених, що змінюють за відомим законом аеродинамічну (гідродинамічно) незрівноваженість і не змінюють незрівноваженість мас. При цьому визначається масовий еквівалент аеродинамічної (гідродинамічної) незрівноваженості. Останній істотно змінюється із зміною умов роботи гвинта. Цим аеродинамічна (гідродинамічна) незрівноваженість відрізняється від незрівноваженості мас.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Best, S. (1945). Propeller Balancing Problems. SAE Transactions, 53, 648–659. <http://www.jstor.org/stable/44467824>
2. Majumder, P., Maity, S. (2022). A critical review of different works on marine propellers over the last three decades. Ships and Offshore Structures, 18(3), 391–413. <https://doi.org/10.1080/17445302.2022.2058767>
3. Li, L., Cao, S., Li, J., Nie, R., Hou L. (2021). Review of Rotor Balancing Methods. Machines, 9(5): 89. <https://doi.org/10.3390/machines9050089>
4. Olijnichenko, L., Filimonikhin, G., Nevdakh, A., Pirogov, V. (2018). Patterns in change and balancing of aerodynamic imbalance of the low-pressure axial fan impeller. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 3(7(93)), 71–81. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133105>
5. Filimonikhin, G., Filimonikhina, I., Bilyk, Y., Krivoblotsky, L., & Machok, Y. (2021). Theoretical study into the aerodynamic imbalance of a propeller blade and the correcting masses to balance it. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(7(112)), 60–66. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238289>
6. Г.Б. Філімоніхін, Ю.О. Білик, Л.С. Олійніченко. Стенд для дослідження звичайної і аеродинамічної незрівноваженостей повітряного гвинта. Тези доповідей. II Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту», Вінниця, 13-15 травня 2021 року: — 2021. С.57-59. <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2021/paper/view/13296>

Філімоніхін Геннадій Борисович — доктор. техн. наук, професор, зав. кафедри деталей машин та прикладної механіки, Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, e-mail: filimonikhin@ukr.net

Останчук Юлія Олександрівна — аспірантка кафедри деталей машин та прикладної механіки, Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, e-mail: juli.biluk97@gmail.com

Олійніченко Любов Сергіївна — канд. техн. наук, доцент кафедри деталей машин та прикладної механіки, Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, e-mail: loga_lubov@ukr.net

Practical Methods for Determining Mass and Aerodynamic (Hydrodynamic) Unbalance of a Propeller

Abstract

New practical methods for determining of the mass and aerodynamic (hydrodynamic) unbalance of a propeller, based on changing the density of air, gas (liquid), applying reverse, ground effect, are theoretically substantiated.

Keywords: propeller, balancing, unmanned vehicle, manned vehicle, balancing device, ground effect.

Filimonikhin Gennadiy B. — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Machine Parts and Applied Mechanics, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, email : filimonikhin@ukr.net

Ostapchuk Yuliya O. — graduate student of the Department of Machine Parts and Applied Mechanics, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, email : juli.biluk97@gmail.com

Olijnichenko Lubov S. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Department of Machine Parts and Applied Mechanics, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, email : loga_lubov@ukr.net

КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗБІРНИХ ПАНДУСІВ

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація

У роботі розглянуто принципи проектування розбірних пандусів для забезпечення інклюзивного доступу до будівель. Запропоновано конструктивні рішення з роз'ємними з'єднаннями, що спрощують монтаж, транспортування та повторне використання.

Ключові слова: пандус, інклюзивність, металоконструкція, модульність, механіка, інженерія

Вступ

В даний час широко зросла потреба в конструкціях та засобах, які б забезпечували інклюзивність – рівний доступ до різних будівель, споруд, закладів, приміщень, тощо, для всіх груп населення, в тому числі тих, хто має обмежені можливості в пересуванні. Найчастіше для цього застосовуються пандуси, оскільки це є одним з найпростіших варіантів.

Як правило, більшість існуючих пандусів виконано нерозбірними, а саме з'єднання основних конструктивних елементів здійснено їхнім зварюванням. Внаслідок цього суттєво зростають час та трудомісткість робіт зі встановлення пандусу. Через це, виконання пандусу здійснюється безпосередньо на місці його встановлення. У випадку реконструкції будівлі чи її капітального ремонту здійснюється демонтаж пандусу його порізкою, що досить часто унеможливує повторне використання пандусу без заміни пошкоджених елементів.

В основі побудови конструкцій пандусів закладається принцип його реалізації з роз'ємним з'єднанням основних конструктивних вузлів. Це суттєво спрощує та пришвидшує монтаж пандусу, спрощує доставку його до місця монтажу та дозволяє уніфікувати базові його конструктивні вузли для реалізації різних типів пандусів. Такий принцип успішно використовується деякими провідними компаніями, зокрема StageRight Corporation (USA) та PATHWAY® (USA).

Результати дослідження

Під час конструювання розбірних пандусів закладено наступні принципи:

- 1) мінімізація маси металоконструкцій та забезпечення високої жорсткості та стійкості;
- 2) реалізація типових рішень, що можуть бути використані під час створення різних типів і розмірів пандусів;
- 3) мінімізація зварювальних робіт, що можуть бути виконані попередньо поелементно у цеху, а монтажні роботи під час встановлення пандусів забезпечується відносно простим ручним та електроінструментом з використанням різьбових та заклепкових з'єднань;
- 4) виконання збірних конструкцій, що можуть бути демонтовані у випадку виконання ремонтних робіт та реконструкції будівель.

Проектування розбірних пандусів та вибір раціональних параметрів основних конструктивних елементів передбачає:

- запропонувати рішення типових елементів пандусів;
- складання розрахункових схем;
- визначення експлуатаційних та розрахункових навантажень;
- оцінка напружено-деформованого стану основних конструктивних елементів пандусу;
- розроблення конструктивних варіацій пандусів як для зовнішніх та внутрішніх приміщень з урахуванням специфіки рельєфу поверхні та наявності геометричних обмежень;
- автоматизація та параметризація проектних рішень.

Приклад реалізації такого пандусу наведено на рисунках нижче. Проектні роботи виконано авторським колективом на замовлення ТзОВ «УНІКАР-Авто» (м. Львів).

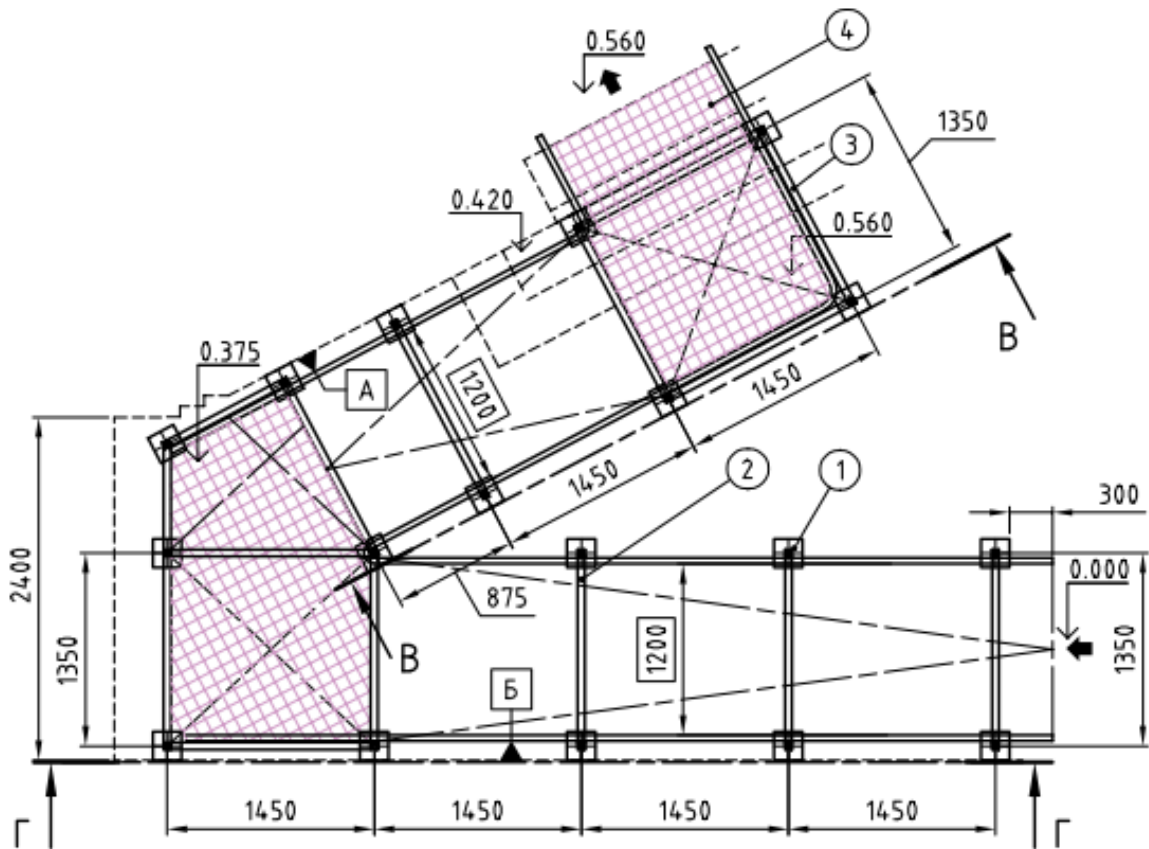


Рис. 1. Фрагмент креслення збірного (модульного) пандусу

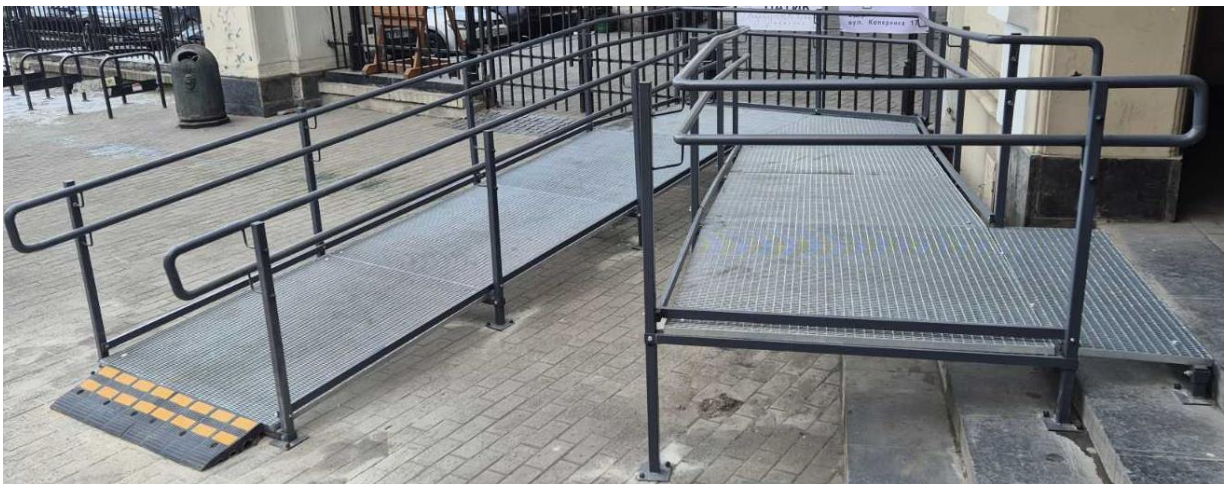


Рис. 2. Світлина виконаного пандусу (м. Львів, вул. Коперника 17)

Висновки

Покладаючись на визначені вище вимоги, приходимо до необхідності реалізації пандусів з новими технічними можливостями їх виконання. Переслідуючи принцип розбірності конструкції та зменшення трудоемкості операцій під час монтажу покладаємося на поелементне виконання з наступним їх різьбовим і заклепковим з'єднанням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.2-40:2018, Інклюзивність будівель і споруд. — Київ: Мінрегіон України, 2018. — 49 с.
2. PATHWAY 3G Modular Access System – Instructions. – Louisville, KY: EZ-ACCESS, 2018. – 44 с.

Кузьо Володимир Ігорович — аспірант 1-го року навчання кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: volodymyr.i.kuzo@lpnu.ua

Гурський Володимир Миколайович — д-р техн. наук, професор кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: vol.gursky@gmail.com.

Галай Арсеній Назарович — студент 3-го курсу, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: arsenii.halai.pp.2022@lpnu.ua.

Design and technological features of implementing modular ramps

Abstract

The paper presents design principles for assemblable ramps aimed at ensuring inclusive access to buildings. Proposed structural solutions with detachable connections simplify installation, transportation, and reuse.

Keywords: ramp, inclusivity, metal construction, modularity, mechanics, engineering.

Kuzo Volodymyr I. — PhD student at the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: volodymyr.i.kuzo@lpnu.ua.

Gurskyi Volodymyr M. — Dr. of Engineering, Professor of the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: vol.gursky@gmail.com.

Galay Arseniy N. — 3rd year student, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: arsenii.halai.pp.2022@lpnu.ua.

А.В. Ткачов
О.А. Ткачов
С.В. Мироненко

ВПЛИВ РАДІУСУ КРИВИЗНИ КРАНОВОГО МОСТУ НА ЙОГО ДЕФОРМОВАНУ ПОВЕДІНКУ

Національний університет «Одеська політехніка»

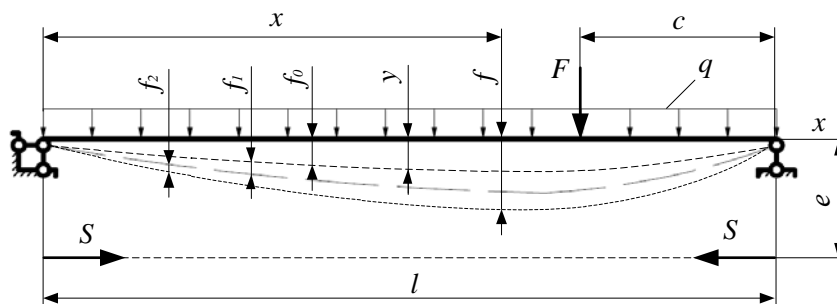
Анотація Тема роботи пов'язана з можливістю дослідити вплив кривизни попередньо напруженого кранового моста на його несучу здатність. Для позитивного розгляду цієї задачі виникає необхідність отримання точного рівняння кривої прогинів кранового мосту. Таке завдання вимагає розробки нової математичної моделі, а також розвитку та уточнення вже існуючих математичних моделей преформованих балкових систем. Що і є метою цієї роботи.

Ключові слова: попереднє напруження, початкова кривизна, несуча здатність, крановий міст, статична жорсткість, динамічна жорсткість, деформаційний стан.

Прогонові балки, постійно перебувають у напруженому стані, яке знімається за відсутності тимчасової навантаження, а момент, розвантажує пролітне будова, залежить від її величини. Із за цих навантажень, балка вже має початкову кривизну. У деяких випадках ця кривизна не істотно впливає на її вигин і не враховується. У той же час виникають ситуації, при яких початкова кривизна балки може надати істотне значення на здатність пролітної будови, що несе.

При навантаженні балки, в робочому стані, вона відчуватиме спільну дію ексцентрично – поздовжньої сили та S поперечних сил від тимчасового навантаження F та власної ваги Q . При цьому від цих сил вісь балки отримує додаткові прогини f_1 і f_2 відповідно. Ординати кривої прогинів можуть бути отримані за допомогою накладення прогинів від кожної окремої поперечної сили, що діє спільно з поздовжньою силою S .

Після визначення постійних інтегрування та не складних перетворень, рівняння ординат кривої прогинів балки, в остаточному вигляді.



Для ділянки $0 \leq x \leq (l-c)$

$$f = \frac{(\pm y) \pi^2 \sin(\pi x / l)}{\pi^2 - k^2 l^2} + (\cos kx + \sin kx \operatorname{tg}(kl/2) - 1) \left(\frac{q}{k^2 S} - e \right) - \frac{qx}{2S} (l-x) + \frac{F}{S} \left(\frac{\sin kc \sin x}{k \sin kl} - \frac{cx}{l} \right),$$

Для ділянки $x \geq (l-c)$

$$f = \frac{(\pm y) \pi^2 \sin(\pi x / l)}{\pi^2 - k^2 l^2} + (\cos kx + \sin kx \operatorname{tg}(kl/2) - 1) \left(\frac{q}{k^2 S} - e \right) - \frac{qx}{2S} (l-x) + \frac{F}{S} \left(\frac{\sin k(l-c) \sin(l-x)}{k \sin kl} - \frac{(l-c)(l-x)}{l} \right).$$

Отримані в роботі результати можуть бути прийняті до уваги при визначенні геометричних характеристик перерізів балки, а також для вдосконалення методів розрахунку проектування пролітних балкових систем на стадіях їх проектування, а також в умовах реальної експлуатації і при ремонті кранових мостів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Almeida, M., Sander, A., Clemente de Souza, Augusto Teixeira de Albuquerque, Alexandre Rossi, A.: Parametric analysis of steel-concrete composite beams prestressed with external tendons. Journal of Constructional Steel Research. 189 (2021), DOI:10.1016/j.jcsr.2021.107087.
2. Marcela Moreira da Rocha Almeid, Alex Sander Clemente de Souza, Augusto Teixeira de Albuquerque, Alexandre Rossi.: Parametric analysis of steel-concrete composite beams prestressed with external tendons. Journal of Constructional Steel Research. 189, (2022).
3. Prokopovych, I. Tkachev, A. Tkachev, O. The effect of variable cross-section of prestressed beams on the load-bearing capacity of the structure. Proceedings of Odessa Polytechnic University: Scientific, science and technology collected articles. 2(66), 16-23 (2022).
4. Kohno, V.: Prestressing of reinforcement. Methods for creating prestress in reinforced concrete structures. Appl. Sci. 3(398), 18-21.(2022).
5. Obernikhin D., Nikulin A.: Experimental studies of deflections in bending reinforced concrete elements taking into account the influence of the shape of their cross-section. 151, 56-62 (2021).
6. Losanno, D., Simone Galano S., Parisi, F.: Influence of strand rupture on flexural behavior of reduced-scale prestressed concrete bridge girders with different prestressing levels. Engineering Structures. IF 5.5 (2023). DOI: 10.1016/j.engstruct.2023.117358.
17. Pablo M. Paez, Beradi Sensale-Cozzano.: Time-dependent analysis of simply supported and continuous unbounded prestressed concrete beams. Engineering Structures. Vol. 240,(2021). DOI:10.1016/j.engstruct.2021.112376.
8. Tkachev, A., Tkachev, O., Fomin, O., Bondar, O., Naidenko, E.: Influence of Horizontal Inertial Loads on the Operation of Overhead Crane Girders. Advances in Design, Simulation and Manufacturing V Proceedings of the 5th International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSVIE-2022, June 7-10, Poznan, Poland – Volume 2: Mechanical and Chemical Engineering, Odessa, Ukraine, p. 47-54 (2022)

Ткачов Анатолій Вікторович, к.т.н., Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса,
tavtkach@ukr.net

Ткачов Олексій Анатолійович, к.т.н., Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса,
tavtkach@ukr.net

Мироненко Сергій Володимирович, к.т.н., Національний університет «Одеська політехніка», м.
Одеса, mirserg@ukr.net

INFLUENCE OF THE CRANE BRIDGE CURVATURE RADIUS ON ITS DEFORMED BEHAVIOR

Abstract The topic of the work is related to the possibility of investigating the influence of the curvature of a pre-stressed crane bridge on its load-bearing capacity. For a positive resolution of this issue, it is necessary to obtain an accurate equation of the deflection curve of the crane bridge. This task requires the development of a new mathematical model, as well as the refinement and further development of existing mathematical models for pre-formed beam systems. This is the objective of this work.

Keywords: pre-stressing, initial curvature, load-bearing capacity, crane bridge, static stiffness, dynamic stiffness, deformation state.

Anatoliy Tkachev, Phd, National University «Odesa Polytechnic», Odesa tavtkach@ukr.net
Aleksey Tkachev, Phd, National University «Odesa Polytechnic», Odesa tavtkach@ukr.net
Sergii Myronenko, Phd, National University «Odesa Polytechnic», Odesa mirserg@ukr.net

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ УЩІЛЬНЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Виконано теоретичний аналіз схем механізмів ущільнення. В якості досліджуваних механізмів було обрано трамбувальний брус і нагнітальний механізм. Аналіз механізмів проводився з метою пошуку більш раціональної схеми, що забезпечує: зниження навантажень у відповідальних вузлах механізму, зниження необхідної потужності та покращення якості одержуваних виробів.

Ключові слова: кутове прискорення, лінійне прискорення, момент, потужність, ущільнювальний механізм.

Основними механізмами ущільнення є: трамбувальний брус, занурювальні і поверхневі вібратори, механізми зонного нагнітання, при цьому для досягнення гарної якості виробів встановлюються послідовно кілька видів механізмів, що ускладнює конструкції машин, збільшує їх габарити і масу [1].

Одним з механізмів ущільнення є трамбувальний брус, що відноситься до механізмів ударного впливу. Трамбувальний брус призначений для попереднього ущільнення матеріалу та його профілювання за допомогою нижньої кромки [2, 3]. На рис. 1, а показана розрахункова схема трамбувального бруса. Ефект утворення локальної щільної текучої зони корельовано рухомих частинок реалізується штучно спеціальними пристроями - нагнітачами, принципова схема яких показана на рис. 1, б, шляхом вдавлювання в обмежену зону сипучого порошкоподібного матеріалу [4, 5]. При кожному ході нагнітача вгору під нього надходить порошок по всій ширині виробу, при цьому нагнітач втискає консистенцію у форму до її верхньої поверхні. Кожна наступна порція матеріалу у формі створює шар, який тисне на шар, що утворився раніше, змушуючи його у свою чергу впливати на попередній. Ущільнені шари вимушено рухаються один за одним зверху вниз, витісняючи менш щільні шари.

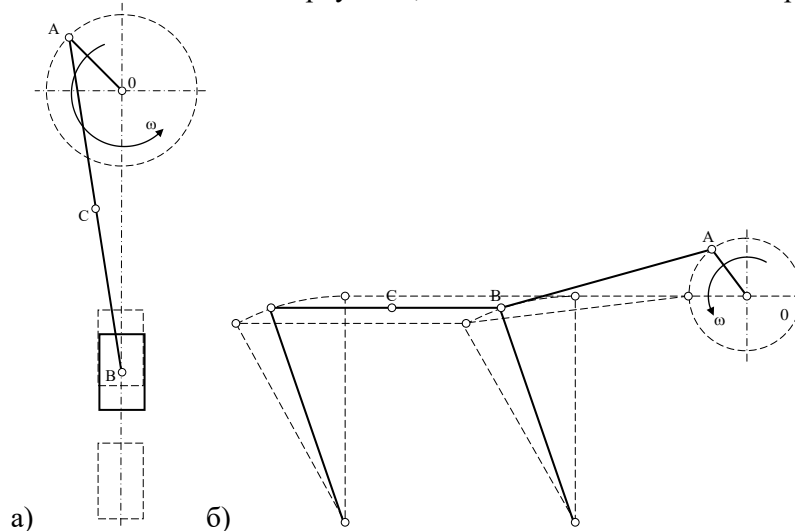


Рис. 1. Розрахункова схема трамбувального бруса (а) і нагнітального механізму ущільнення (б)

В результаті проведеного кінематичного та динамічного аналізу механізмів ущільнення впливає, що при роботі в механізмах виникають великі лінійні та кутові прискорення. Отже, у ланках механізму виникають, крім робочих навантажень ще й інерційні, що збільшує споживану механізмом потужність (рис. 2).

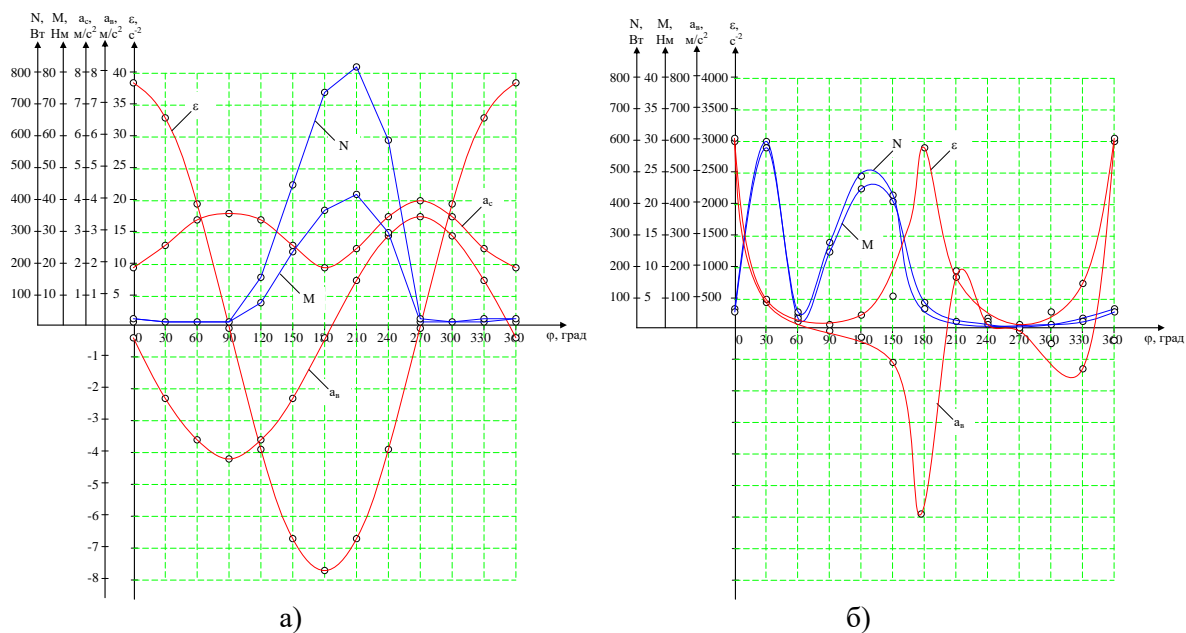


Рис. 2. Залежності отримані в результаті кінематичного і динамічного розрахунків трамбувального механізму (а) і нагнітального механізму (б)

Проведений теоретичний аналіз механізмів ущільнення свідчить про певні недоліки існуючих механізмів. Тому пропонується впровадження ударно-вібраційного механізму із ступеневим збільшенням рушійної сили, що дозволить підвищити ефективність машини для ущільнення. Робота такого ударно-вібраційного механізму дозволить отримувати великі зусилля стиснення ущільнювального матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Linemann, Roman, Runge, Jürgen, Sommerfeld, Martin, Weißgüttel, Udo. Compaction of Powders due to Vibrations and Shocks. *Particle & Particle Systems Characterization*, 2004, 21, p. 261 – 267.
2. Zaizhan An, Tianyun Liu, Qinglong Zhang, Zhaosheng Zhang, Zehua Huangfu, Qingbin Li, Vibration compaction process model for rockfill materials considering viscoelastic-plastic deformation. *Automation in Construction*, 2021, Volume 131, 103889.
3. A. Mitsyk, V. Fedorovich, A. Grabchenko. The effect of a shock wave in an oscillating working medium during vibration finishing-grinding processing. *Cutting & Tools in Technological System*, 2020, Edition 93, p. 43-55.
4. B. Li, N. Xu, F. Dai, G. Gu, and W. Ke. Microseismic monitoring and stability analysis for the large-scale underground caverns at the Wudongde hydropower station, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2020, vol. 79, no. 7, p. 3559–3573.
5. Sivak, R., Kulykivskiy, V., Savchenko, V., Minenko, S., & Borovskiy V. Determination of porosity functions in the pressure treatment of iron-based powder materials in agricultural engineering. *Scientific Horizons*, 2023, 26(3), p. 124-134.

**Сивак Роман Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, sivak_r_i@ukr.net.
Наляжний Володимир Сергійович, аспірант, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, vova.naliazhnyi@gmail.com.**

THEORETICAL ANALYSIS OF COMPOUNDING MECHANISMS

Abstract

A theoretical analysis of the schemes of compaction mechanisms was performed. The ramming beam and the injection mechanism were selected as the studied mechanisms. The analysis of the mechanisms was carried out in order to find a more rational scheme that ensures: reducing the loads in the responsible nodes of the mechanism, reducing the required power and improving the quality of the products obtained.

Key words: angular acceleration, linear acceleration, torque, power, sealing mechanism.

Roman Sivak, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, sivak_r_i@ukr.net.

Nalyazhy Volodymyr, postgraduate student, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, vova.naliazhnyi@gmail.com.

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ УЩІЛЬНЕННЯ

Анотація

Виконано теоретичний аналіз схем механізмів ущільнення. В якості досліджуваних механізмів було обрано трамбувальний брус і нагнітальний механізм. Аналіз механізмів проводився з метою пошуку більш раціональної схеми, що забезпечує: зниження навантажень у відповідальних вузлах механізму, зниження необхідної потужності та покращення якості одержуваних виробів.

Ключові слова: кутове прискорення, лінійне прискорення, момент, потужність, ущільнювальний механізм.

Сивак Роман Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, sivak_r_i@ukr.net.

Наляжний Володимир Сергійович, аспірант, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, yova.naliazhnyi@gmail.com.

ІМПУЛЬСНЕ ТА УДАРНЕ НАВАНТАЖЕННЯ В МЕХАНІЦІ РУЙНУВАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА МАТЕРІАЛІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі представлено обґрунтування розділення визначень ударне та імпульсне навантаження.

Ключові слова: імпульс, удар, навантаження, динаміка, міцність.

Практика експлуатації виробів машинобудування, які за службовим призначенням повинні забезпечувати безвідмовний режим роботи, свідчить про недосконалість існуючих методик та засобів проектування. Проблематика забезпечення безвідмовної роботи виробів безпосередньо залежить від фактичної неможливості врахування всіх чинників, що призводять до аварійної ситуації, зокрема руйнування елементів конструкції під час дії імпульсних силових навантажень.

Закономірності динамічного руйнування характеризуються певними особливостями, які унеможливають застосування закономірностей та методик розрахунку, що використовуються, зокрема, під час розрахунків статичної міцності. Відокремлення динамічної механіки руйнування в самостійний напрям механіки тріщин обумовлено такими основними факторами [1 – 3]:

– Залежність механічних властивостей від швидкості навантаження і відображення хвиль напружень від тріщин та меж тіла;

– Наявність інерційних ефектів.

Вказані фактори мають значний вплив на напружено-деформований стан на вершині тріщини, а тому і відповідно на кінетику, яка залежить від квазістатичного та динамічного навантаження.

Дослідження свідчать, що в основі моделей, які застосовуються під час аналізу миттєвого руйнування конструкцій та матеріалів, лежать нові підходи, що відображають структурно-часові особливості процесу.

Результати досліджень механіки руйнування [4 – 6] свідчать, що частково проблеми розрахунку імпульсного навантаження вирішує теорія відкольного руйнування металів під час дії короткотермінових розтягуючих напружень. Проте завершеної теорії на тепер не існує, адже результати експериментальних досліджень демонструють складний характер відкольного руйнування [5]. Аналіз та узагальнення експериментальних фактів [4 – 6] спільно з теоретичним представленням механізму руйнування дозволив виявити особливості цього фізичного явища, зокрема на мікрорівні. Так експериментальними дослідженнями доведено, що міцність металів на динамічний відрив залежить від форми і довжини імпульсу розтягуючих напружень, та від напружено-деформованого стану середовища і фізичних параметрів (температури, вихідної мікроструктури тощо) [1 – 6]. Тому дослідження імпульсного навантаження на матеріали та конструкції під час їх експлуатації та оброблення є актуальною науковою проблемою.

На нашу думку, дослідження міцності і надійності конструкцій під дією ударних та імпульсних навантажень вимагає чіткого розділення цих термінів, адже, фізичний вплив та характер їх дії є різним. Ударні та віброударні навантаження достатньо добре досліджено в теорії коливальних та широко використовується в машинобудуванні, металургії, будівництві та інших сферах життєдіяльності людей [7 – 9]. Нами пропонується розгляд ударних навантажень як взаємодію тіл з багаточастотним навантаженням на інший об'єкт чи процес, а імпульсне навантаження – як дію одночастотної миттєво діючої сили на об'єкт чи процес. Такі визначення відповідає сутності імпульсним технологіям [10 – 12] в яких дія енергоносія або передавального середовища на оброблювальний матеріал здійснюється зі швидкістю, яка залежить від фізичних констант середовища в період коротко термінованого проміжку часу (в два і більше раз коротшу періоду

найбільш повільних вільних коливань системи). Науковцями «Гідроімпульсної школи» Вінницького національного технічного університету, доведено багаточастотний характер ударного навантаження та його вплив на інтенсифікацію технологічних процесів.

Таке розділення термінів дозволить дослідити ударне, імпульсне, віброударне навантаження на матеріали і конструкції з частотно-енергетичної теорії, яка потребує подальшого розвитку. Також можна відзначити, що удару, як фізичному явищу, притаманна потенціальна та кінетична енергія, а імпульсу лише кінетична енергія, яка визначає обсяг енергії, що передається внаслідок взаємодії:

$$E_k = \frac{p^2}{2m},$$

де E_k – кінетична енергія, p – імпульс, m – маса.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Механіка руйнування та міцність матеріалів: довідниковий посібник / за заг. ред. В.В. Панасюка. – Львів: СПОЛОМ, 2012.
2. Anderson T.L. Fracture mechanics: fundamentals and applications. – Boca raton: CRC press. – 1991.
3. Партон В.З. Механіка руйнування: від теорії до практики. – М. наука, 1990. – 240с.
4. Експериментальне вивчення руйнування матеріалів після удару-хвильового навантаження / Жук Я.О., Мельниченко М.М., Андрущенко В.О., Кір'єв А.М., Пучко Н.П., Водотовка М.А. // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка Серія фізико-математичні науки, – (2) 2023. <https://doi.org/10.17721/1812-5409.2023/2.15>
5. Н. Homma, D.A. Shockey, Y. Murayama, Response of cracks in structural materials to short pulse loads, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Volume 31, Issue 3, 1983, Pages 261-279, ISSN 0022-5096
6. YongGang Wang, MeiLan Qi, HongLiang He, LiLi Wang, Spall failure of aluminum materials with different microstructures, Mechanics of Materials, Volume 69, Issue 1, 2014, Pages 270-279, ISSN 0167-6636, <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2013.11.005>.
7. Обертюх Р. Р. Пристрої для віброточіння на базі гідроімпульсного привода: монографія / Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 164 с.
8. Іскович-Лотоцький Р. Д. Генератори імпульсів тиску для керування гідроімпульсними приводами вібраційних та віброударних технологічних машин : монографія / Іскович-Лотоцький Р. Д., Обертюх Р. Р., Архипчук М. Р. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця 2008. – 171 с.
9. Іскович-Лотоцький Р.Д. Основи теорії розрахунку та розробки процесів і обладнання для віброударного пресування. Монографія, // Вінниця. – УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 338 с.
10. Vorobiov, Y., Ovcharova, N. (2018). 3.2. Problems of high-rate deformation of elements of modern technology under the influence of impact and impulse loads. Quality and Reliability of Technical Systems: Theory and Practice, 2, 119-132.
11. Ковальсько-штампувальне обладнання / Банкетов А.Н., Бочаров Ю.А., Добринський Н.С., Машинобудування, 1982. – 576с.
12. Брагін А.П. Гідродинамічне штампування на прес-гарматах як один із напрямів імпульсної обробки матеріалів тиском // Авіаційно-космічна техніка і технологія. - 2007. - № 11/47.

Слабкий Андрій Валентинович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: Slabkiyandrey@gmail.com

Поліщук Леонід Клавдійович — доктор технічних наук, проф., завідувач кафедри Галузеве машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com

IMPULSE AND IMPACT LOADING IN FRACTURE MECHANICS OF ENGINEERING STRUCTURES AND MATERIALS

Abstract

The paper presents the rationale for separating the definitions of impact and impulse load. **Keywords:** shock absorber, research, reliability, equipment.

Keywords: impulse, impact, load, dynamics, strength.

Slabkyi Andrii V. – Ph.D., assistant professor of mechanical engineering industry, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: Slabkiyandrey@gmail.com

Polishchuk Leonid K. — Doctor of Engineering Sciences, Head of Department of «Industrial Engineering», Vinnytsia National Technical University, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com,

ЗАДАЧА ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНИХ ВИСОТИ Й ДАЛЬНОСТІ ПОЛЬОТУ ДИМОВОЇ ГРАНАТИ

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

Анотація

Запропонована методика розв'язування задачі визначення дальності польоту димової гранати безпілотної роботизованої платформи. Математична модель задачі складається з двох лінійних диференціальних рівнянь другого порядку зі змінними коефіцієнтами стосовно переміщень і відповідних початкових умов (враховується лінійна залежність сили опору середовища від швидкості руху гранати). Шляхом розділення змінних у рівняннях, їх інтегрування та задоволення початкових умов одержані аналітичні залежності для максимальних дальності та висоти польоту гранати.

Ключові слова: диференціальні рівняння, метод розділення змінних, дальність польоту гранати.

Застосування безпілотної авіації та високоточної зброї в ході російсько-української війни зумовлює потребу в конструюванні та створенні мобільних і недорогих засобів дистанційної постановки димових завіс. Військові підрозділи, які обладнані засобами дистанційного управління димопуском, демонструють вищу живучість, що зменшує їхню вразливість в умовах активного ведення бойових дій [1, с. 20]. Такими засобами можуть стати наземні роботизовані комплекси [2], для яких необхідно визначати максимальну дальність встановлення димових завіс залежно від значень їх тактико-технічних характеристик.

Рух димової гранати у випадку дії лінійно залежної від швидкості руху тіла сили опору середовища описується системою двох диференціальних рівнянь, які в проєкціях по координатних осях Ox і Oy мають вигляд (1), де m і k – маса гранати і коефіцієнт опору середовища відповідно та початкові умови для координат і швидкостей:

$$m \frac{dv_x}{dt} = -kv_x, \quad m \frac{dv_y}{dt} = -mg - kv_y, \quad (1)$$

за $t = 0$, $\vec{r}_0 = (0; 0)$ та $\vec{v}_0 = (v_0 \cos \alpha, v_0 \sin \alpha)$.

Рівняння (1) є, згідно [3], диференціальними рівняннями другого порядку зі змінними коефіцієнтами. Розділяючи змінні, розв'яжемо перше рівняння (1):

$$\frac{dv_x}{v_x} = -\frac{k}{m} dt \rightarrow \ln v_x = -\frac{k}{m} t + C \rightarrow v_x = C_1 e^{-\frac{kt}{m}} \rightarrow \frac{dx}{dt} = C_1 e^{-\frac{kt}{m}},$$

звідки $x(t) = -\frac{m}{k} e^{-\frac{kt}{m}} + C_2$. Після задоволення початкових умов, отримаємо закон руху гранати в напрямку осі Ox :

$$x(t) = \frac{m}{k} v_0 (1 - e^{-\frac{kt}{m}}) \cos \alpha \quad (2)$$

Подібним чином були одержані закон руху гранати по осі Oy і її вертикальна швидкість:

$$y(t) = \frac{m}{k} v_0 \sin \alpha \left(1 - e^{-\frac{kt}{m}} \right) - \frac{m}{k} g t \quad (3)$$

$$v_y(t) = v_0 \sin \alpha e^{-\frac{kt}{m}} - \frac{m}{k} g \quad (4)$$

Час t_1 , за який граната досягає максимальної висоти H , визначали з (4) за умови, що вертикальна швидкість рівна нулю:

$$t_1 = \frac{m}{k} \ln \left(\frac{kv_0 \sin \alpha}{mg} \right) \quad (5)$$

Час t_2 , протягом якого граната рівноприскорено рухається вниз до $y=0$, знаходили як додатній корінь рівняння:

$$at^2 + bt + c = 0, \quad (6)$$

де $a=g/2$, $b=v_0 \sin \alpha$, $c=-H = -\frac{m}{k} v_0 \sin \alpha \left(1 - e^{-\frac{kt_1}{m}}\right) + \frac{m}{k} g t_1$.

Максимальну дальність польоту гранати визначали як суму $x(t) = x(t_1) + x(t_2)$.

Використовуючи одержані розв'язки, для заданих коефіцієнтів опору повітряного середовища і тактико-технічних характеристик гранат були обчислені максимальні висоти та дальності польоту димової гранати ЗД6 і шведської димової гранати SMOKE 469 С, які показали задовільну кореляцію з експериментальними даними.

Встановлено, що опір повітря чинить істотний вплив на дальність польоту димової гранати: вона летить коротший час, досягає меншої висоти, траєкторія руху несиметрична, а кут падіння більший, порівняно з кутом пострілу.

Тому при проектуванні та виготовленні мобільних наземних комплексів для дистанційної постановки димових завіс потрібно враховувати одержані закономірності, визначати максимальну дальність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Брянкін С.С. Аналіз використання аерозольних (димових) засобів у сучасних бойових діях / Брянкін С.С., Озеран Г.П., Скиба О.В., Доманов І.О., Рибачок Д.В., Лук'янець О.В., Брянкін О.С. *Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ*. 2024. Вип. 4(22). С. 14-22.

2. Бровченко В. Роботизована платформа для запуску димових гранат «Туча»: нова розробка українських інженерів. 2024.06.14. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://wheel-news.com/42468-robotyzovana-platforma-dlia-zapusku-dymovykh-hranat-tucha-nova-rozrobka-ukrainskykh-inzheneriv#google_vignette. Дата звернення 2025.04.17.

3. Кагадій Т.С. Диференціальні рівняння: теорія, приклади, розв'язання: навчальний посібник / Кагадій Т.С., Сушко Л.Ф., Щербина І.В., Онопрієнко О.Д., Шпорта А.Г. Дніпро: ДДАЕУ, 2022. 190с.

Романчук Ярослав Петрович, кандидат фізико-математичних наук, ст.н.с., старший викладач кафедри інженерної механіки Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, romanchuky@ukr.net.

Баранов Андрій Вікторович, заступник начальника факультету Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, romanchuky@ukr.net.

THE PROBLEM OF DETERMINING THE MAXIMUM HEIGHT AND RANGE OF A SMOKE GRENADE

Abstract.

A methodology for solving the problem of determining the flight range of a smoke grenade of an unmanned robotic platform is proposed. The mathematical model of the problem consists of two second-order linear differential equations with variable coefficients with respect to displacements and the corresponding initial conditions (the linear dependence of the medium resistance force on the grenade velocity is taken into account). By separating the variables in the equations, integrating them, and satisfying the initial conditions, the analytical dependences for the maximum range and height of the grenade flight were received.

Keywords: differential equations, method of separation of variables, grenade flight range.

Yaroslav Romanchuk, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Senior Lecturer, Department of Engineering Mechanics, Hetman Petro Sahaidachny National Army Academy, L'viv, romanchuky@ukr.net.

Andriy Baranov, Deputy Head of Faculty, Hetman Petro Sahaidachny National Army Academy, L'viv, romanchuky@ukr.net.

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РОБОЧИХ КУТІВ ІНСТРУМЕНТА НА ЗУБОНАРИЗАННЯ МЕТОДОМ POWER SKIVING

Національний університет "Львівська політехніка";

Анотація

Проаналізовано конструкції нових інструментів для нарізання зубчастих коліс, які дозволяють пришвидшити процес обробки. Встановлено, що робочі кути на лезах скайвера значно впливають на процес обробки, збільшуючи інтенсивність зсуву при різанні і тертя на передній і задніх поверхнях зубців інструмента.

Ключові слова: зубчасте колесо, Power Skiving, зубонарізання, кінематичні кути.

Вступ

На сьогодні Power Skiving - один з найефективніших сучасних методів виготовлення прямозубих чи косозубих евольвентних коліс. Він є гнучкішим, ніж протягування, і швидшим, ніж зубодовбання. Зуботочіння застосовується як для обробки коліс із зовнішнім зубчастим вінцем, так і внутрішнім. Продуктивність і точність цього метода є вищі ніж при зубофрезеруванні та зубодовбання, а можливість нарізати різномодульні зубчастих колеса збільшує його універсальність у застосуванні. Враховуючи особливості складної кінематики цього процесу, проектування інструментів для Power Skiving є важким, відповідальним і трудомістким етапом [1,2]. Він потребує детального дослідження ще на стадії проектування нових конструкцій скайверів, які дозволяють підвищити продуктивність процесу зубонарізання. Вирішення типових проблем, які виникають під час нарізання зубців на колесі можна розділити на такі основні типи, а саме: 1) встановлення оптимальних режимів різання для відповідного колеса; 2) встановлення необхідних кінематичних та інструментальних кутів різання; 3) визначення раціональних розмірів скайвера; 4) вибір необхідного матеріалу зуба інструмента або його покриття для досягнення необхідної довговічності.

Відповідно, в даному дослідженні основною метою є аналіз конструкції нових інструментів для нарізання прямозубих та косозубих зубчастих коліс, які дозволяють пришвидшити процес обробки. Результати, отримані для типового ілюстративного прикладу, підтверджують, що запропонований метод забезпечує нескладний і надійний підхід до моделювання конструктивних особливостей різальних інструментів.

Результати дослідження

Рух різання в процесі Power Skiving відбувається внаслідок того, що передня поверхня різальних зубців нахилена під кутом до осі обертання інструменту, а різання в напрямку осьової подачі відбувається внаслідок обертання інструменту. Тобто, головним рухом різання є обертовий рух скайвера, а переміщення передньої поверхні в напрямку осьової подачі є похідним від цього руху і виконує роль конструктивного переміщення. Ще одним рухом є допоміжний рух у виді осьової подачі, яка робить процес неперервним і поширює його на всю довжину шляху різання. Таким чином, результуюча швидкість різання в процесі Power Skiving є векторною сумою швидкості обертання інструменту V_{tool} , швидкості руху передньої поверхні в напрямку осьової подачі V_{ω} внаслідок схрещення осей на кут ω і обертання інструменту, а також швидкості руху інструменту, що відповідає осьовій подачі V_f .

На сьогодні розроблено та використовуються у виробництві значна кількість видів скайверів, які, залежно від призначення відрізняються конструкцією, геометрією різальної частини, матеріалом, способом кріплення та покриттями.

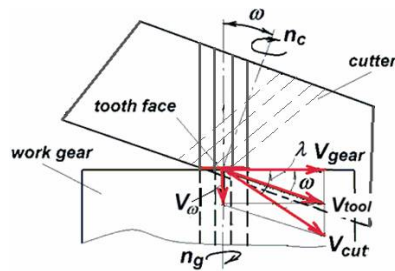


Рис.1. Кінематична схема процесу Power skiving, яка враховує усі рухи різання

Для процесу різання оптимальною є конструкція конічного чашкового різця зі змінними пластинами, який має позитивний передній і позитивний задній кути, а також має кут нахилу передньої поверхні зубця. Цей різець є універсальним, його можна використовувати для нарізання як прямозубих, так і косозубих коліс. Позитивні кути передньої і задньої поверхонь і нахил передньої поверхні відносно вектора лінійної швидкості обертового руху різця, завдяки чому утворюється кут різання і виникає косокутне різання, є найбільш сприятливими для процесу різання.

Висновки

Нове трактування схеми різання в процесі обробки зубчастих коліс методом Power Skiving, що базується на реальній кінематиці цього процесу як сукупності колових рухів, тобто обертання інструменту і заготовки, дало змогу визначити величину і напрямок швидкості різання, як результуючого вектора кругових і поступальних переміщень. Вектор сумарної швидкості різання має важливе значення для правильної оцінки процесу, оскільки після установки скайвера на верстаті він отримує інші значення кутів, які характеризують геометрію його лез, і які визначаються, як дійсні, або робочі кути. Величину цих кутів визначають за положенням відповідної поверхні відносно вектора швидкості різання, а не від базових поверхонь інструменту. Наприклад, якщо різак має кут нахилу зубців 20° , то вектор сумарної швидкості різання буде під кутом 36° відносно торця колеса, яке нарізають. Робочі кути на лезах скайвера значно впливають на процес обробки, збільшуючи інтенсивність зсуву при різанні і тертя на передній і задніх поверхнях зубців.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A. Slipchuk, "Study of the cutting force based on the obtained undeformed chips during cut in when machining an internal gear by power skiving method". UJMEMS. vol. 10, no 2, pp. 46-56. 2024
2. E. Nagata, T. Tachikawa, Y. Nakahara, N. Kurita, M. Nakamura, D. Iba, I. Moriwaki. "Gear skiving for mass production". In The Proceedings of the JSME international conference on motion and power transmissions. The Japan Society of Mechanical Engineers. pp. 02-13 2017.

Сліпчук Андрій Миколайович — канд. техн. наук, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет "Львівська політехніка" Львів, e-mail: andrii.m.slipchuk@lpnu.ua

Determining the influence of tool working angles on gear cutting by Power Skiving

Abstract

The paper analyses the design of new gear cutting tools that can speed up the machining process. It is found that the working angles of the cutter blades have a significant effect on the machining process, increasing the intensity of shearing during cutting and the friction on the rack and flank surfaces of the tool teeth.

Keywords: gear, Power Skiving, gear cutting, kinematical angles.

Slipchuk Andrii M. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv

ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ НЕЛІНІЙНИХ МОДЕЛЕЙ МАШИННИХ АГРЕГАТІВ

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

²Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”

Анотація

Створено метод параметричного синтезу нелінійних моделей машинних агрегатів з двигуном внутрішнього згоряння. Розроблено ефективний алгоритм розв'язання задач аналізу, що використовує гармонічну лінеаризацію для інтегральних рівнянь руху, записаних за допомогою імпульсно-частотних характеристик. Побудовано динамічну модель агрегату з дизелем ЗТД. Здійснено оптимальний синтез параметрів моделі. Зіставлено результати розрахункових досліджень із даними експериментів.

Ключові слова: параметричний синтез, нелінійна модель, машинний агрегат, гармонічна лінеаризація, інтегральне рівняння, імпульсно-частотна характеристика.

Збільшення потужності та швидкохідності сучасних установок з ДВЗ веде до підвищення динамічних навантажень, коли все більшою мірою виявляються пружні властивості їх деталей та вузлів. Аналіз і усунення небезпечних крутильних коливань, які нерідко визначають міцність і надійність конструкції, вимагає при побудові моделей з одного боку урахування технологічних нелінійностей, а з іншого – введення пружних муфт і демпфуючих пристроїв. Зазначені фактори на сталих динамічних режимах породжують зміщення резонансів, деформування резонансних кривих, багатозначність коливань, що істотно ускладнює розв'язання задач аналізу і тим більше синтезу для моделей машинних агрегатів з ДВЗ. Методи їх розв'язання нині розроблені недостатньо.

На рис. 1. представлена кінематична схема дизеля ЗТД, з'єднаного зі споживачем (гідрогальмо): 1, 2 – ступиця і маховик демпфера; 3 – впускний колінчастий вал; 4-8 – шестірні головної передачі; 9 – випускний вал; 10 – пружна муфта з попереднім натягом на випускному валу (рис. 2); 11 – ресора приводу нагнітача; 12 – пружна муфта в приводі нагнітача; 13 – фрикційні муфти; 14 – ротор нагнітача; 15 – ресора приводу турбіни; 16 – ротор турбіни; 17 – маховик двигуна; 18 – резино-пальцева муфта; 19 – гідрогальмо.

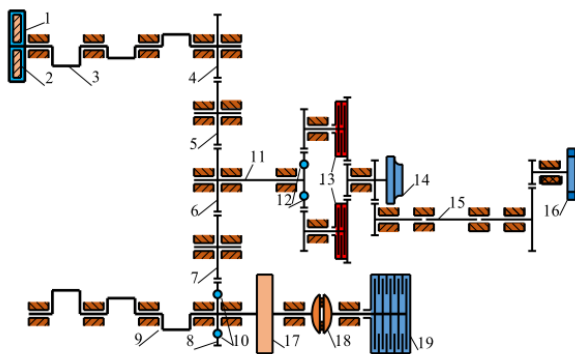


Рис. 1. Кінематична схема двигуна ЗТД із споживачем

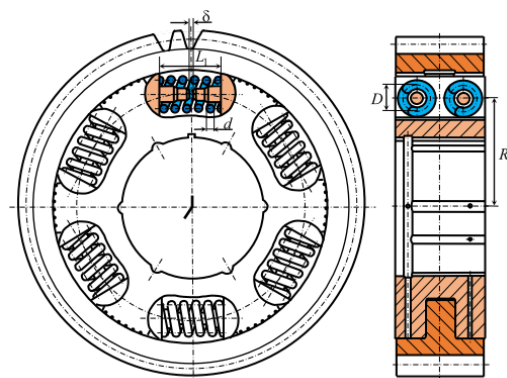


Рис. 2. Нелінійна пружна муфта

Доповідь присвячена результатам досліджень по розробки методу параметричного синтезу нелінійних моделей машинних агрегатів з ДВЗ.

1. Задача динамічного синтезу машинного агрегату сформульована як задача нелінійного програмування і полягає у визначенні параметрів, що забезпечують обрані динамічні критерії якості при урахуванні обмежень, що накладаються на параметри, які варіюються [1, 2].

2. Особливістю задач оптимізації в нелінійній динаміці машин є громіздкість і трудомісткість розв'язання задач аналізу, що пояснюється великою розмірністю досліджуваних систем, наявністю в них кількох нелінійностей, багатозначністю розв'язків тощо. В основу

ефективного алгоритму розв'язання задач аналізу покладено метод гармонічної лінеаризації з використанням нелінійних інтегральних рівнянь руху, записаних за допомогою імпульсно-частотних характеристик [2]. Головна перевага такого підходу для розв'язання задач синтезу та оптимізації в тому, що кількість рівнянь руху дорівнює числу нелінійностей і трудомісткість розв'язання задачі аналізу практично не залежить від числа степенів вільності моделі.

3. На рис. 3 зображені залежності амплітуд пружних моментів нелінійної муфти, ресор нагнітача та турбіни від частоти після оптимізації параметрів моделі. Максимальна амплітуда пружного моменту в муфті дорівнює 4992Нм і досягається при 318рад/с (1012об/хв), відповідно в ресорах нагнітача та турбіни маємо 2331Нм та 1369Нм при 278рад/с (885об/хв). До оптимізації максимальний пружний момент у головній передачі двигуна досягал майже 1кНм. На рис. 4 представлені фрагменти осцилограм з записами пружного моменту в нелінійній муфті і кутової швидкості маховика для різних обертів двигуна при їх зростанні.

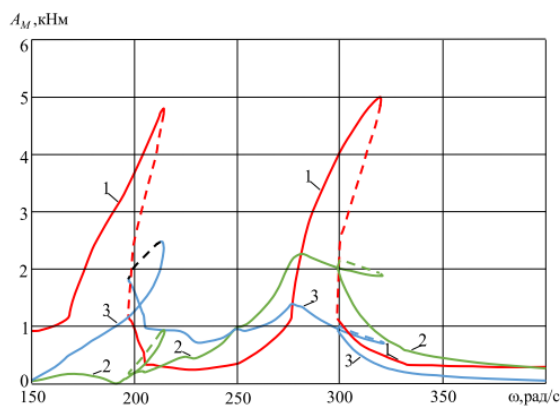


Рис. 3. Амплітуди моментів: 1 – нелінійна муфта; 2 – ресора нагнітача; 3 – ресора турбіни

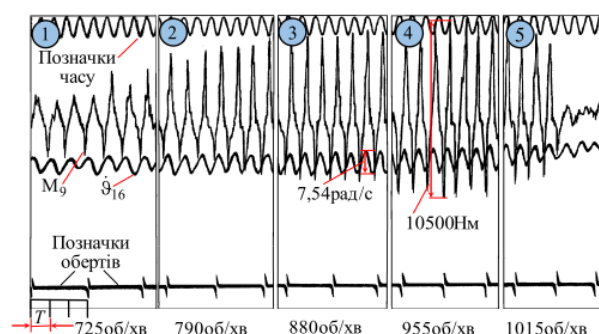


Рис. 4. Осцилограми пружного моменту в нелінійній муфті та кутової швидкості маховика

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Byrtus M. On modeling and vibration of gear drives influenced by nonlinear couplings / M. Byrtus, V. Zeman // Mechanism and Machine Theory.– 2023.– vol. 46.– № 3.– P. 375-397.
2. Шатохін В.М. Аналіз та параметричний синтез нелінійних силових передач машин: Монографія / В.М. Шатохін.– Харків: НТУ “ХПІ”, 2018.– 456 с.

Шатохін Володимир Михайлович – д.т.н., проф., проф. кафедри теоретичної і будівельної механіки, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, shatokhinvlm@gmail.com.

Ярмак Микола Сергійович – к.т.н., старший науковий спеціаліст кафедри “Інформаційні технології та системи колісних та гусеничних машин імені Олександра Морозова” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, м. Харків, iarmak.n@ukr.net.

Parametric synthesis of nonlinear models of machine units

Abstract

A method for parametric synthesis of nonlinear models of machine units with an internal combustion engine has been created. An effective algorithm for solving analysis problems has been developed, using harmonic linearization for integral equations of motion recorded using pulse-frequency characteristics. A dynamic model of a unit with a 3TD diesel engine has been constructed. Optimal synthesis of the model parameters has been carried out. The results of computational studies have been compared with experimental data.

Keywords: parametric synthesis, nonlinear model, machine unit, harmonic linearization, integral equation, impulse frequency response.

Shatokhin Volodymyr M. – Doct. of Sciences, Professor, Professor of the department of Theoretical and Structural mechanics, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, shatokhinvlm@gmail.com.

Yarmak Nikola S. – Ph.D., of Sciences, senior scientific specialist, of the department of “Information technologies and systems of wheeled and tracked vehicles named after Alexander Morozov” National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, iarmak.n@ukr.net.

СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ У ТРАНСМІСІЯХ АВТОМОБІЛІВ

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація.

Дослідження навантаженості трансмісії є визначення рівня крутильних коливань, джерелами яких є двигун внутрішнього згоряння, колісний рушій, дорожні нерівності, карданні передачі, зубчасті зачеплення.

Ключові слова: трансмісія, навантаженість, стенд, автомобіль.

Як відомо, під час резонансів навантаження досягають значних величин, і вони можуть стати основними в динамічному навантаженні трансмісії автомобіля. Дослідження навантажень, що виникають від крутильних коливань, зазвичай проводять на реальних об'єктах в умовах дорожніх випробувань. Однак поряд з такими випробуваннями в даний час широкого поширення набули дослідження, що проводяться на спеціальних стендах, внаслідок їх високої ефективності. На таких стендах можна проводити дослідження як окремих вузлів і агрегатів, так і автомобіля в цілому.

Стендові випробування дають змогу досліджувати трансмісії ще на етапі проектування нових автомобілів. Це досягається за допомогою методів теорії моделювання, які дозволяють перенести результати досліджень моделі на реальний автомобіль. Такі випробування допомагають виявити та усунути слабкі елементи конструкцій до виготовлення дослідних зразків. При цьому стенд має задовольняти таким вимогам: а) навантажувальний пристрій стенда має з достатнім наближенням відтворювати експлуатаційні режими роботи трансмісії автомобілів; б) крутильна система стенда має бути еквівалентною крутильній системі автомобіля та ін. З урахуванням цих вимог було спроектовано стенд для моделювання та дослідження трансмісії автомобілів.

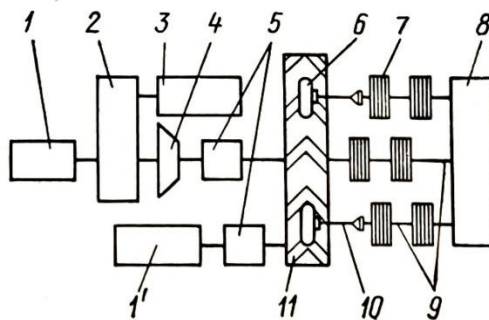


Рис. 1 - Принципова схема стенду

Крутний момент від приводного електродвигуна 1 передається через вібратор 2, зчеплення 4 і коробку передач 5 на систему валів (змінних податливостей) 9 і змінних махових мас (моментів інерції) 7. На валу редуктора 8 виникає різниця моментів, яка через змінні податливості 9 і змінні махові маси 7 передається на дві моделі шини 6. Шини розташовані на нескінченній стрічці зі змінними нерівностями 11. Стрічка встановлена на бігових барабанах. Від бігових барабанів момент передається через коробку 5 передач на гальмівний електродвигун 1. Коробка передач призначена для збільшення діапазону зміни крутного моменту, а зчеплення - для короткочасного відключення основної системи стенду при пуску електродвигунів, а також для дослідження перехідних режимів [1].

Порушення на модель трансмісії, що складається зі змінних махових мас і змінних

податливостей, передається як з боку дороги (стрічка зі змінними нерівностями), так і силової установки (вібратор).

Вібратор являє собою зубчастий планетарний механізм, в якому для збудження моментів, що обурюють, різних за амплітудою і частотою, до сателітів прикріплені неврівноважені грузики. Водило вібратора з'єднане з приводним електродвигуном, а сонячна шестерня через допоміжну шестерню має привід від допоміжного електродвигуна 3. На воді можна встановлювати три пари сателітів різного діаметра, що дозволяє імітувати полігармонійний момент збудження. Допоміжний електродвигун служить для розширення діапазону збуджуваних частот.

Відповідним підбором основного приводного та могутнього електродвигунів постійного струму, а також передавальних чисел шестерень вібратора забезпечується діапазон частот збудження вібратора $f=0\div 240$ Гц. Для зміни власних частот стенду передбачено можливість зміни моментів інерції махових мас та податливостей валів системи, що в кінцевому рахунку дозволяє імітувати трансмісію автомобіля. Параметри стенду підібрані так, що при максимальних моментах інерції та податливості мінімальна частота власного стенда становить $f=2$ Гц. При зменшенні податливостей та моментів інерції нижча власна частота стенду збільшуватиметься. Підбором моментів інерції махових мас і податливості валів при прийнятому масштабі моделювання досягається відповідність між моделлю трансмісії і реальною трансмісією. Широкий діапазон змінюваних параметрів дозволяє досліджувати на стенді не тільки моделі пристроїв та агрегатів трансмісії, але й самі ці пристрої та агрегати у натуральну величину. Стенд дозволяє досліджувати ефективність демпфуючих пристроїв у трансмісіях автомобілів, перевірити теоретичні передумови, покладені в основу розрахунку таких пристроїв. Змінюючи параметри демпфера та місце його встановлення у моделі трансмісії, можна визначити оптимальні характеристики демпфера та місце його встановлення у трансмісії конкретного автомобіля [2].

Установка двох моделей шини на нескінченну стрічку із закріпленими змінними нерівностями дозволяє дослідити навантаженість трансмісій автомобілів при подоланні колесом різних нерівностей, дослідити питання циркуляції потужності у трансмісіях із блокованим приводом. Наявність зчеплення між вібратором і коробкою передач дає можливість визначити навантаженість трансмісії не тільки при режимах руху, що встановилися, але і при перехідних процесах. Розглянутий стенд дозволяє на стадії проектування проводити дослідження трансмісій та їх окремих агрегатів більшості сучасних автомобілів за різних умов навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Marmut I.A. (2018). Obosnovanie vybora diametra rolikov inerczionnogo tormoznogo stenda [Justification for the choice of the diameter of the rollers of the inertial brake stand]. Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv – Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes, 13, 241–247.

2. Marmut I.A. (2018). Matematychni modeli stendovoi diahnostryky halmivnykh system avtomobiliv [Mathematical models of bench diagnostics of car braking systems]. Naukovyi zhurnal Lutskoho NTU «Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti» – Scientific journal of Lutsk NTU «Modern technologies in mechanical engineering and transport», 2(11), 90–96.

Костюк Станіслав Юрійович, аспірант кафедри тракторів і автомобілів Національного університету біоресурсів і природокористування України, м. Київ, stanislavkostuk@nubip.edu.ua

TEST BENCH FOR STUDYING LOADS IN AUTOMOBILE TRANSMISSIONS

Abstract.

The study of transmission loading is to determine the level of torsional vibrations, the sources of which are internal combustion engine, wheel mover, road irregularities, cardan gears, gearing. As is known, at resonances the loads reach significant values, and they can become the main ones in the dynamic loading of the vehicle transmission.

Key words: transmission, loading, bench, automobile.

Kostiuk Stanislav Yuriiovich, Postgraduate student of the Department of Tractors and Automobiles, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, stanislavkostuk@nubip.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗМЕНШЕННЯ МЕТАЛОЄМНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ БАРАБАННОЇ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ МІЦНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі представлено теоретичне дослідження по зменшенню металоємності конструкції барабанної сушильної установки із забезпеченням міцності конструкції.

Ключові слова: металоємність, навантаження, конструкція, міцність.

На сучасному етапі, в плані економії енергетичних ресурсів гостро стоїть питання зниження енерговитрат теплових масообмінних апаратів, що використовуються для сушіння дисперсних матеріалів, оскільки процес сушіння є одним із найенергоємніших процесів у виробництві. У хімічній, харчовій та інших галузях промисловості для проведення процесів сушіння широке застосування знайшли барабанні сушильні апарати. Це обумовлено простотою їхньої конструкції, великою продуктивністю та універсальністю. Відомо, що основні витрати енергії в барабанних сушарках припадають на нагрівання сушильного агента та привід барабана. Тому для зниження енергоспоживання даними апаратами можуть бути використані декілька шляхів. По-перше, зменшення витрат на підготовку агента сушіння інтенсифікацією процесу міжфазного тепломасообміну, а по-друге, зниження потужності приводу.

Інтенсифікувати процеси теплої масообміну можна шляхом поліпшення умов контакту матеріалу, що висушується і теплоносія. Для цього необхідно такий розподільний пристрій, який дозволяє рівномірно розподіляти матеріал поперечного перерізу барабана. Зменшення витрат енергії на привід в даних апаратах можна досягти використанням рухомої периферійної лопатевої насадки в нерухомому барабані. До того ж, така конструкція сушарки не вимагає дорогих опорних станцій і виключає втрати високотемпературного теплоносія через ущільнення в парі барабан-бункер [1].

Найбільш раціональним, на нашу думку, є зменшення металоємності конструкції барабанної сушильної установки без значної зменшення міцності конструкції шляхом застосування сучасних САД систем [2] та використовувати технології оброблення матеріалів з мінімальними режимами пуску та зупинки на які витрачається значка кількість енергії приводу [3 – 5] – застосування інтелектуальних систем керування, які застосовують алгоритми аналізу даних, адаптації та прогнозування, щоб мінімізувати втрати часу, енергії та зношування обладнання. Застосування інтелектуальних систем керування передбачає аналіз режимів навантаження, який дозволить системі постійно моніторити швидкість, крутний момент, температуру і навантаження на привід. Такий підхід забезпечує адаптацію до змін умов технологічного процесу завдяки сенсорним мережам і програмованим логічним контролерам, які підлаштовуються під зміни навантаження.

Оптимізацію конструкцій машин, зокрема зі зниження маси та зменшення металоємності виробу, виконують шляхом підвищення експлуатаційних навантажень і зниження запасів міцності. Це призводить до того, що розрахунки опору статичного і циклічного руйнуванню необхідно виконувати не по напруженнях, як прийнято традиційно, а по деформаціях [6 – 8]. Це пов'язано з тим, що в непружній області незначним змінам номінальних напружень відповідають ще менші зміни максимальних напружень в переважаних зонах і суттєві зміни місцевих

деформацій. Тому для оцінки міцності і ресурсу в пружнопластичній області необхідно розробляти методи розрахунку кінетики місцевих деформацій і деформаційних критеріїв руйнування.

Також перспективним напрямом зменшення металоємності та маси конструкції є застосування нових матеріалів з кращими технічними показниками та меншою масою, зокрема можна замінювати загальноживані конструкційні сталі (сталі 20, 45) на композитні матеріали, з густиною в $2500 - 3000 \text{ кг/м}^3$. Використання композитних матеріалів дозволить зменшити енергетичні витрати, що використовуються приводом сушильної установки та дозволить підвищити робочі температури технологічного процесу за умови використання більш теплостійкого композитного матеріалу, у порівнянні із конструкційним сталями 20, 45 тощо.

Розглянуті заходи по зменшенню металоємності по зменшенню металоємності конструкції барабанної сушильної установки із забезпеченням міцності конструкції є актуальними науковими та інженерними задачами, які вимагають подальшого ґрунтовного дослідження та мають вагомий вплив на економічний розвиток промисловості України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дударев І. Обґрунтування технологічних параметрів барабанної сушарки // Вісник ТДТУ. – 2009. – Том 14. — №1. – С. 77-81
2. Конончук, С. В. Зменшення металоємності вилівка на основі дослідження 3D-моделі на міцність в середовищі SolidWorks Simulation / С. В. Конончук, В. В. Пукалов // Литво – 2019 : XV Міжнар. наук.-практ. конф. Металургія – 2019 : VIII Міжнар. наук.-практ. конф. : програма, 21-23 трав. 2019 р., м. Запоріжжя. – Запоріжжя : АА Тандем, 2019. – С. 114–116.
3. Дячук А. М., Ситнік С. М. Основи енергозберігаючих технологій у машинобудуванні. – Київ: Ліра-К, 2017.
4. Мищенко В. Г. Промислова електроніка та енергоефективні приводи. — Харків: УкрДУЗТ, 2016.
5. Колесник В. І. Енергозбереження в технологічних процесах. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2020.
6. Механіка руйнування та міцність матеріалів: довідниковий посібник / за заг. ред. В.В. Панасюка. – Львів: СПОЛОМ, 2012.
7. Anderson T.L. Fracture mechanics: fundamentals and applications. – Boca raton: CRC press. – 1991.
8. Партон В.З. Механіка руйнування: від теорії до практики. – М. наука, 1990. – 240с.

Слабкий Андрій Валентинович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: Slabkiyandrey@gmail.com

Бабійчук Владислав Олександрович — студент групи ГМ-216, Факультет машинобудування та транспорту, ВНТУ, e-mail: babijchuk.2004@gmail.com

STUDYING THE POSSIBILITY OF REDUCING THE METAL CONSUMPTION OF THE DRUM DRYER STRUCTURE WHILE ENSURING STRUCTURAL STRENGTH

Abstract

The paper presents the rationale for separating the definitions of impact and impulse load.

Keywords: impulse, impact, load, dynamics, strength.

Slabkiy Andrii V. – Ph.D., assistant professor of mechanical engineering industry, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: Slabkiyandrey@gmail.com

Babijchuk Vladyslav Oleksandrovych – student of group ГМ-216, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, VNTU, e-mail: babijchuk.2004@gmail.com.

Метод чотирьох пробних пусків для визначення масової і аеродинамічної незрівноваженості повітряного гвинта

Центральноукраїнський національний технічний університет

Анотація

Показано, що чотирьох пробних пусків повітряного гвинта достатньо для окремого визначення його масової і аеродинамічної незрівноваженості. Розроблені відповідні алгоритми розрахунків.

Ключові слова: пропелер, балансування, балансувальний прилад, метод коефіцієнтів впливу, незрівноваженість, жорсткий ротор.

Вступ

Балансувальні прилади призначені для визначення масової незрівноваженості ротора в одній чи декількох площинах корекції. Основні методи визначення масової незрівноваженості побудовані для лінійних систем [1]. Найменшу кількість пусків ротора для цього забезпечує метод коефіцієнтів впливу [2]. Так, відповідно до методу, для визначення динамічної незрівноваженості (незрівноваженості у двох площинах корекції) жорсткого ротора достатньо провести три пробних пуски (тому цей метод називають ще методом трьох пробних пусків).

Основним джерелом вібрацій в машинах з повітряними гвинтами є масові і аеродинамічні незрівноваженості гвинтів. Масова складова майже не змінюється під час роботи гвинта, а аеродинамічна зазнає значних змін. Тому існує загальна проблема з виділення із динамічної незрівноваженості масової і аеродинамічної складових [3–5]. У рамках загальної проблеми існує задача з визначення зазначених складових оптимальним способом. Це потрібне для зменшення трудомісткості і вартості цього процесу.

Метою роботи є розробка методу чотирьох пробних пусків повітряного гвинта для окремого визначення його масової і аеродинамічної незрівноваженості.

Результати дослідження

Модернізований метод трьох пусків для визначення динамічної незрівноваженості повітряного гвинта. Відповідно до модернізованого методу гвинт встановлюють на вал балансувального стенду і три рази визначають амплітуди і фази коливань гвинта у площинах двох датчиків вібрацій (рознесених по подовжній осі валу) при обертанні валу із сталою кутовою швидкістю. Перший раз гвинт обертають без додавання пробних мас і визначають V_0 , V_0 . Другий раз до гвинта приєднують пробну масу P_1 у першій площині корекції і визначають V_1 , V_1 . Третій раз до гвинта приєднують пробну масу P_2 у другій площині корекції і визначають V_2 , V_2 . При цьому кожна пара комплексних чисел визначає амплітуду і фазу коливань у першій і другій площині корекції відповідно. Після цього розраховуються відносні величини і відносне розташування незрівноважених мас у вигляді

$$\delta_1 = (V_0 V_2 - V_0 V_2) / D, \quad \delta_2 = -(V_0 V_1 - V_0 V_1) / D, \quad (1)$$

де

$$D = V_0 V_1 - V_0 V_1 - V_0 V_2 + V_0 V_2 + V_1 V_2 - V_1 V_2. \quad (2)$$

В (1) комплексні числа δ_1 , δ_2 у експоненціальній формі мають вигляд:

$$\delta_j = \delta_j e^{i w_j}, \quad / j = 1, 2/, \quad (3)$$

де \mathbf{i} – уявна одиниця. Вони визначають, що незрівноважена маса Q_1 (Q_2) більше відповідної пробної маси P_1 , (P_2) у δ_1 (δ_2) разів, а кут ψ_1 (ψ_2) задає на роторі положення незрівноваженої маси Q_1 (Q_2) і відраховується від пробної маси P_1 (P_2) до незрівноваженої маси Q_1 (Q_2) у напрямку обертання ротора. При цьому кути ψ_1, ψ_2 приймають значення від 0 до 2π . Незрівноважені маси розміщені на роторі на тому ж радіусі, що і пробні.

Модернізований метод використовує в розрахунках тільки інформацію про заміряні вібрації у двох площинах корекції. У явному вигляді не розраховуються коефіцієнти впливу, не враховуються величини і місця розташування пробних мас. Це зменшує похибки обчислень.

Незрівноважені маси Q_1 , Q_2 (подані у комплексному вигляді) є сумою складових від незрівноваженості мас $Q_1^{(m)}$, $Q_2^{(m)}$, і аеродинамічної незрівноваженості $Q_1^{(a)}$, $Q_2^{(a)}$:

$$Q_j = Q_j^{(m)} + Q_j^{(a)}, \quad / j = 1, 2 / . \quad (4)$$

З метою окремого визначення як незрівноваженості мас, так і аеродинамічної незрівноваженості, пропонується аналогічним чином визначати амплітуди і фази коливань V_{3_1} , V_{3_2} гвинта у площинах двох датчиків вібрацій при змінених умовах роботи гвинта. У змінених умовах змінюється за відомим законом тільки аеродинамічна незрівноваженість гвинта (і не зазнають змін коефіцієнти впливу):

$$\tilde{Q}_j^{(a)} = kQ_j^{(a)}, \quad / j = 1, 2 / , \quad (5)$$

де k – деякий відомий коефіцієнт.

Тоді незрівноважені маси гвинта при нормальних умовах роботи розраховуються за допомогою таких коефіцієнтів, подібних до коефіцієнтів з (3):

– від незрівноваженості мас

$$\delta_1^{(m)} = \frac{(V_{0_1} V_{2_2} - V_{0_2} V_{2_1})k - V_{0_1} V_{3_2} + V_{0_2} V_{3_1} + V_{2_1} V_{3_2} - V_{2_2} V_{3_1}}{(k-1)\mathbf{D}},$$

$$\delta_2^{(m)} = -\frac{(V_{0_1} V_{1_2} - V_{0_2} V_{1_1})k - V_{0_1} V_{3_2} + V_{0_2} V_{3_1} + V_{1_1} V_{3_2} - V_{1_2} V_{3_1}}{(k-1)\mathbf{D}}, \quad (6)$$

– від аеродинамічної незрівноваженості

$$\delta_1^{(a)} = -\frac{V_{0_1} V_{2_2} - V_{0_2} V_{2_1} - V_{0_1} V_{3_2} + V_{0_2} V_{3_1} + V_{2_1} V_{3_2} - V_{2_2} V_{3_1}}{(k-1)\mathbf{D}},$$

$$\delta_2^{(a)} = \frac{V_{0_1} V_{1_2} - V_{0_2} V_{1_1} - V_{0_1} V_{3_2} + V_{0_2} V_{3_1} + V_{1_1} V_{3_2} - V_{1_2} V_{3_1}}{(k-1)\mathbf{D}}. \quad (7)$$

Розроблений метод чотирьох пробних пучків оцінює аеродинамічну незрівноваженість через еквівалентну масову незрівноваженість на заданому режимі роботи гвинта. Сама ж незрівноваженість викликана геометричною неточністю виготовлення гвинта і істотно змінюється із зміною умов роботи гвинта. Метод застосовний для повітряних гвинтів зі сталим кроком – крильчаток осьових вентиляторів, пропелерів, повітряних гвинтів вітрогенераторів тощо. Його можна застосовувати і для визначення масової і гідродинамічної незрівноваженості гребних гвинтів із сталим кроком.

Для визначення амплітуди і фази коливань гвинта у двох площинах корекції можна використовувати балансувальні прилади, акселерометри з цифровими осцилографами чи платами АЦП тощо [6]. Для підвищення точності визначення складових динамічної незрівноваженості гвинта рекомендується змінювати умови роботи гвинта так, щоб аеродинамічна незрівноваженість змінилася не менше ніж на 30% [1].

В подальшому планується експериментально перевірити ефективність методу чотирьох пробних пусків на спеціально створеному стенді [5]. Вимірювати вібрації, визначати амплітуди і фази коливань тощо планується з використанням віртуальних приладів, алгоритмів розрахунків, програмного забезпечення, розроблених в [6].

Висновки

Аеродинамічну незрівноваженість повітряного гвинта можна визначити по чотирьом пробним пускам, причому така кількість пусків є мінімальною. Перший раз гвинт обертають без додавання пробних мас. Другий раз до гвинта приєднують пробну масу P_1 у першій площині корекції. Третій раз до гвинта приєднують пробну масу P_2 у другий площині корекції. Четвертий раз гвинт обертають при змінених умовах роботи, при яких змінюється за заданим законом аеродинамічна незрівноваженість, але при цьому істотно не змінюються коефіцієнти впливу.

Аеродинамічна незрівноваженість оцінюється через еквівалентну масову незрівноваженість на заданому режимі роботи гвинта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Li, L., Cao, S., Li, J., Nie, R., Hou L. (2021). Review of Rotor Balancing Methods. *Machines*, 9(5): 89. <https://doi.org/10.3390/machines9050089>
2. Everett L.J. (1997). Optimal Two-Plane Balance of Rigid Rotors. *Journal of Sound and Vibration*, 208 (4), 656–663. <https://doi.org/10.1006/jsvi.1997.1211>
3. Olijnichenko, L., Filimonikhin, G., Nevdakha, A., Pirogov, V. (2018). Patterns in change and balancing of aerodynamic imbalance of the low-pressure axial fan impeller. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 3(7(93)), 71–81. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133105>
4. Filimonikhin, G., Filimonikhina, I., Bilyk, Y., Krivoblotsky, L., & Machok, Y. (2021). Theoretical study into the aerodynamic imbalance of a propeller blade and the correcting masses to balance it. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7(112)), 60–66. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238289>
5. Г.Б. Філімоніхін, Ю.О. Білик, Л.С. Олійніченко. Стенд для дослідження звичайної і аеродинамічної незрівноваженостей повітряного гвинта. Тези доповідей. II Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту», Вінниця, 13-15 травня 2021 року: — 2021. С.57-59. <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2021/paper/view/13296>
6. Filimonikhin, G., Yatsun, V., Matsui, A., Olijnichenko, L., & Pukalov, V. (2022). Determining experimentally the patterns of the manifestation of the Sommerfeld effect in a ball auto-balancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(7 (119)), 96–104. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265578>

Філімоніхін Геннадій Борисович — доктор. техн. наук, професор, зав. кафедри деталей машин та прикладної механіки, Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, e-mail: filimonikhin@ukr.net

Сокальська Юлія Олександрівна — аспірантка кафедри деталей машин та прикладної механіки, Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, e-mail: julija_8383@ukr.net

Остапчук Юлія Олександрівна — аспірантка кафедри деталей машин та прикладної механіки, Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, e-mail: juli.biluk97@gmail.com

Method of Four Trial Runs for Determining Mass and Aerodynamic Unbalance of the Propeller

Abstract

It is shown that four trial runs of a propeller are sufficient for the separate determination of its mass and aerodynamic unbalance. Corresponding calculation algorithms are developed.

Keywords: propeller, balancing, balancing device, influence coefficient method, unbalance, rigid rotor.

Filimonikhin Gennadiy B. — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Machine Parts and Applied Mechanics, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, email : filimonikhin@ukr.net

Sokalska Yuliia O. — graduate student of the Department of Machine Parts and Applied Mechanics, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, email : julija_8383@ukr.net

Ostapchuk Yuliia O. — graduate student of the Department of Machine Parts and Applied Mechanics, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, email : juli.biluk97@gmail.com

ФОРМУВАННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ ТРИВІСНОГО АВТОБУСА З МОНОБЛОЧНИМ КУЗОВОМ.

І-ВАТ «Укравтобуспром»

*2-Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
Імені С.З. Гжицького*

Анотація

Для тривісних автобусів з моноблочним кузовом проблемним є визначення оптимальної схеми контурів з усіх можливих варіантів з метою забезпечення стабільності, безпеки та ефективності гальмування в різних умовах експлуатації з дотриманням вимог нормативних документів, зокрема Правил ЄЕК ООН № 13 [1]. Визначальну роль при цьому відіграє динаміка перерозподілу навантажень на осі під час гальмування оскільки у надвеликих тривісних автобусах з моноблочним кузовом як правило конструктивно закладено нерівномірний розподіл навантажень на осі автобуса, середня вісь є ведучою з здвоєними шинами з найбільшим навантаженням, а передня і задня осі – з одинарними шинами і практично вдвоє меншими навантаженнями. Нормативні вимоги чинні як щодо номінальної, так і спорядженої мас автобуса, що суттєво відрізняються з умов навантажень на осі і центру мас.

Ключові слова: автобус, тривісний, гальмівна система, динаміка, пневматична схема, гальмування.

З аналізу існуючих джерел інформації [2-7], та вихідних даних для розробки гальмівної системи тривісного автобуса по проекту «Богдан А231» теоретично можливими є три варіанти схеми міжосьового поділу приводу, (окрім діагональної), кожен з них має свої конструктивні особливості та вплив на ефективність і безпеку гальмування транспортного засобу. а саме:

- 1) І контур – привід та гальмівні механізми переднього моста,
II контур – привід та гальмівні механізми середнього та заднього мостів;
- 2) І контур – привід та гальмівні механізми переднього та заднього мостів,
II контур – привід та гальмівні механізми середнього моста;
- 3) І контур – привід та гальмівні механізми переднього та середнього мостів,
II контур – привід та гальмівні механізми заднього моста.

Враховуючи суттєво різний розподіл навантажень на осі, попередньо проведені розрахунки ефективності вищезазначених варіантів засвідчили перевагу частини запропонованих схем контурів [3, 4]. Разом з тим при повній масі автобуса сповільнення при використанні контурів з попереднім позитивним результатом було на межі допустимого згідно нормативних вимог [1, 7], що обумовило пошук та опрацювання додаткових рішень щодо підвищення ефективності запасної гальмівної системи. Окрім вище наведених варіантів розподілу контурів опрацьовано ще один з можливих варіантів розподілу контурів, а саме:

- I контур – привід та гальмівні механізми переднього та заднього мостів;
- II контур – привід та гальмівні механізми середнього та заднього мостів;

При такій комбінації виникає питання розділення контурів I та II у випадку виходу з ладу одного з них, з метою безпеки руху та дотримання вимог нормативно правових документів [1]. Для підвищення ефективності прийнято рішення застосувати прискорювальний клапан для задньої, 3-ї осі з функцією двох незалежних входів та підєднанням до них відповідно контурів I і II [5].

Враховуючи суттєві відмінності цього класу автобусів у порівнянні до звичних тривісних вантажівок щодо нерівномірного розподілу навантажень на осі та відсутність кінематично зв'язаних балансирних підвісок 2-ї і 3-ї осей слід констатувати необхідність окремого підходу –

методики формування схеми контурів пневмоприводу гальм. Моделювання динаміки гальмування з урахуванням різних варіантів можливих схем приводу продемонструвало значний вплив конфігурації приводу на ефективність запасної гальмової системи та збільшення безпеки руху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила UN/ECE R 13. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорій M, N і O стосовно гальмування. – Введено вперше; Ввід. 24.07.2002. [Чинні від 14.01.2008]. – Женева : Європейська Економічна Комісія Організації Об'єднаних націй, 2008. –276 с.
 2. Богомолов В.О., Клименко В.І., Дон Є.Ю., Тімонін В.О., Вербицький В.І., Особливості вибору раціональних схем компонування гальмівного приводу при забезпеченні високої ефективності гальмування багатовісного транспортного засобу. Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів. Харків, 2019. Вип. 17. С. 62-73.
 3. Крайник Л.В., Дуфанець І.Г. Обґрунтування та оцінка ефективності схеми гальмового приводу тривісного моноблочного автобуса. Автомобільний транспорт, ХНАДУ, Харків, 2008. Вип. 42. С 17-19.
 4. Крайник Л.В., Дуфанець І.Г. Динаміка і параметрична оптимізація гальмового приводу тривісного автобуса з моноблочним кузовом. Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. Харків, 2009. Вип. 2(9). С 33-36
 5. Wabco. Product catalogue. Systems and components for commercial vehicles. Огляд технологій та продуктів, Edition 2, 2015 р.
 6. Леонтьев Д. М. (2021) Теоретичні основи гальмування багатовісних транспортних засобів з електропневматичною гальмовою системою. / дис. на здобуття ступеня докт. техн. наук. Леонтьев Дмитро Миколайович // Харків: ХНАДУ.
 7. Kamiński, Z.. Calculation of the optimal braking force distribution in three-axle trailers with tandem suspension. Acta Mechanica et Automatica Vol. 16, no 3, 2022 pp. 189-199.
- Крайник Любомир Васильович**, доктор технічних наук, голова правління ВАТ «Укравтобуспром» м. Львів e-mail: l.kraynyk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-0524-9126>
- Дуфанець Ігор Гнатович**, старший викладач, кафедри автомобілів та тракторів, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького м. Львів e-mail: dufaneci@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0001-2019-4362>
- Мазац Мирон Іванович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедри автомобілів та тракторів, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького м. Львів e-mail: mirozmahats@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-5339-139X>
- Хімка Степан Миколайович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедри автомобілів та тракторів, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького м. Львів e-mail: stepanhimka@gmail.com <https://orcid.org/0009-0003-2967-7744>

FORMATION OF A PRINCIPLE DIAGRAM OF THE BRAKE SYSTEM OF A THREE-AXLE BUS WITH A MONOBLOCK BODY.

Abstract

For three-axle buses with a monoblock body, it is problematic to determine the optimal circuit scheme from all possible options in order to ensure stability, safety and braking efficiency in various operating conditions in compliance with the requirements of regulatory documents, in particular UNECE Regulations No. 13 [1]. The dynamics of redistribution of axle loads during braking plays a decisive role in this, since in super-large three-axle buses with a monoblock body, as a rule, an uneven distribution of loads on the bus axle is structurally laid down, the middle axle is the driving one with dual tires with the highest load, and the front and rear axles are with single tires and almost half the loads. The regulatory requirements apply to both the nominal and curb weights of the bus, which differ significantly from the conditions of axle loads and the center of mass.

Lubomyr Kraynyk Doctor of Technical Sciences, head of the board JSC "Ukratobusprom", Lviv e-mail: l.kraynyk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-0524-9126>

Ihor Dufanets Senior Lecturer, Department of Automobiles and Tractors, Lviv National Stepan Gzhytsky University of Veterinary Medicine and Biotechnology, Lviv e-mail: dufaneci@gmail.com <https://orcid.org/0009-0001-2019-4362>

Myron Mahats PhD, Associate Professor, Department of Automobiles and Tractors, Lviv National Stepan Gzhytsky University of Veterinary Medicine and Biotechnology, Lviv e-mail: mirozmahats@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-5339-139X>

Stepan Khimka PhD, Associate Professor, Department of Automobiles and Tractors, Lviv National Stepan Gzhytsky University of Veterinary Medicine and Biotechnology, Lviv e-mail: stepanhimka@gmail.com <https://orcid.org/0009-0003-2967-7744>

В. В. Хворостяний¹
М. А. Долгов¹
М. О. Цисар²
В. Є. Бодунов¹
Р. С. Старинко¹

ОСОБЛИВОСТІ РОЗКИДУ ГРАНИЦІ МІЦНОСТІ В УМОВАХ ЗГИНУ ТОНКОЛИСТОВИХ ЗРАЗКІВ ФЛОАТ-СКЛА

¹ Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України;

² Інститут надтвердих матеріалів імені В. М. Бакуля НАН України

Анотація

Наведено експериментальні результати визначення границі міцності флоат-скла на тонколистових зразках, випробуваних в умовах чотирьох-точкового згину. Показано особливості розкиду емпіричних даних та двомодальність границі міцності, пов'язаної з наявністю двох різних видів визначальних дефектів скла. Встановлено взаємозв'язок між картиною руйнування скла та його міцністю на основі статистичного та фрактографічного аналізу.

Ключові слова: флоат-скло, границя міцності, згин, дефектність, статистичний аналіз.

Вступ

На сьогодні новітні конструкторські рішення підтверджують потенційні можливості у напрямі розвитку зі зміною парадигми щодо використання скла як матеріалу не лише функціонального, а й конструкційного призначення у відповідальних деталях та елементах конструкцій в різних галузях промисловості. Але з огляду на такі фактори як малodeформативність та крихкий характер руйнування скла, залежність його міцності від стану поверхні та крайових зон внаслідок набутих дефектів технологічного походження та експлуатаційних пошкоджень, вплив масштабного ефекту, проблема достовірного визначення міцнісних характеристик скла залишається актуальною і зумовлює важливість наукових досліджень, спрямованих на забезпечення роботоздатності конструкцій зі скла при складних умовах навантаження [1, 2].

Мета роботи полягала у визначенні особливостей розкиду величини границі міцності при згині зразків флоат-скла товщиною 3,85 мм та верифікації одержаних результатів, використовуючи методи статистичної обробки даних та фрактографічного аналізу зламів.

Результати дослідження

Експериментальні дослідження в умовах чотирьох-точкового згину виконані на зразках флоат-скла у вигляді плоских пластин розмірами $150 \times 50 \times 3,85$ мм³ на гідравлічній установці ZD-4, оснащених універсальною вимірювальною системою GT-12-M18 з програмним забезпеченням «GlassBend» [3]. Результати визначення границі міцності скла наведено на діаграмі, що дозволило графічно візуалізувати притаманний цьому класу матеріалів досить значний розкид даних (рис. 1). Суцільною лінією показано середнє значення міцності для усього масиву випробувань ($n = 27$ дослідів). Відповідно до цього деякі емпіричні результати можуть бути ідентифіковані як такі, що мають надмірну похибку і вважатися викидами. Тому належність їх до загальної вибірки чи виключення з неї перевіряли за допомогою спеціальних статистичних критеріїв Шовене та Смірнова. Попри великий розкид даних, така перевірка не виявила промахів, тобто жоден з отриманих екстремальних результатів не може бути відкинутий.

Аналіз діаграми вказує на існування двох мод величини границі міцності скла. Видається можливим виокремити 3-поміж усіх даних групу із $k = 5$ дослідів з найбільшими значеннями, обчислене середнє значення міцності для яких становить $\sigma = (63,1 \pm 1,2)$ МПа (наведено на діа-

грамі за допомогою штрихової лінії). Для вибірки даних без врахування цих найбільших значень ($n - k = 22$ досліди) середнє значення міцності менше на 30% і дорівнює $\sigma = (48,1 \pm 4,3)$ МПа (на діаграмі показано пунктирною лінією). Виявлена двомодальність величини границі міцності на тонколистових зразках скла спричинена різною їх дефектністю. На це вказують результати фрактографічного аналізу зламів, а саме характер руйнування скляних пластин при згині.

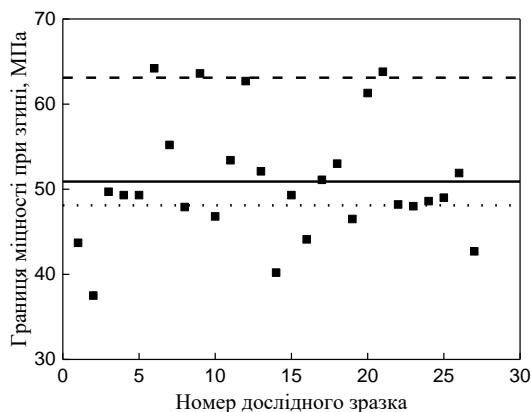


Рис. 1. Діаграма розкиду границі міцності при згині флоат-скла зразків товщиною 3,85 мм

Для групи п'яти результатів з найбільшими значеннями границі міцності руйнування зразків зароджувалося з дефектів, розташованих на їх кромках та відбувалося з більш значним розтріскуванням при розповсюдженні руйнівної магістральної тріщини (зокрема зразок № 21). Водночас в експериментах, в яких фіксувалися найменші значення міцності (зразки № 1, 2), руйнування починалося з небезпечних дефектів в приповерхневому тріщинуватому шарі скла (глибина та довжина критичної мікротріщини в середньому становить 30...40 мкм та 50...100 мкм відповідно [4]). Переважно спостерігались руйнування зразків саме з кромочних дефектів, а деякі експерименти (наприклад, зразки № 14, 16, 27) характеризувалися менш масштабним розтріскуванням. Таким чином за видом руйнування зразків скла можна непрямим методом оцінювати величину його міцності.

Висновки

За результатами експериментальних досліджень тонких зразків флоат-скла в умовах згину встановлена двомодальність величини границі міцності при значному розкиді значень. Грунтуючись на даних фрактографічного аналізу показано, що міцність скла залежить від виду руйнування та особливостей зародження і поширення руйнівних тріщин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Veer F. A. The strength of glass, a nontransparent value / F. A. Veer // Heron. – 2007. – Vol. 52, No. 1. – P. 87 – 104.
2. Vandebroek M. Size effect model for the edge strength of glass with cut and ground edge finishing / M. Vandebroek, C. Louter, R. Caspeele, F. Ensslen, and J. Belis // Engineering Structures. – 2014. – Vol. 79. – P. 96 – 105.
3. Родичев Ю. М. Повышение точности измерения деформаций и перемещений стеклянных пластин при изгибе с использованием измерительной системы GT-12-M8 / Ю. М. Родичев, Е. Б. Сорока, А. В. Дроздов, В. В. Хворостяный, В. Е. Бодунов // Тезисы докладов VII международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы инженерной механики». – Одесса, 12 – 15 мая 2020 г. – С. 296 – 300.
4. Veer F. A. The structural strength of glass; hidden damage / F. A. Veer, Yu. M. Rodichev // Проблемы прочности. – 2011. – № 3. – С. 93–109.

Хворостяний Вадим Вікторович — канд. техн. наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу втоми і тріщиностійкості, Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, Київ, e-mail: plt2002@ukr.net

Долгов Микола Анатолійович — докт. техн. наук, професор, провідний науковий співробітник відділу механіки конструкційних матеріалів, Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, Київ

Цисар Максим Олександрович — канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу фізико-механічних досліджень та нанотестування матеріалів, Інститут надтвердих матеріалів імені В. М. Бакуля НАН України, Київ

Бодунов Володимир Єгорович — головний інженер-дослідник відділу втоми і тріщиностійкості, Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, Київ

Старинко Роман Сергійович — головний інженер-дослідник відділу міцності матеріалів та елементів конструкцій в термосилових полях і газових потоках, Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, Київ

Characteristics of the flexural strength scatter of thin-sheet float glass samples

Abstract

The experimental results for determining the flexural strength of float glass on thin-sheet specimens testing under conditions of four-point bending are described. The features of the scatter of empirical data and the bimodality of the flexural strength related to the presence of two different types of structural defects in the glass are shown. The relationship between the glass fracture behaviour and its strength is obtained on the basis of statistical and fractographic analysis.

Keywords: float glass, strength, bending, defectiveness, statistical analysis.

Khvorostianyi Vadym — Ph. D., Senior Researcher, Senior Scientific Researcher of G. S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Dolgov Mykola — Prof., D. Sc., Leading Research Fellow of G. S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Tsysar Maksym — Ph. D., Senior Scientific Researcher of V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Bodunov Volodymyr — Chief Research Engineer of G. S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Starynko Roman — Chief Research Engineer of G. S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

РАМИ ВІЗКІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ВАГОНІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Анотація

Розглянуто конструкції рам різних типів візків рухомого складу метрополітену. Вказано на особливості конструкції та несправності, які можуть виникати при експлуатації.

Ключові слова: метрополітен, візок вагону, рама візка, конструкція, балка, повідці, шпінтон.

Вступ

Візок вагону є основним компонентом механічного обладнання вагону. Саме він забезпечує безпечно та плавне пересування вагонів по рейковій колії. Візок має досить складну конструкцію, елементи якої повинні відповідати всім нормам та правилам технічної експлуатації [1]. Одним із основних компонентів візка є його рама, на якій закріплені всі складові ходової частини вагону.

Метою роботи є аналіз конструкції рам візків, що експлуатуються на вітчизняних метрополітенах та виявлення їх недоліків.

Конструкції рам різних типів візків

Рама візка сприймає вагу кузова вагону з пасажирами та рівномірно розподіляє її між колісними парами. Крім того, рама приймає участь у передачі тягових та гальмівних зусиль, які діють на неї під час розгону та гальмування рухомого складу.

Сили, що діють на раму, викликають її розтягування та вигин у горизонтальній та вертикальній площинах, а також скручування, тому її конструкція повинна мати достатню міцність та надійність.

На Харківському метрополітені застосовують два типи візків – повідцевий та шпінтонний, що зображені на рис. 1. Рами обох типів візків мають схожу конструкцію – дві повздовжніх та дві поперечних балки, але принципова відмінність полягає в конструкції буксового підвішування. Тягові та гальмівні зусилля на повідцевому візку від букси колісної пари на раму візка передаються через повідці, що закріплені на кронштейнах рами з одної сторони та на крилах букси – з іншої. На візку шпінтонної конструкції ці зусилля передаються через шпінтони, що закріплені в отворах повздовжніх балок та на крилах корпусу букси.



Рис. 1. Візки вагону метрополітену: а – повідцевий, б - шпінтонний

Шпінтонний візок є наслідком модернізації повідцевого візка, яка дозволила зменшити деформації та напруження рами, а також збільшити ресурс буксових підшипників.

Основним видом пошкоджень рами візка є тріщини в її балках, що виникають при експлуатації. В рамі повідцевого візка найчастіше тріщини виникають у повідцевому кронштейні, а в рамі шпінтонного – в місцях кріплення шпінтонів у повздовжній балці [2].

Висновки

Проаналізовано конструкції різних типів рам візків, які експлуатуються на Харківському метрополітені та вказано на їх відмінності. Конструкція повідцевої рами є простішою в обслуговуванні та забезпечує кращу плавність ходу за рахунок пружних повідців буксового з'єднання. Тим часом на шпінтонному візку забезпечується більш жорстке з'єднання колісної пари з рамою візка, що підвищує його стійкість при більших навантаженнях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила технічної експлуатації метрополітенів України. Харків, 2015. 304 с.
2. Артеменко А. В., Чепурненко І. В., Мазанько Д. Г. Аналіз пошкоджень рам візків вагонів метрополітену. Збірник наукових праць ДП «УкрНДІВ». Рейковий рухомий склад. 2012. Вип. 6. С. 29-33.

Бірюков Сергій Віталійович — аспірант групи А - 1624, кафедра «Комп'ютерного моделювання та інтегрованих технологій обробки тиском», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, e-mail: Serhii.Biriukov@mit.khpi.edu.ua

Юрченко Олександр Анатолійович — канд. техн. наук, доцент кафедри КМІТ, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Bogie frames of domestic production for subway cars

Abstract

The article deals with the construction of frames of different types of subway bogies. The design features and malfunctions that may occur during operation are indicated.

Keywords: underground, carriage, carriage frame, structure, beam, leashes, spindle.

Biriukov Sergiy V. - postgraduate student of group A - 1624, Department of Computer Modelling and Integrated Pressure Processing Technologies, National Technical University 'Kharkiv Polytechnic Institute', Kharkiv, e-mail: Serhii.Biriukov@mit.khpi.edu.ua

Yurchenko Oleksandr A. - PhD, Associate Professor of the Computer modelling and integrated pressure processing technologies Department, National Technical University 'Kharkiv Polytechnic Institute'

САМОСИНХРОНІЗАЦІЯ ВІБРОЗБУДНИКІВ З КРАТНИМИ ЧАСТОТАМИ ОБЕРТАННЯ

Луцький національний технічний університет

Анотація

Розглядається практична можливість самосинхронізації двох бігармонічних дебалансних віброзбудників, встановлених на твердому тілі, що плоско коливається. Отримано рівняння повільних процесів встановлення синхронних режимів обертання віброзбудників; умову існування синфазного режиму руху.

Ключові слова: самосинхронізація, дебалансні віброзбудники, бігармонічний вібропривод, вібромашина, вібраційний момент.

Вступ

У багатьох випадках ефективність технологічних процесів помітно зростає при використанні вібромашин з бігармонічним режимом коливань робочого органу. За привод у таких машинах зазвичай використовують дебалансний чотиривальний вібратор, ротори якого зв'язані зубчастими передачами [1]. Такими вібраторами, зокрема, оснащено конструкції вібраційних конвеєрів, грохотів та концентраційних столів. Проте, відомо, що кінематична примусова синхронізація має низку істотних недоліків [1].

Мета дослідження – показати практичну можливість самосинхронізації віброзбудників дебалансного чотиривального вібратора.

Результати дослідження

Розглядається динамічна синхронізація віброзбудників бігармонічного чотиривального вібратора. Останній складається з двох пар дебалансних віброзбудників, частота обертання однієї з яких у два рази більше за іншу; віброзбудники в парах обертаються у протилежних напрямках. Досліджуються випадки часткового та повного усунення кінематичних передач у чотиривальному вібраторі. Перший випадок – самосинхронізація збудників лише з однаковими частотами обертання; при цьому, віброзбудники з кратними частотами залишаються з'єднаними зубчастими передачами (рис. 1). Другий випадок – самосинхронізація усіх віброзбудників.

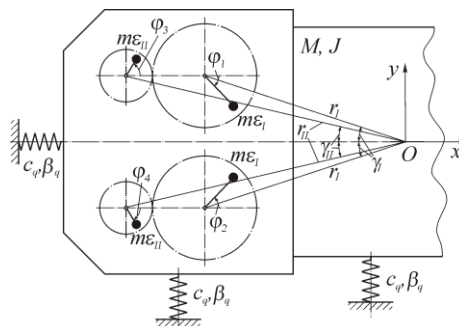


Рис. 1. Схема бігармонічного віброприводу

Для досліджень використовується підхід вібраційної механіки, метод прямого розділення рухів та інтегральний критерій стійкості синхронних рухів [1].

В результаті досліджень отримано основні рівняння вібраційної механіки, які описують повільні процеси встановлення синхронних режимів обертання віброзбудників; вирази для вібраційних моментів, які забезпечують динамічний зв'язок між збудниками; умови існування та стійкості практично цікавого синхронного режиму обертання. Аналізується стабільність розгляданого режиму. Продемонстровано, що в першому з зазначених випадків, стабільність синхронного режиму руху є достатньо високою. Вона, приблизно така сама, як у вібромашин з двома віброзбудниками, що обертаються у протилежні боки. Зазначимо, що саме такі вібромашини з віброзбудниками, що самосинхронізуються, знайшли найбільше використання.

У другому випадку, незважаючи на існуючий динамічний зв'язок між збудниками з кратними частотами, стабільність синхронного режиму не висока. Водночас, показано, що обертання збудників, відбувається зі сталим зсувом фаз щодо вібрації своєї гармоніки. Це робить можливим практичне використання бігармонічного привода з кінематично не зв'язаними збудниками.

Зазначається, що бігармонічний привод із збудниками, що само синхронізуються, дозволяє покращити пуск вібромашин, використовуючи для цього попарне (почергове) вмикання двигунів. Надаються рекомендації щодо вибору параметрів віброприводу. Аналітичні результати підтверджуються чисельним моделюванням явища самосинхронізації бігармонічних збудників.

Висновки

Встановлена можливість стабільного синхронного обертання віброзбудників бігармонічного чотириривального вібратора як без кінематичного зв'язку між роторами з однаковими частотами, так і без кінематичного зв'язку між усіма роторами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Blekhman I.I., Blekhman L.I., Dresig H. et al. Selected Topics in Vibrational Mechanics. Singapore et al.: World Scientific, 2004, 409 p.
2. Ярошевич М.П., Ярошевич Т.С. Динаміка розбігу вібраційних машин з дебалансним приводом. Монографія, 2010. Луцьк: ЛНТУ. 147с.
3. N. Yaroshevich, V. Grabovets, T. Yaroshevich et al. On the effect of vibrational capture of rotation of an unbalanced rotor. Mathematical Models in Engineering, 2023. Vol. 9, No. 2, pp. 81–93.

Ярошевич Микола Павлович – доктор техн. наук, професор кафедри галузевого машинобудування, Луцький національний технічний університет, Луцьк, e-mail: yaroshevichmp@gmail.com

Ярошевич Тетяна Серафимівна — канд. техн. наук, доцент кафедри таворознавства та експертизи в митній справі, Луцький національний технічний університет

Шовкомуд Олександр Володимирович — канд. техн. наук, доцент кафедри технологій легкої промисловості, Луцький національний технічний університет.

Self-synchronization of vibration exciters with multiple rotation frequencies

Abstract

The practical feasibility of self-synchronization of two biharmonic unbalanced vibration exciters mounted on a rigid body undergoing planar oscillations is examined. The equations governing the slow processes of establishing synchronous rotation modes of the exciters are derived, along with the condition for the existence of an syn-phase motion regime.

Keywords: vibration machine, biharmonic vibration drive, self-synchronisation of vibration exciters, vibrational torque.

Yaroshevich Mykola P. – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of industrial Engineering, Lutsk National Technical University, Lutsk, email : yaroshevichmp@gmail.com

Yaroshevich Tetjana S. – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Department of Commodity Science and Expertise in Customs Affairs, Lutsk National Technical University, Lutsk,

Shovkomud Olexander V. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Department of Light Industry Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk,

Аналіз методології прогнозування та забезпечення надійності процесів та апаратів механічних виробництв

Український державний університет науки і технологій ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» м. Дніпро, Україна

Анотація

В даній роботі було створено методіку формування інформаційно-аналітичного регламенту МВ, який стане єдиною інформаційною основою для підтримки прийняття рішень та оптимізації функціонування процесів та апаратів. Розроблено математичну постановку задачі оптимального календарного планування роботи. Створено математичну модель виробництва продукції та автоматизовано побудову графіку ППР. Обрано алгоритм пошуку оптимального розкладу випуску продукції та ремонтування обладнання

Ключові слова: математична модель, механічне виробництво, безаварійна робота, , якість системи керування, автоматизація, віртуальні моделі

Сучасний рівень та швидкий розвиток технологій у промисловості обумовлює все більш суворі вимоги до надійності функціонування виробничих процесів. Кожна непередбачувана поломка та вихід з ладу одиниці технологічного обладнання призводить до зупинки виробництва, що спричиняє значні матеріальні збитки, порушення циклу виробництва, втрати дорогої сировини та необхідності проведення вартісних ремонтних робіт.

Специфіка механічних виробництв (МВ) [1] робить особливо актуальним попередження виникнення непередбачуваних ситуацій, які можуть призвести до серйозних аварій, екологічних катастроф та людських жертв. Безаварійна ритмічна робота виробництва можлива лише при використанні системного підходу до забезпечення надійності функціонування процесів та апаратів МВ на всіх основних етапах життєвого циклу.

Аналіз існуючих досліджень з проблематики прогнозування та забезпечення надійності [2,3] функціонування процесів та апаратів МВ показує, що запропоновані підходи здебільшого орієнтовані на окремі фази життєвого циклу виробництв та не враховують взаємний вплив окремих завдань певних етапів на інші. Крім того, недостатньо уваги приділяється комплексній підготовці та підвищенню кваліфікації обслуговуючого персоналу, а отже і впливу цієї критично важливої складової на загальну надійність процесів.

Таким чином, для надання коректних прогнозів та забезпечення надійності функціонування виробництв вкрай актуальним є завдання розробки методології, що буде враховувати технологію створення та функціонування технічних систем, забезпечувати сумісність окремих етапів життєвого циклу та водночас сприятиме зниженню впливу людського фактору на надійність процесів та апаратів.

Тому врахувавши всі недоліки нами було запропоновано розробити методіку формування інформаційно-аналітичного регламенту МВ, який стане єдиною інформаційною основою для підтримки прийняття рішень та оптимізації функціонування процесів та апаратів. Такий регламент дозволяє інтегрувати інформацію про стан обладнання, технологічні процеси, показники надійності та ресурс різних вузлів та агрегатів у єдиний інформаційний простір відповідно до вимог CALS--технологій. Це забезпечує вищу ефективність та надійність роботи всіх підрозділів, залучених у процес виробництва на різних етапах життєвого циклу технічної системи. Регламент передбачає структурований опис всіх технологічних одиниць виробництва, паспортизацію обладнання з повною технічною документацією, історію експлуатації та ремонтів, бази даних типових несправностей та методів їх усунення, прогностичні моделі залишкового ресурсу вузлів.

Розроблено математичну постановку задачі оптимального календарного планування роботи всіх технічних систем цеху з урахуванням проведення планово-попереджувальних ремонтів обладнання в умовах обмеження кількості ремонтного персоналу. Створено математичну модель

виробництва продукції та автоматизовано побудову графіку ППР технологічного обладнання. Обрано алгоритм пошуку оптимального розкладу випуску продукції та ремонтування обладнання, методи балансування виробничих потужностей та технічного обслуговування, моделі оптимізації використання ремонтного персоналу. Розробляються підходи до мінімізації втрат від простоїв обладнання. Також триває дослідження можливостей створення віртуальних моделей лабораторного та промислового обладнання з застосуванням методів штучного інтелекту та розробка технологій багатокористувацького комп'ютерного доступу до них.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Нагорний В.М. Введення в технічну діагностику машин: навчальний посібник. - Суми : СДУ, 2011.
2. Нагорний В.М. Відмови машин та їх фізична природа: навчальний посібник. - Суми: СДУ, 2006
3. Володарський Є.Т. Статистична обробка даних: навчальний посібник / Є.Т. Володарський, Л.О. Кошева. - Київ: НАУ, 2008.

Свиридов Сергій Вячеславович, аспірант, Український державний університет науки і технологій ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» м. Дніпро, Україна, sviridov.sv82@gmail.com

Фурса Ольга Олександрівна, к.т.н., доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації, Український державний університет науки і технологій ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» м. Дніпро, Україна, fursa.olga.ua@gmail.com

Development of a prototype of a universal employee monitoring device

Abstract

In this paper, a methodology for the formation of information and analytical regulations of the MV was created, which will become a single information basis for supporting decision-making and optimizing the functioning of processes and devices. A mathematical formulation of the problem of optimal work scheduling has been developed. A mathematical model of production was created and the construction of the production schedule was automated. The algorithm for finding the optimal schedule of production and equipment repair is chosen.

Keywords: mathematical model, mechanical production, trouble-free operation, , quality of the control

Svyrydov Serhii, graduate student, Ukrainian State University of Science and Technology, Ukraine Dnipro, Ukraine, sviridov.sv82@gmail.com

Fursa Olha, PhD, associate professor, Department of Computer Integrated Technologies and Automation, Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Ukraine, fursa.olga.ua@gmail.com

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Анотація

Робота присвячена дослідженню інноваційної виміральної системи для безконтактного аналізу деформацій матеріалів під імпульсним навантаженням із застосуванням машинного зору та машинного навчання. Представлено архітектуру системи, яка поєднує високошвидкісні камери, алгоритми комп'ютерного зору та прогнозування ушкоджень.

Ключові слова: деформації матеріалів, машинне навчання, машинний зір, імпульсне навантаження, 3D-моделювання, цифрова кореляція зображень, безконтактне вимірювання, тріщини, класифікація пошкоджень.

Вступ

Традиційні методи дослідження деформацій мають обмеження при швидкоплинних навантаженнях. Інноваційні цифрові підходи дозволяють значно підвищити ефективність таких досліджень.

У запропонованій роботі використано високошвидкісні камери та алгоритми машинного зору [1, 3, 4] для створення тривимірної моделі деформацій матеріалів у реальному часі. Для створення тривимірної моделі деформацій матеріалів у реальному часі. Подальша обробка отриманих даних здійснюється за допомогою алгоритмів машинного навчання [1], що дозволяє виявляти приховані закономірності, автоматично класифікувати види руйнувань (мікротріщини, розриви, зсуви) та прогнозувати поведінку матеріалу під наступними навантаженнями.

Результати дослідження

У результаті побудовано функціональну архітектуру виміральної системи, що поєднує сучасні апаратні та програмні рішення. В основі – високошвидкісні стереоскопічні камери, які фіксують імпульсні навантаження з частотою до 1 млн кадрів за секунду. Вони дозволяють відтворити просторову модель деформації у режимі реального часу. Для забезпечення якості зображення використовуються імпульсні джерела світла, синхронізовані з камерами, що запобігає розмиттю кадрів при високій швидкості захоплення.

Отримані відеодані передаються до обчислювального блоку, обладнаного графічними процесорами (GPU), де вони обробляються із застосуванням алгоритмів комп'ютерного зору. Алгоритми аналізують динаміку тріщин, зсувів, локальних напружень і аномалій у структурі матеріалу. Далі дані надходять до модуля штучного інтелекту, який класифікує типи пошкоджень (мікротріщини, розриви, пластичні деформації) на основі попередньо навченої моделі [1, 4].

Програмне забезпечення дозволяє відображати дані у вигляді інтерактивних 3D-моделей та генерувати аналітичні звіти. Крім того, система має функцію прогнозування розвитку руйнувань на основі імітаційної моделі та історичних даних [2]. Система апробована на зразках полімерів, композитів і сплавів [2]. Виявлено, що автоматизований аналіз даних дозволяє підвищити точність виявлення руйнувань на 18–25% у порівнянні з класичними методами. Прогнозування поведінки матеріалів дозволяє зменшити кількість фізичних випробувань і перейти до гібридного моделювання.



Рис. 1. Принципова функціональна схема вимірювальної системи на базі машинного зору для дослідження імпульсних навантажень на випробувальних машинах

Висновки

Використання машинного навчання у процесі дослідження деформацій відкриває нові можливості для матеріалознавства. Запропонована система дозволяє безконтактно, точно й автоматизовано досліджувати механічні властивості матеріалів у складних умовах імпульсного навантаження.

Інтеграція таких систем у структуру універсальних розривних машин [3, 5] здатна забезпечити новий рівень ефективності в дослідницьких лабораторіях і промислових підприємствах. здатна забезпечити новий рівень ефективності в дослідницьких лабораторіях і промислових підприємствах. Надалі планується вдосконалення алгоритмів глибокого навчання для адаптивного прогнозування поведінки матеріалів в умовах комбінованого навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A. García-collado, R. Dorado-vicente, P.E. Romero, M.K. Gupta, “Recent Trends On The Mechanical Properties Of Additive Manufacturing,” *Applied Sciences*, Vol. 13, No. 12, Pp. 7067, 2023. Doi: [10.3390/App13127067](https://doi.org/10.3390/App13127067).
2. S. Jiang, T. Dong, Y. Zhan, W. Dai, M. Zhan, “Experimental Study On Improving The Mechanical Properties Of Material Extrusion Rapid Prototyping Polylactic Acid Parts By Applied Vibration,” *Applied Sciences*, Vol. 11, No. 4, Pp. 1820, 2021. Doi: [10.3390/App11041820](https://doi.org/10.3390/App11041820).
3. N. Mashiwa, T. Furushima, K. Manabe, “Novel Non-contact Evaluation Of Strain Distribution Using Digital Image Correlation With Laser Speckle Pattern Of Low Carbon Steel Sheet,” *Procedia Engineering*, Vol. 207, Pp. 1996-2001, 2017. Doi: 10.1016/J.Proeng.2017.04.065.
4. Amini, A., & Haghpanahi, M., *Machine Learning for Material Design and Engineering Applications*. Wiley-Blackwell, 2020.

Слабкий Андрій Валентинович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: Slabkiyandrey@gmail.com

Котик Сергій Іванович - аспірант кафедри галузевого машинобудування. Вінницького національно технічного університету. Вінниця. e-mail: sergii.kotik@gmail.com

Innovative methods for studying material deformation using machine learning

Abstract

This paper presents a study of an innovative non-contact measuring system for analyzing material deformations under impulse loading using machine vision and machine learning. The architecture integrates high-speed cameras, computer vision algorithms, and AI-based damage prediction tools.

Keywords: material deformation, machine learning, machine vision, impulse loading, 3D modeling, digital image correlation, non-contact measurement, cracks, damage classification.

Slabyi Andriy Valentynovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: Slabkiyandrey@gmail.com

Kotyk Serhii Ivanovych - postgraduate student of the Department of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: sergii.kotik@gmail.com

ПРОБЛЕМА АЕРОДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ МАЛОРОЗМІРНИХ ЕКРАНОПЛАНІВ

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна
Університет митної справи і фінансів, м. Дніпро, Україна

Анотація

Екраноплани – літальні апарати, що використовують принцип динамічної підтримки над підстильною поверхнею під час руху. Проблема широкого впровадження в практику таких апаратів пов'язана з відсутністю надійної теорії польоту за руху на критично низьких висотах. В представленій роботі ця проблема розглядається в контексті розвитку малорозмірних безпілотних апаратів, актуальність використання яких на сьогодні є беззаперечною. Розглянуті теоретичні основи стійкості апаратів та розглянуто питання визначення аеродинамічних характеристик апарату з використанням методу дискретних вихорів. У випадку криволінійної підстильної поверхні такі характеристики мають складну поведінку і суттєво впливають на стійкість польоту апарату.

Ключові слова: екраноплан, приземний ефект, безпілотний літальний апарат (БПЛА), маловисотний політ, аеродинамічна стійкість, метод дискретних вихорів, криволінійна поверхня

Рух літального апарату з використанням динамічної повітряної подушки називають ще рухом в зоні впливу екранного ефекту. Інтерес до апаратів, що використовують цей принцип руху наразі актуалізуються у зв'язку з можливістю використання їх надводні безпілотні апарати [1]. Забезпечення стійкості польоту літального апарату в зоні дії екранного ефекту є найскладнішою проблемою під час створення такого роду суден. Проте, на сьогодні, повною мірою цю проблему вирішити не вдалося.

Визначають статичну і динамічну стійкість. Статична стійкість означає, що коли порушується рівновага транспортного засобу, він буде прагнути повернутися в стан рівноваги. По суті, статична стійкість визначається напрямком сил і моментів, що діють на транспортний засіб відразу після прикладання збурень. Динамічна стійкість передбачає, що після збурення транспортний засіб буде коливатися навколо стану рівноваги, але в кінцевому підсумку коливання згасають, і транспортний засіб повертається в рівноважний стан. Статична стійкість не обов'язково передбачає існування динамічної стійкості. Ступінь динамічної стійкості, як правило, визначається часом, необхідним для загасання збурення до половини його початкової амплітуди. Аналогічно, міру динамічної нестійкості можна охарактеризувати як час, необхідний для подвоєння початкової амплітуди збурення.

Якщо статична стійкість літака в нормальному режимі польоту може бути забезпечена відповідним вибором положення центра ваги, то стійкість апарату може бути забезпечена тільки за рахунок відповідного проектування аеродинамічної конфігурації.

Загальноприйнятими критерієм повздовжньої статичної стійкості екранопланів є критерій Іррдова [2]

$$\left. \frac{dc_y}{d\alpha} \right|_{m_z=0} \frac{dm_z}{dh} < 0, \quad \left. \frac{dc_y}{dh} \right|_{m_z=0} \frac{dm_z}{d\alpha} > 0, \quad (1)$$

$$\left. \frac{dm_z}{d\alpha} \right|_{c_y=c_{yzn}} \frac{dc_y}{dh} > 0, \quad \left. \frac{dm_z}{dh} \right|_{c_y=c_{yzn}} \frac{dc_y}{d\alpha} < 0, \quad (2)$$

де c_y – коефіцієнт підйомної сили, m_z – коефіцієнт моменту тангажу, α – кут атаки, безрозмірна висота польоту над екраном. Оскільки на крейсерських режимах $\frac{dc_y}{dh} < 0$, $\frac{dm_z}{d\alpha} > 0$, отже критерії стійкості (1), (2) приймають вигляд

$$\left. \frac{dm_z}{d\alpha} \right|_{c_y=c_{y,zn}} < 0, \quad \left. \frac{dm_z}{dh} \right|_{c_y=c_{y,zn}} < 0. \quad (3)$$

де $c_{y,zn}$ – коефіцієнт підйомної сили для горизонтального польоту.

Отже для визначення стійкості польоту потрібно визначити аеродинамічні характеристики апарату. У разі криволінійного профілю поверхні, що характерно для водної поверхні, аеродинамічні характеристики мають складний нестационарний характер. В представленій роботі пропонується підхід до визначення аеродинамічних характеристик, що ґрунтується на методі дискретних вихорів. Такий підхід дає змогу проводити розрахунки над криволінійною поверхнею з прийнятними витратами обчислювальних ресурсів і прийнятною для інженерних рішень точністю.

Роботу виконано за фінансової підтримки Національного фонду досліджень України в рамках проекту «Обґрунтування аеродинамічних і проєктних параметрів високошвидкісного надводного безпілотного літального апарату», договір № 80/0170.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дреус А.Ю., Алексеєнко С.В., Дронь М.М., Кравець О.В., Кулик О.В., Сохацький А.В. Аеродинамічні аспекти проєктування безпілотних екранопланів: монографія/за заг. Ред А.Ю. Дреуса. –Д.: ДНУ, 2024, 180 с.
2. Kirill V. Rozhdestvensky, Wing-in-ground effect vehicles, Progress in Aerospace Sciences, Volume 42, Issue 3, 2006, 211-283, <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2006.10.001>

Дреус Андрій Юлійович, д.т.н., професор, зав. каф. аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, dreus_a@365.dnu.edu.ua

Сохацький Анатолій Валентинович, д.т.н., професор, професор кафедри транспортних систем і міжнародної логістики Університету митної справи та фінансів, Дніпро, Україна

Геті Кристина Віталіївна, к.т.н., доцент, доцент каф. аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

THE PROBLEM OF AERODYNAMIC STABILITY OF SMALL-SCALE WIG-CRAFTS

Abstract

Ekranoplans are ground-effect vehicles that utilize dynamic lift generated in close proximity to the surface during motion. One of the primary obstacles to their widespread application is the absence of a comprehensive and reliable theory describing flight dynamics at extremely low altitudes. This paper addresses this challenge within the framework of unmanned aerial vehicle (UAV) development—an area of growing strategic and technological significance. The study explores the theoretical foundations of vehicle stability and focuses on the determination of aerodynamic characteristics using the discrete vortex method. When operating over curved underlying surfaces, these aerodynamic properties exhibit complex behavior, which in turn exerts a critical influence on the stability of the vehicle.

Keywords: ekranoplane, ground effect, unmanned aerial vehicle (UAV), low-altitude flight, aerodynamic stability, discrete vortex method, curved surface

Dreus Andrii, Doctor of Engineering, Head of the Department of Fluid Mechanics and Energy and Mass Transfer, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Email: dreus_a@365.dnu.edu.ua

Sohatskyi Anatolii, Doctor of Engineering, Professor of the Department of Transport Systems and International Logistics, University of Customs and Finance, Dnipro, Ukraine

Heti Krystyna, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fluid Mechanics and Energy and Mass Transfer, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПРИХОПЛЕНІЙ КОЛОНІ БУРИЛЬНИХ ТРУБ ПІД ЧАС ЇЇ ВИВІЛЬНЕННЯ ІМПУЛЬСНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

¹Національний університет «Львівська політехніка»

²Люблінський технологічний університет, Польща

Анотація. Розглядається математична модель динамічних процесів у колоні бурильних труб під час її вивільненні від прихоплення у свердловині шляхом прикладання імпульсного навантаження. Хвильові процеси, які формуються в колоні труб, розглядаються у взаємодії колони з буровим розчином та стінками свердловини; бурильна колона моделюється рівнями поздовжніх коливань пружного стрижня; буровий розчин розглядається як неньютонівська рідина Бінгама; взаємодія колони з буровим розчином та стінками свердловини моделюється законами в'язкого та сухого тертя з урахуванням зміни розподілу сил тертя по довжині стрижня та в часі.

Досліджується вплив параметрів тертя, характеристик бурового розчину, явищ відбиття і накладання хвиль деформацій на процеси динамічної взаємодії та зусилля у колоні бурильних труб.

Ключові слова: бурильна колона, прихоплення колони бурильних труб, пружний стрижень, хвилі поздовжніх деформацій, імпульсне навантаження, в'язко-пластичний буровий розчин, в'язке та сухе тертя.

Дослідження динамічних явищ, що виникають під час буріння глибоких свердловин, становлять значний інтерес як з точки зору прикладного застосування так і з огляду на розв'язання достатньо складних задач динаміки багатокomпонентних систем, якими є бурові установки. Зокрема, у роботах [1–5] на основі уточнених моделей розглянуто динамічні процеси в механічних системах бурових установок, які включають взаємодію таких елементів як буровий інструмент, бурильна колона, свердловина, трансмісія, привід, підймальна система, конструкція бурової вежі та ін.

Сама можливість буріння глибоких свердловин і забезпечення його високих техніко-економічних показників істотно залежать від успішності подолання різноманітних ускладнень і аварійних ситуацій, що виникають безпосередньо у процесі буріння і є важко прогнозованими. Найпоширенішим і, водночас, найбільш трудомістким ускладненням є прихоплення колони бурильних труб, під яким розуміють повну втрату рухомості усєї колони бурильних труб або її певної ділянки, незважаючи на технологічні дії для приведення їх в рух. У найгіршому випадку неможливість ліквідації прихоплення призводить до повної втрати свердловини.

Один із методів усунення прихоплення полягає у прикладанні до бурильної колони ударного (імпульсного) навантаження, яке створюється спеціальним пристроєм надземного чи заглибленого розташування.

У доповіді розглядається нелінійна континуально-дискретна математична модель динамічних процесів у прихопленій колоні бурильних труб, які виникають під час вивільнення колони шляхом прикладання до її верхнього кінця ударного навантаження.

Бурильна колона моделюється пружним стрижнем, рух якого описується відповідним рівнянням поздовжніх коливань з урахуванням змінних по довжині та у часі сил тертя. Зв'язаний з колоною буровий інструмент і розташований на ній імпульсно-хвильовий пристрій моделюються зосередженими масами.

Приймається що у початковий момент часу колона перебуває у стані статичної рівноваги під дією розподілених по довжині сил власної ваги, виштовхувальних сил та сил тертя об буровий розчин й об стінку свердловини, зосереджених сил ваги бурового інструменту, ударного пристрою та реакції опорного вузла. Інтенсивність сил власної ваги і виштовхувальних сил, що діють на колону, визначається з урахуванням кута нахилу осі колони до вертикалі.

Під час ліквідації прихоплення імпульсно-хвильовий пристрій генерує короткі (імпульсні) навантаження у поздовжньому напрямку колони. Внаслідок цього у колоні виникають хвилі поздовжніх деформацій, пряма і відбиті від кінців хвилі поздовжніх деформацій взаємодіють між собою і можуть спричинити явища інтерференції. Внаслідок взаємодії труби колони із буровим розчином та стінкою свердловини виникають сили тертя, змінні по довжині колони і в часі.

За реологічними властивостями буровий розчин є неньютонівською в'язко-пластичною рідиною (із нелінійною залежністю в'язкості від швидкості деформацій зсуву). Приймається, що поведінка бурового розчину описується в'язко-пластичною моделлю Бінгама [6]. Сили в'язкого тертя моделюються за законом Кельвіна-Фойгта, сили сухого тертя – згідно з законом Кулона із обмеженням максимальної інтенсивності сили тертя колони об буровий розчин.

Під час розв'язання крайової задачі рівняння динамічної рівноваги дискретизуємо за просторовою координатою, внаслідок чого ця задача зводиться до нелінійної системи звичайних диференціальних рівнянь. До отриманої системи звичайних диференціальних рівнянь застосовується чисельне інтегрування по часовій змінній із початковими умовами щодо заданих переміщень (знайдених із умов статичної рівноваги системи у стані спокою) та нульових початкових швидкостей поперечних перерізів колони.

Досліджується вплив характеристик бурового розчину, параметрів сухого тертя колони об стінку свердловини, ефектів відбиття хвиль від кінців колони бурильних труб та інших чинників на коливальні процеси, напруження в бурильних трубах, а також взаємодію елементів системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tucker R. W., Wang C. An integrated model for drill-string dynamics. *Journal of Sound and Vibration*, 224 (1), (1999), pp. 123–165.
2. Kharchenko Ye., Hutyi A., Haiduk V. The influence of friction forces on longitudinal waves propagation in a drill string under release of a stuck borehole. *Tribologia*, 2018, Volume 282, Nr 6, pp. 79–87.
3. Zamanian M., Khadem S. E., Ghazavi M. R. Stick-slip oscillations of drag bits by considering damping of drilling mud and active damping system. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 59 (3–4), (2007), pp. 289–299.
4. Savula S., Kharchenko Y. Tłumienie drgań kolumny rur pompowo-sprężarkowych w odwiercie podziemnego zbiornika gazu. *Wiertnictwo Nafta Gaz*, 23(1), Kraków: AGH, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, 2006, S. 377–384.
5. Wada Ryota, Kaneko Tatsuya, Ozaki Masahiko, Inoue Tomoya, Senga Hidetaka. Longitudinal natural vibration of ultra-long drill string during offshore drilling. *Ocean Engineering*, 156, (2018), pp 1–13.
6. Bingham E.C. Fluidity and plasticity. McGraw-Hill, NY, 1922, 440p.

Харченко Євген Валентинович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Опір матеріалів та будівельна механіка», Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua;

Бутринський Дмитро Ігоревич, аспірант, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: dmytro.butrynsky@gmail.com.

Комادا Павел, доктор наук, професор, професор факультету електротехніки та комп'ютерних наук Люблінського технологічного університету, Люблін, p.komada@pollub.pl

MODELLING OF DYNAMIC PROCESSES DURING IMPACT-IMPULSE RELEASE OF A DRILL PIPE STRING FROM STICKING IN THE WELL

Abstract. *The model and phenomena of the dynamic processes in a drill string when it is released from the borehole sticking by applying the force impact impulse are considered. The wave processes in the drill string are considered in interaction with the drilling mud and borehole walls; the drill string is modeled by the equations of longitudinal oscillations of the elastic rod; the drilling mud is considered as a non-Newtonian Bingham fluid; the interaction with the drilling mud flow and the borehole walls is modelled by the forces of viscous and dry friction along the length of the rod. A system of nonlinear differential equations is solved numerically on the basis with the discretization one spatial coordinate and in time.*

The influence of friction parameters, characteristics of drilling mud, phenomena of reflection and superposition of strain waves on dynamic processes and forces in a drill pipe string is studied

Keywords: *drill string sticking, elastic rod, longitudinal deformation waves, impact force, drilling mud, dry and viscous friction.*

Kharchenko Yevhen, Doctor of Technical Sciences, Professor, Strength of Materials and Structural Mechanics Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua;

Dmytro Butrynsky, postgraduate, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: dmytro.butrynsky@gmail.com.

Paweł Komada, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Lublin University of Technology, Lublin, p.komada@pollub.pl

Є. В. Харченко
А. Р. Біловус

ПОПЕРЕЧНІ КОЛИВАННЯ БАШТОВОЇ БУРОВОЇ ВЕЖІ ЗІ ЗМІННИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПО ДОВЖИНІ

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Розглядаються вільні і вимушені поперечні коливання баштової вежі бурової установки. Розрахункова модель подана як балка Тимошенка зі змінними згинною жорсткістю, погонною масою і поздовжньою силою по довжині. Прийнято, що вежа встановлена на жорсткій платформі, обіпертій на пружну основу. Додатково вежа зв'язана із основою за допомогою пружних відтяжок. Прикріплені до вежі кронблок і площадки для обслуговування бурової установки розглядаються як тверді тіла. Для випадку гармонічних коливань балки Тимошенка зі змінними параметрами по довжині одержано диференціальні рівняння амплітудних функцій, які зведено до інтегральних рівнянь Вольтерра. Розрахунок коливань багатопрогової конструкції виконується із застосуванням матричного методу початкових параметрів.

Наводиться аналіз результатів розрахунків поперечних коливань вежі. Ілюструється, зокрема, вплив параметрів механічної системи споруди на характеристики власного частотного спектру.

Ключові слова: бурова вежа, багатопрогорова балка Тимошенка, змінні пружно-інерційні характеристики по довжині, диференціальні і інтегральні рівняння руху, вільні і вимушені коливання.

Сучасні бурові установки – це складні комплекси обладнання і споруд, які істотно розрізняються як за конструктивним виконанням, так і за технічними характеристиками. За функціональним призначенням можна виділити такі основні системи бурових установок: підіймальна, яка використовується для опускання у свердловину та піднімання колони труб; обертальна (система ротора), що приводить в обертальний рух виконавчий орган в процесі поглиблення свердловини; циркуляційна, за допомогою якої здійснюється промивання свердловини від розбуреної породи шляхом примусової циркуляції розчину. Для встановлення талевого механізму, пристроїв для механізації спуско-підіймальних операцій і розміщення бурових свічок застосовують бурові вежі або щогли.

Баштові бурові вежі мають порівняно велику жорсткість і високу міцність. Ці конструкції зазвичай виконують у вигляді чотиригранної піраміди, ребра якої виготовляють із труб або профільного прокату і з'єднують між собою у площинах граней стрижневими елементами. Споруди щоглового типу відрізняються низькою металоємністю, доброю транспортабельністю та відносною легкістю монтажу. Вони складаються з двох складених стрижнів, виконаних у вигляді просторових ферм, які пов'язані між собою у кількох місцях поперечними балками. А-подібні щогли встановлюють на опорні шарніри і додатково закріплюють у вертикальному положенні за допомогою підкосів. Для буріння свердловин на глибину до 3000 м переважно застосовують щогли А-подібної конструкції; якщо глибина буріння становить 3000 – 5000 м, – як щогли так і вежі; для буріння на глибину понад 5000 м – баштові бурові вежі.

Під час проведення динамічного розрахунку ноги бурових щогл і металоконструкції веж доцільно розглядати як суцільні бруси (складені стрижні). Поперечні коливання складених стрижнів з достатньою для практики точністю можна описати рівняннями з частинними похідними, що враховують, відповідно до теорії балок Тимошенка, деформації згину і зсуву та інерцію поступального і обертального руху елементарних відрізків складеного стрижня.

В інженерній практиці для дослідження коливань складених довгомірних конструкцій широко застосовують згадану теорію. На її основі у статті [1] розроблено модель поперечної асиметричної консольної балки з урахуванням її зсувних деформацій та спеціальних граничних умов. Аналітично-чисельний розв'язок задачі у вигляді амплітудної функції та кругової частоти коливань консольної балки отримано із застосуванням методу матриць переносу та ітераційного методу Ньютона-Рафсона. Точність та ефективність методу перевірено шляхом

порівняння теоретичних результатів з експериментальними даними та відомими аналітично-чисельними розв'язками.

У дослідженні [2] пропонується комплексна модель механічної системи, утвореної балкою Тимошенка і основою Власова з довільними граничними умовами, що забезпечуються введенням стримувальних пружин у поступальному та обертальному напрямках. Надійність теоретичних результатів підтверджується експериментальними даними, а також порівнянням аналітичних рішень замкнутої форми з результатами чисельного моделювання. Модель Власова-Тимошенка є достатньо універсальною, оскільки її можна дегенерувати в модель Власова-Ейлера-Бернуллі, модель Вінклера-Тимошенка та модель Вінклера-Ейлера-Бернуллі.

У праці [3] із застосуванням варіаційного принципу і методу матриць переходу, отримано аналітично-чисельні розв'язки для переміщень і внутрішніх зусиль балки Тимошенка змінного поперечного перерізу, встановленої на пружній основі Пастернака. Знайдений розв'язок порівнюється з результатами скінченно-різницевого аналізу, що підтверджує точність і достовірність запропонованої теорії. Результати теоретичних розрахунків, добре узгоджуються з результатами моніторингу споруджуваного технічного об'єкту. Побудована модель вироджується у модель Вінклера-Тимошенка, коли жорсткість зсувного шару фундаменту прямує до нуля.

Особливість розрахунку баштової бурової вежі на поперечні коливання полягає у тому, що вона має змінні по довжині згинну жорсткість, розподілену масу та поздовжню силу. Крім того, необхідно враховувати додаткові кріплення споруди до землі за допомогою відтяжок, а також наявність зв'язаних з вежею конструкцій у вигляді яскраво виражених твердих тіл, наприклад, площадок для обслуговування бурової установки, кронблока тощо. Все це значно ускладнює дослідження динамічних явищ, що виникають під час експлуатації бурових веж.

Аналіз вільних і усталених вимушених коливань багатопрогонових висотних конструкцій бурових установок можна здійснювати із застосуванням методу початкових параметрів. У цьому випадку найскладнішим завданням є побудова матриці переходу для прогону довгомірної конструкції зі змінними параметрами по довжині, що пов'язано з інтегруванням диференціального рівняння амплітудних функцій зі змінними коефіцієнтами. Розв'язанню зазначеного рівняння, формуванню перехідної матриці та застосуванню отриманих результатів для визначення частот і форм вільних коливань та амплітуд вимушених гармонічних коливань баштової бурової вежі присвячена дана праця. Запропонований спосіб математичного моделювання довгомірних металоконструкцій може бути використаний і в дослідженнях динаміки бурових щогл.

Нехай бурова вежа складається з $n-1$ прогону, довжини яких дорівнюють l_1, l_2, \dots, l_{n-1} відповідно. На межах прогонів передбачається наявність жорстких елементів масами m_1, m_2, \dots, m_n і центральними моментами інерції J_1, J_2, \dots, J_n , а також пружних опор, коефіцієнти жорсткості яких у горизонтальному та обертальному напрямках $c_{w1}, c_{w2}, \dots, c_{wn}; c_{\phi 1}, c_{\phi 2}, \dots, c_{\phi n}$, а коефіцієнти в'язкого тертя – $v_{w1}, v_{w2}, \dots, v_{wn}; v_{\phi 1}, v_{\phi 2}, \dots, v_{\phi n}$. За відсутності того чи іншого пружного елемента опори значення його пружно-дисипативних параметрів слід прийняти рівними нулю.

Рівняння коливань споруди впливають з умов динамічної рівноваги елементарного відрізка висотної конструкції, що розглядається як балка Тимошенка. Виведення таких рівнянь для стрижнів постійного поперечного перерізу з урахуванням дії осьових сил наведено у працях [4, 5]. Детальніший аналіз зусиль, що діють на нескінченно малий елемент, міститься у статті [6]. Відповідно до зазначеної методики складаємо рівняння поперечних коливань споруди, беручи до уваги, що момент інерції поперечного перерізу вежі, її розподілена маса та осьова сила є неперервними функціями поздовжньої координати,

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(EI_i \frac{\partial \varphi_i}{\partial x_i} \right) + \kappa_i GA_i \left(\frac{\partial w_i}{\partial x_i} - \varphi_i \right) - I_i \rho_i \frac{\partial^2 \varphi_i}{\partial t^2} = 0;$$

$$\rho_i A_i \frac{\partial^2 w_i}{\partial t^2} - \kappa_i GA_i \left(\frac{\partial^2 w_i}{\partial x_i^2} - \frac{\partial \varphi_i}{\partial x_i} \right) + N_i \frac{\partial^2 w_i}{\partial x_i^2} = 0 \quad (i=1, 2, \dots, n-1),$$

де E і G – модулі пружності першого та другого роду; I_i та A_i – осьовий момент інерції та площа поперечного перерізу прогону стрижня; ρ_i – усереднена густина матеріалу; κ_i – коефіцієнт, що

характеризує вплив деформації зсуву; N_i – поздовжня сила; w_i – прогин; φ_i – кут нахилу дотичної до зігнутої осі стрижня від дії згинальних моментів; x_i – поздовжня координата; t – час.

Для випадку гармонічних коливань балки Тимошенка зі змінними параметрами по довжині одержано диференціальні рівняння амплітудних функцій, які зведено до інтегральних рівнянь Вольтерра. Розрахунок коливань багатопрогонової конструкції виконується із застосуванням матричного методу початкових параметрів.

У доповіді наводиться аналіз результатів розрахунків вільних і вимушених поперечних коливань вежі. Ілюструється, зокрема, вплив пружно-інерційних параметрів механічної системи та осового навантаження на характеристики власного частотного спектру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Xiao Z, Zhang R, Dai H. Dynamic characteristics analysis of variable cross-section beam under thermal vibration environment. Structures. 2024;61:105941. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.105941>
2. Wang Z, Shi C, Gong C, Cao C, Peng Z, Sun Y. Difference solutions for responses of foundation-beams with arbitrary boundary conditions considering spatial soil variability and its applications. Computers and Geotechnics. 2022;151:105002. <https://doi.org/10.1016/J.COMPGeo.2022.105002>
3. Ling T, Wu X, Huang F, Xiao J, Sun Y, Feng W. Variable cross-sections functionally graded beams on Pasternak foundations: An enhanced interaction theory for construction applications. Archive of Applied Mechanics. 2024;94:1-16. <https://doi.org/10.1007/s00419-024-02562-0>
4. Cheng F, Tseng W. Dynamic Matrix of Timoshenko Beam Columns. Journal of the Structural Division. 1973;99;3:527-549. <https://doi.org/10.1061/JSDEAG.0003464>
5. Howson W, Williams F. Natural frequencies of frames with axially loaded Timoshenko Members. Journal of Sound and Vibration. 1973;26;4:503-515. [https://doi.org/10.1016/S0022-460X\(73\)80216-0](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(73)80216-0)
6. Thornton W, Gorzynski J. - Discussion of "Dynamic Matrix of Timoshenko Beam Columns". Journal of the Structural Division. 1973;99;12:2502-2504. <https://doi.org/10.1061/JSDEAG.0003680>

Харченко Євген Валентинович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Опір матеріалів та будівельна механіка», Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua;

Біловус Андрій Романович, аспірант, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: andrii.r.bilovus@lpnu.ua.

TRANSVERSE VIBRATIONS OF A DRILLING ROOF WITH VARIABLE PARAMETERS ALONG THE LENGTH

Abstract. Free and forced transverse oscillations of a drilling rig tower are considered. The computational model is represented as a Timoshenko beam with variable bending stiffness, running mass, and longitudinal force along the length. It is assumed that the tower is mounted on a rigid platform supported by an elastic base. Additionally, the tower is connected to the base by means of elastic braces. The crown block and rig service platforms attached to the tower are treated as rigid bodies. For the case of harmonic oscillations of a Timoshenko beam with variable parameters along its length, the differential equations of the amplitude functions are obtained and reduced to Volterra integral equations. Oscillations of a multi-span structure are calculated using the matrix method of initial parameters. An analysis of the results of calculations of transverse oscillations of a drill tower is presented.

Keywords: drilling tower, multi-span Timoshenko beam, variable elastic-inertial characteristics along the length, differential and integral equations of motion, free and forced vibrations.

Kharchenko Yevhen, Doctor of Technical Sciences, Professor, Strength of Materials and Structural Mechanics Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua;

Bilovus Andriy, postgraduate, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: andrii.r.bilovus@lpnu.ua.

FEATURES OF THE DYNAMIC PROCESSES IN CONTROL SYSTEMS OF EMBEDDED DRIVES OF BELT CONVEYORS WITH VARIABLE LOAD ON THE WORKING SECTION

Vinnitsia National Technical University¹
Lublin University of Technology²

Abstract

Modern designs of belt conveyors have been considered. The types of uneven load distribution and its impact on the control system of the built-in drive of the belt conveyor have been analyzed. It is proposed to use a control system for the built-in drive of the belt conveyor equipped with a control device that ensures continuous operation during overload conditions.

Keywords: embedded drive, belt conveyor, dynamic processes, variable load.

Modern belt conveyors are widely used in agriculture (see Fig. 1), construction, mining, and other industries due to their automation level, reliability, controllability, and energy efficiency indicators [1, 2, 3]. Embedded hydraulic drives for belt conveyors are gaining popularity, as they ensure compactness, improved reliability, increased energy efficiency, and reduced maintenance costs compared to other drive types [4, 5]. During operation, belt conveyors are exposed to various types of variable loading, which negatively affect their durability [6, 7]. Dynamic loads (arising during startup, shutdown, or speed change, which may lead to oscillations and vibrations) and unevenly distributed loads (caused by material heterogeneity or uneven belt loading, potentially resulting in local overloads) significantly impact the control system of embedded drives, as shown in Fig. 2 [8, 9, 10].



Fig. 1. Kwik-Belt conveyor by Norwood Sales

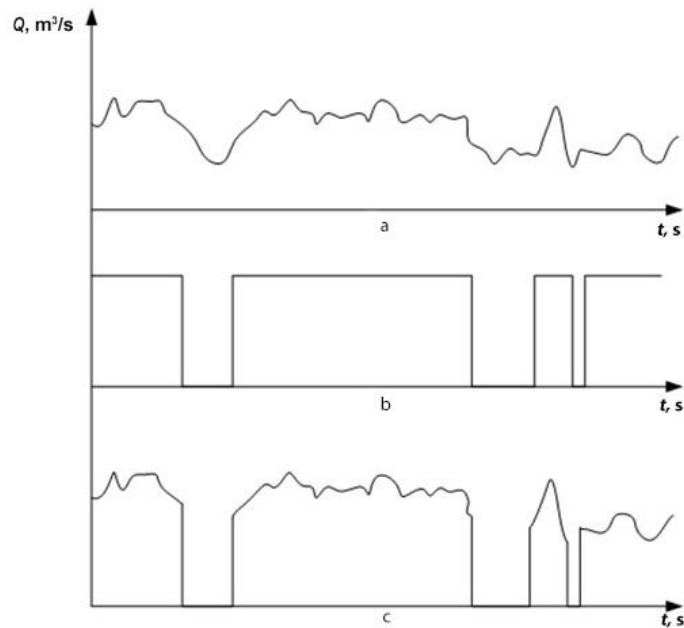


Fig. 2. Uneven load distribution: a – continuous; b – pulse; c – actual

To ensure uninterrupted conveyor operation under overload conditions, the research team proposes using a control system for the embedded hydraulic drive with a control device (see Fig. 3) [11, 12]. The control device is a two-stage valve: the first stage (1) controls the pressure in the pressure line of the control system, and the second stage (2) manages the flow of working fluid to the backup hydraulic motor and activates the backup hydraulic pump. By using the backup hydraulic motor and pump, power shortages during overload conditions are overcome, and constant movement speed of the working strand is ensured.

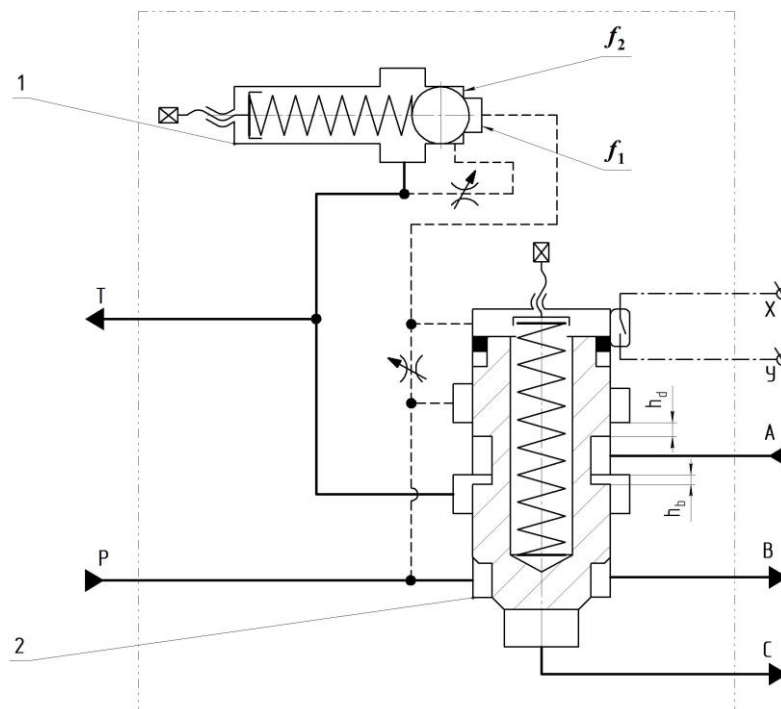


Fig. 3. Control device of the embedded hydraulic drive for the belt conveyor

A comprehensive study was conducted to determine the optimal parameter ratios for the control system of the embedded hydraulic drive of the belt conveyor [13, 14], which ensure efficient operation under uneven load distribution. The response of the control system of the embedded hydraulic drive was examined under two types of loads: step and trapezoidal (see Fig. 4, a and b).

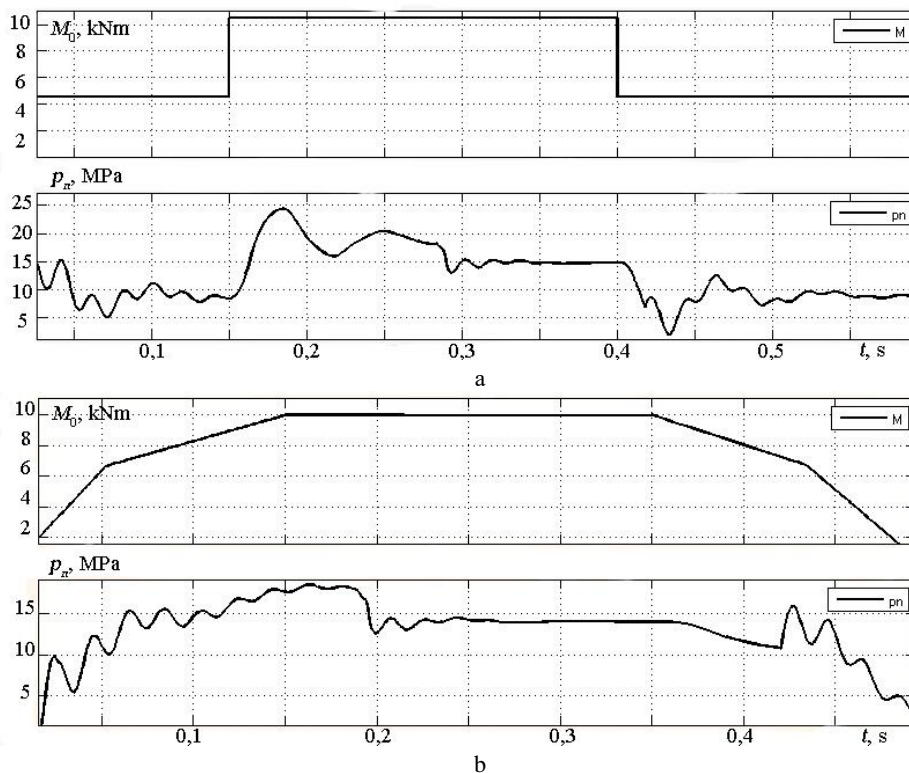


Fig. 4. Pressure response $p_n(t)$ in the pressure line of the control system due to the control device under the influence of load $M_0(t)$:
a – step change in load on the working strand;
b – trapezoidal change in load on the working strand

An important aspect of modern control systems is their level of automation. Thus, a belt conveyor equipped with a hydraulic drive control system including a control device and monitoring elements can ensure equipment condition monitoring, automatic speed regulation, predictive maintenance, and integration with other systems to optimize equipment operation processes.

REFERENCES

1. Каталог сайту фірми Norwood Sales. Електронний ресурс: <https://www.norwoodsales.com/manuals#kwikbelt>
2. Polishchuk L., Piontkevych O., Burdeinyi M., Trehubov V. Justification for choosing the type of belt conveyor drive. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця: ВНТУ, 2024. № 1 (19). С. 115–122. DOI: 10.31649/2413-4503-2024-19-1-115-122
3. Козлов Л. Характеристики мехатронного приводу під час просторового руху маніпулятора / Л. Козлов, С. Репінський, О. Паславська, О. Піонткевич // Наукові праці Вінницького національного технічного університету, 2017. – № 2. – 9 с. Електронний ресурс: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/507>
4. Поліщук Л. К. Динаміка вмонтованого гідроприводу конвеєрів мобільних машин [Текст] : монографія / Л. К. Поліщук. Вінниця : ВНТУ, 2018. 240 с.
5. Yang M. Study on the Digital hydraulic driving system of the belt conveyor. *Machines*, 10(6), 2022. P. 14. DOI: 10.3390/machines10060417
6. Поліщук Л. К. Вмонтовані гідравлічні приводи конвеєрів з гнучким тяговим органом, чутливі до зміни навантаження: монографія / Л. К. Поліщук, О. О. Адлер. Вінниця : ВНТУ, 2010. 184 с.
7. Feng Y., Zhang M., Li G., Meng G. Dynamic characteristic analysis and startup optimization design of an intermediate drive belt conveyor with non-uniform load. *Science Progress*, 103(1), (2020). pp. 1-20 <https://www.jstor.org/stable/27154949>
8. Polishchuk L. Dynamics of the conveyor speed stabilization system at variable loads / L. Polishchuk, O. Khmara, O. Piontkevych, O. Adler, A. Tungatarova, A. Kozbakova. *Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 2022. Vol. 12. No. 2. P. 60-63. DOI: 10.35784/iapgos.2949
9. Khmara L. A. Algorithm to calculate work tools of machines for performance in extreme working conditions / L. A. Khmara, S. V. Shatov, L. K. Polishchuk, V. O. Kravchuk, P. Kisala, Y. Amirgaliyev, M. Junisbekov. In *Mechatronic Systems 1*, 2021. P. 29- 37. Routledge. DOI 10.1201/9781003224136-3
10. Березюк О.В. Аналітичне дослідження математичної моделі гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвоза // Промислова гідравліка і пневматика. 2011. № 34(4). С. 80-83.
11. Polishchuk L. Dynamics of adaptive drive of mobile machine belt conveyor / L. Polishchuk, O. Piontkevych // Proceedings of 22nd International Scientific Conference «MECHANIKA 2017». Kaunas University of Technology, Lithuania, 19 May 2017. P. 307 – 311.

12. Піонткевич О. В. Вплив параметрів системи керування гідروприводом мобільної робочої машини на динамічні характеристики [Текст] / О. В. Піонткевич // Вісник машинобудування та транспорту. 2016. № 2(4). С. 68–76.

13. Поліщук Л. К. Аналіз впливу параметрів системи керування на динамічні процеси гідропривода стрічкового конвеєра [Текст] / Л. К. Поліщук, О. В. Піонткевич, О. О. Коваль // Промислова гідравліка і пневматика, 2016. № 2(52). С. 37-47.

14. Polishchuk L. Application of hydraulic automation equipment for the efficiency enhancement of the operation elements of the mobile machinery / L. Polishchuk, L. Kozlov, Y. Burennikov, V. Strutinskiy, V. Kravchuk, Informatyka, Automatyka, Pomiarы w Gospodarce i Ochronie Srodowisk 9(2), 2019. P. 72–78. DOI: 10.5604/01.3001.0013.2553

Polishchuk Leonid — Doctor of Engineering Sciences, Head of Department of Industrial Engineering, Vinnytsya National Technical University, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com

Piontkevych Oleh — Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsya National Technical University, Vinnytsya, e-mail: piontkevych@vntu.edu.ua

Smolarz Andrzej — Dr. Hab. Eng., Professor of the Department of Electronics and Information Technology, Lublin University of Technology, Lublin, Poland, e-mail: a.smolarz@pollub.pl

Svietlov Artem — postgraduate of the Department of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsya National Technical University, Vinnytsya

Особливості перебігу динамічних процесів в системах керування вмонтованих приводів стрічкових конвеєрів із змінним навантаженням на робочій ланці

Анотація

Розглянуто сучасні конструкції стрічкових конвеєрів. Проаналізовано типи нерівномірного розподілення вантажу та вплив його на систему керування вмонтованого приводу стрічкового конвеєра. Запропоновано використовувати систему керування вмонтованого приводу стрічкового конвеєра із пристроєм керування, який забезпечує його безперервну роботу під час режиму перевантаження.

Ключові слова: вмонтований привід, стрічковий конвеєр, динамічні процеси, змінне навантаження.

Поліщук Леонід — д.т.н., проф., завідувач кафедри галузеве машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com

Піонткевич Олег — к.т.н., доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: piontkevych@vntu.edu

Смолаж Анджей — доктор хаб. інж., професор кафедри електроніки та інформаційних технологій, Люблінського університету технологій, м. Люблін, Польща, e-mail: a.smolarz@pollub.pl

Светлов Артем — аспірант групи 133-24а, Інститут докторантури та аспірантури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ФІБРОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ В РОБОЧОМУ ПРОСТОРИ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Анотація

У роботі розглянуто динаміку процесу осадження частинок фібрових елементів з поліпропілену на внутрішній поверхні перфорованого циліндра установки запропонованої конструкції. Такий процес є характерним для виробництва циліндричних полімерних виробів армованої структури. Метою дослідження є побудова математичної моделі руху фібрових частинок у повітряному потоці з наступним утворенням ущільненого шару, що слугує армувальним елементом майбутнього виробу.

Ключові слова: фібра, осадження, перфорований циліндр, повітряний потік, математичне моделювання, армування, полімерні вироби

Виробництво полімерних виробів, зокрема на основі поліпропілену, є однією з технологій, що стрімко розвиваються у багатьох галузях включаючи машинобудівну. Для підвищення механічної міцності, зносостійкості та довговічності таких виробів активно впроваджуються методи фібрового армування, зокрема за допомогою пропіленових волокон.

Забезпечення рівномірного осадження фібри на внутрішню або зовнішню поверхню форми за допомогою аеродинамічного або відцентрового перенесення є технічно складним процесом, який потребує точного контролю умов формування. У зв'язку з цим актуальним є створення математичних моделей, що описують динаміку осадження фібрових частинок у потоці повітря в умовах дії елементів робочого органу, що сприяють утворенню складного багатоконтурного руху повітряного потоку характерного для установки, конструкція якої є частиною даного дослідження.

Конструкція установки, що представлено на рисунку 1, передбачає наявність ротора з лопатями, який обертається з певною швидкістю та створює високо інтенсивний внутрішній повітряний потік турбулентного характеру. Частинки фібри, які подаються до камери установки, захоплюються потоком повітря і переміщуються спочатку в осьовому напрямку до робочої зони установки, а потім поступово переходять в обертальний рух за рахунок дії відцентрових сил та спрямовуються до стінки циліндру на поверхні якої є отвори. Після осадження фібри на поверхні циліндру відбувається їх часткове ущільнення.

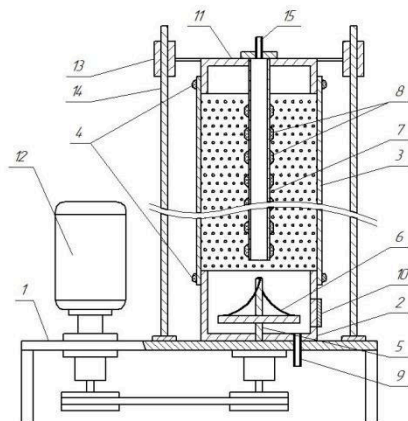


Рисунок 1 – Установка формування фібро-полімерних труб

Циліндр – перфорована оболонка яка виконує функцію фільтруючого елемента, через який відводиться повітря, що забезпечує формування щільного та рівномірного армувального шару. Геометрія лопатей ротора, швидкість його обертання, а також характеристики повітряного потоку відіграють ключову роль у забезпеченні керованості процесу.

Запропонована модель враховує вплив тангенціального, осевого та радіального компонентів швидкості потоку повітря, сили опору фібри з урахуванням її геометрії, обертання ротора з лопатями, що створюють направлений турбулентний рух, міжчастинкової взаємодії у вигляді ефективного коефіцієнта дифузії.

Математична модель базується на рівняннях механіки руху частинок у газовому середовищі, а також на аналітичному описі розподілу швидкості у турбулентному потоці. Особливу увагу приділено визначенню граничної швидкості осадження фібрових елементів залежно від конструктивних параметрів установки та властивостей середовища.

Результатом розробки моделі є можливість розрахувати зони найінтенсивнішого осадження фібрових частинок, прогнозувати густину та однорідність формованого шару, оптимізувати конструктивні параметри установки (діаметр ротора, частоту обертання, кут нахилу лопатей, щільність перфорації), задати режими, за яких забезпечується формування рівномірного армувального шару без втрат фібри в повітряному потоці.

Володимир Володимирович Блашко, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри, доцент кафедри Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків. Blazhko.vladimir@kname.edu.ua

Анна Ігорівна Аніщенко, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків. Anna.Anishchenko@kname.edu.ua

Кулаєнко Олег Олександрович кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків. Oleh.Kulaienko@kname.edu.ua

Рябушко Андрій Валерійович, старший викладач кафедри Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків. Andrii.Riabushko@kname.edu.ua

MODELING THE BEHAVIOR OF FIBROUS ELEMENTS IN THE WORKING SPACE OF A FORMING UNIT

Abstract

The study considers the dynamics of polypropylene fiber particle deposition on the inner surface of a perforated cylinder within a custom-designed forming unit. This process is typical for the production of cylindrical polymer products with a reinforced structure. The aim of the research is to develop a mathematical model of fiber particle motion in an air stream, which leads to the formation of a compacted layer that acts as a reinforcing element in the final product.

Keywords: fiber, deposition, perforated cylinder, air flow, mathematical modeling, reinforcement, polymer products

Vladimir Blazko, PhD, Associate Professor, Head of Department, Associate Professor, Department of Automation of Computer-Integrated Technologies і O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv. Blazhko.vladimir@kname.edu.ua

Anna Anishchenko, PhD, Associate Professor, Associate Professor, Department of Automation of Computer-Integrated Technologies O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv. Anna.Anishchenko@kname.edu.ua

Kulaienko Oleh Oleksandrovych, PhD, Associate Professor, Associate Professor, Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Kharkiv National University of Urban Economy named after O. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine Oleh.Kulaienko@kname.edu.ua

Riabushko Andrii Valeriiovych, Senior Lecturer of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Kharkiv National University of Urban Economy named after O. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine Andrii.Riabushko@kname.edu.ua

ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗВІДМОВНОСТІ АМОРТИЗАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація: розглянуто сучасні підходи до підвищення безвідмовності амортизаторів як ключових елементів підвісок транспортних засобів. Акцент зроблено на конструкційні, матеріалознавчі та технологічні засоби забезпечення довговічності й надійності, що відповідає тенденціям розвитку машинобудування та зростаючим вимогам до комфорту та безпеки експлуатації транспорту.

Ключові слова: транспортний засіб, амортизатор, надійність, безвідмовність, довговічність, модернізація, випробування.

Актуальність дослідження

Сучасний розвиток машинобудування ставить перед конструкторами та дослідниками завдання забезпечити надійну та довговічну експлуатацію механічних систем, зокрема транспортних засобів. У цьому контексті безвідмовність амортизаторів виступає як критично важливий чинник, оскільки саме ці елементи відповідають за гасіння коливань, зменшення вібрацій та захист інших вузлів ходової частини від динамічних навантажень. Підвищення ефективності амортизаторів дозволяє не лише забезпечити комфорт пасажирів, а й значно продовжити ресурс транспортного засобу в цілому.

Стан амортизаторів безпосередньо впливає на стійкість руху автомобіля, динамічну поведінку під час маневрування, а також на рівень зношення інших складових підвіски. Надійна робота амортизаторів є запорукою безпечного пересування, особливо в умовах інтенсивної експлуатації чи несприятливих дорожніх умов. Попри значні досягнення в галузі проектування та виготовлення цих пристроїв, у процесі експлуатації часто виникають відмови, пов'язані зі складними умовами навантаження, зношенням ущільнювачів, втратою герметичності, перегрівом, а також впливом агресивного зовнішнього середовища та недостатнім технічним обслуговуванням.

З метою забезпечення безвідмовної роботи амортизаторів доцільно впроваджувати комплекс технічних рішень, які охоплюють як інженерну модернізацію, так і інноваційні матеріалознавчі підходи. Зокрема, перспективним напрямом є оптимізація конструкцій, впровадження однотрубних систем із вдосконаленими напрямними втулками, використання нових зносостійких еластомерів і корозійностійких сплавів, а також покриттів із низьким коефіцієнтом тертя. Суттєве значення має впровадження технологічних інновацій, таких як активні або напівактивні амортизатори, які адаптуються до умов руху, а також автоматизовані системи діагностики стану, що дозволяють виявляти ознаки зниження ефективності ще до настання відмови.

Ефективним засобом підвищення надійності є також стендові випробування, що моделюють реальні умови експлуатації й дозволяють завчасно визначити слабкі місця конструкцій, а також скоригувати параметри для досягнення необхідного ресурсу. Поєднання конструктивних, матеріалознавчих і технологічних рішень у межах комплексного підходу сприяє формуванню надійної, довговічної амортизаційної системи, здатної витримувати інтенсивні навантаження й адаптуватися до змінних умов експлуатації.

Висновок

У підсумку, підвищення безвідмовності амортизаторів потребує системного підходу, що включає як наукові дослідження, так і практичну реалізацію інновацій у сфері конструювання, матеріалознавства та діагностики. Це не лише забезпечить ефективну роботу транспортних засобів, але й сприятиме підвищенню загального рівня безпеки та комфорту під час їх експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боровський Є. І., Грабко О. О. Надійність машин та обладнання. — К.: Ліра-К, 2018. — 320 с.
2. Горбачов О. М., Стрельченко В. І. Підвіски автомобілів. — Харків: ХНАДУ, 2020. — 252 с.
3. Козак М. І., Пилипенко В. П. Автомобільні амортизатори: конструкція, діагностика, ремонт. — Львів: Техніка, 2017. — 180 с.
4. ISO 1940-1:2003. Mechanical vibration – Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state – Part
5. Litak G., Borowiec M., Rusinek A. Dynamic behavior and diagnostics of automotive shock absorbers. Journal of Sound and Vibration, 368, 208–220, 2016.
7. Беляєв В. І., Левченко П. П. Моделювання та випробування амортизаторів транспортних засобів. — Дніпро: НГУ, 2019. — 144 с.
8. Ebert D., Koch K. Advanced damper technologies for vehicle suspension systems. SAE Technical

Ляховченко Сергій Сергійович - аспірант кафедри «Технологій та автоматизації машинобудування» Вінницького національного технічного університету, e-mail: lyahovchenko@gmail.com , 21021, Україна, Вінницька обл., м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

Котик Сергій Іванович - аспірант кафедри галузевого машинобудування. Вінницького національного технічного університету. e-mail: sergii.kotik@gmail.com 21021, Україна, Вінницька обл., м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95

Слабкий Андрій Валентинович, к.т.н., доцент, кафедри «Галузеве машинобудування», Вінницького національного технічного університету, e-mail: Slabkiyandrey@gmail.com, 21021, Україна, Вінницька обл., м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

Approaches to Enhancing the Reliability of Shock Absorbers

Abstract: Modern approaches to increasing the reliability of shock absorbers as key elements of vehicle suspensions are considered. The emphasis is on structural, material science and technological means of ensuring durability and reliability, which corresponds to the trends in the development of mechanical engineering and the growing requirements for comfort and safety of transport operation.

Keywords: vehicle, shock absorber, reliability, durability, modernization, testing.

Serhiy Serhiyovych Lyakhovchenko, Vinnytsia National Technical University, postgraduate student of the Department of "Technologies and automation of mechanical engineering", e-mail: lyahovchenko@gmail.com , 21021, Ukraine, Vinnytsia region, Vinnytsia, Khmelnytskyi Highway, 95.

Kotyk Serhii Ivanovych - postgraduate student of the Department of Industrial Engineering. Vinnytsia National Technical University. e-mail: sergii.kotik@gmail.com.

Slabiy Andriy Valentynovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University. e-mail: Slabkiyandrey@gmail.com, Vinnytsia region, Vinnytsia, Khmelnytskyi Highway, 95.

Є. В. Харченко
В. Й. Чабан
А. Р. Біловус
А. П. Охримович

ЗБУДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ РОТОРА І СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА У ПЛОЩИНІ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Розглядаються математичні моделі динамічних процесів в асинхронних двигунах, побудовані на основі урахування взаємозв'язку електромагнітних явищ в електричній машині і механічних коливальних явищ. У першому випадку – для двигунів найбільш поширених конструкцій – приймається, що ротор встановлений у статорі на абсолютно жорстких опорах, а статор на основі – на податливих опорах. При цьому вісь обертання ротора відносно статора є нерухомою. У другому випадку – для спеціальних двигунів великої потужності – розглядається більш складна задача, оскільки приймається, що статор і ротор встановлені на індивідуальних опорах; статор жорстко зв'язаний з основою, а опори ротора характеризуються податливістю у зв'язку з деформівністю валу і підшипникових вузлів. При цьому вісь обертання ротора відносно статора змінює своє положення і повітряний зазор стає функцією кутової координати і часу.

Наводиться результати розрахунків вібраційних процесів у асинхронних двигунах. Ілюструється, зокрема, вплив пружно-дисипативних параметрів опор статора на максимальні значення моментів сил пружності у цих опорах і максимальні кутові переміщення статора.

Ключові слова: асинхронний двигун, нестационарні режими роботи, моделювання механічних та електромагнітних коливальних явищ, вібрації ротора і статора, урахування податливості опор і мінливості повітряного зазору.

Питанням математичного моделювання вібрацій асинхронних двигунів як з постійним, так і зі змінним повітряним зазором у літературі приділяється велика увага. Як відзначається у праці [1], вібраційні явища у двигунах можуть призвести до поломок, несправностей та аномального шуму в електричних машинах. На основі виявлення та аналізу шуму і вібрації можна встановити та усунути несправності двигуна. Це має істотне значення не лише для забезпечення працездатності виробничого устаткування, а й для запобігання нещасним випадкам.

У статті [2] наведено результати досліджень сумісних коливань двигуна, редуктора та рами візка тягового агрегату, що проведені із застосуванням багатовимірних моделей скінченних елементів. Досліджено рівні вібраційної активності елементів транспортувальної машини з урахуванням функціонування системи керування приводом у всьому діапазоні робочих швидкостей.

З метою зниження впливу динамічних навантажень на роботу привідних систем застосовують керування імпедансом. У статті [3] ця задача розв'язується із застосуванням регулятора моменту або регулятора швидкості. Аналіз виконуються в дискретному часі. Порівнюються продуктивність, пасивність та стабільність схем контролерів. Обговорюються емуляція імпедансу, а також властивості затухання динамічних збурень.

Результати дослідження шумів і вібрацій асинхронних двигунів знайшли широке застосування у технічній діагностиці, наприклад, для виявлення несправностей підшипників кочення [4].

У нинішній час існує зростаючий попит на ефективні електродвигуни у різних галузях промисловості, зокрема, у такій галузі як випуск електромобілів [5]. Під час розроблення автомобільних електродвигунів необхідно враховувати їх шум та вібрацію. Електродвигуни, що складаються зі статора та ротора, генерують крутний момент розподілених електромагнітних сил взаємодії елементів двигуна. Оскільки ці сили мають коливальний характер у часі, вони

викликають конструкційну вібрацію як статорів, так і роторів. У згаданій статті наводиться аналіз вимушених коливань асинхронних двигунів в експлуатаційних умовах.

Діагностика несправностей у трифазних асинхронних машинах має вирішальне значення у промисловому середовищі, де для виявлення несправностей перевагу надають неінвазивним методам, таким як акустичний аналіз та термографія. Акустика пропонує практичний та ефективний спосіб ідентифікації специфічних звукових сигнатур, пов'язаних з різними несправностями, без необхідності використання датчиків, встановлених безпосередньо на машині. Несправності типу дисбалансу статора генерують характерні акустичні сигнали, які можна легко проаналізувати. Методи, засновані на інтелектуальній класифікації звуків машин, дають хороші результати у цій галузі. Однак, незважаючи на прогрес, все ж існує потреба у створенні більшої бази даних та кращої класифікації несправностей за різними параметрами.

Точна характеристика впливу кожної несправності, як на машину, так і на її джерело живлення, може поліпшити класифікацію несправностей та посприяти більш ранній та точній діагностиці. Метою статті [6] є вивчення характеристик акустичних сигналів, що подаються незбалансованим трифазним джерелом живлення або джерелом з однією відсутньою фазою для виявлення перших ознак несправності та полегшення їх класифікації на основі акустичних та електричних вимірювань.

У даній доповіді розглядаються математичні моделі динамічних процесів в асинхронних двигунах, побудовані на основі урахування взаємозв'язку електромагнітних явищ в електричній машині і механічних коливальних явищ. У першому випадку – для двигунів найбільш поширених конструкцій – приймається, що ротор встановлений у статорі на абсолютно жорстких опорах, а статор на основі – на податливих опорах. При цьому вісь обертання ротора відносно статора є нерухомою. У другому випадку – для спеціальних двигунів великої потужності – розглядається більш складна задача, оскільки приймається, що статор і ротор встановлені на індивідуальних опорах; статор жорстко зв'язаний з основою, а опори ротора характеризуються податливістю у зв'язку з деформівністю валу і підшипникових вузлів. При цьому вісь обертання ротора відносно статора змінює своє положення і повітряний зазор стає функцією кутової координати і часу.

Наводяться результати розрахунків вібраційних процесів у асинхронних двигунах в період пуску. Ілюструється, зокрема, вплив пружно-дисипативних параметрів опор двигуна на максимальні значення моментів сил пружності опор і максимальні кутові переміщення статора.

На розрахункових прикладах показано, що в період пуску асинхронних двигунів різної потужності виникають інтенсивні коливання електромагнітного моменту з частотою, близькою до частоти коливань напруги у мережі живлення. Відношення максимального значення електромагнітного моменту до номінального для розглянутих типів двигунів знаходиться у межах 3,10 ... 4, 85; зі збільшенням потужності двигуна це відношення зменшується. Зміна жорсткості опор статора у діапазоні реальних значень практично не впливає на часову залежність електромагнітного моменту. Однак, максимальне значення моменту сил пружності опор і максимальний кут повороту статора в режимах, близьких до резонансних, істотно зростають. Вказані величини значною мірою залежать від розсіювання енергії коливань в опорах статора. Для практично обґрунтованих значень коефіцієнтів в'язкого тертя, що характеризують згасання коливань статора, найбільше значення максимального моменту сил пружності опор набагато перевищує максимальний електромагнітний момент.

У цілому, одержані результати засвідчують, що коливання електромагнітного моменту двигуна, обумовлені нестационарними режимами роботи, істотно впливають на віброактивність електричної машини. Періодична зміна повітряного зазору між робочими поверхнями статора і ротора може істотно підвищити рівень вібрацій ротора. Нестационарні електромеханічні процеси у двигунах в режимах, наближених до резонансних, слід вважати вкрай небажаними, що вказує на необхідність їх прогнозування під час проектування електричних машин і приводних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zhongjie Wang, Jingnan Zhang, Yongchun Liang. Motor Noise and Vibration Test Research. TELKOMNIKA, Vol.11, No.1, March 2013, pp. 87-94.

2. Genadijs Kobenkins, Marks Marinbahs, Anatolijs Bizans, Nikita Rilevs, Oleg Sliskis. The influence of dynamic loads on the vibration level of rotating units of traction drives. Energy Reports. Volume 9, Supplement 3, May 2023, Pages 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.12.114>

3. Mohamad Mosadeghzad, Gustavo A Medrano-Cerda, Jody A Saglia, Nikos G Tsagarakis and Darwin G Caldwell. Impedance control of a class of series elastic actuators: performance limitations arising from link dynamics, disturbance attenuation and impedance emulation. Technical Report. February 2014. Report number: This report is an extended version of the Conference paper: Impedance Control with inner PI Torque Loop: Disturbance Attenuation and Impedance Emulation, IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Dec 12-14, 20, Affiliation: Istituto Italiano di Technologia. DOI: 10.13140/2.1.511.4249

4. Zuolu Wang, Dawei Shi, Yuandong Xu, Dong Zhen, Fengshou Gu, Andrew D. Ball. Early rolling bearing fault diagnosis in induction motors based on on-rotor sensing vibrations. Measurement. Volume 222, 30 November 2023, 113614. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113614>

5. Akira Saito, Tatsuya Suzuki. Forced response vibration analysis of induction motor stators induced by electromagnetic forces. IFAC-PapersOnLine. Volume 55, Issue 27, 2022, Pages 155-159. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.504> Get rights and content

6. Abderrahman El Idrissi, Aziz Derouich, Said Mahfoud, Najib El Quanjli, Ahmed Chantoufi, Youness El Mourabit. Acoustic characterization of a three-phase asynchronous machine under stator unbalance defects. e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, Volume 12, June 2025, 100958. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2025.100958>

Харченко Євген Валентинович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Опір матеріалів та будівельна механіка», Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua;

Чабан Василь Йосипович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Теоретична та загальна електротехніка», Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: vasyl.y.tchaban@lpnu.ua;

Біловус Андрій Романович, аспірант, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: andrii.r.bilovus@lpnu.ua;

Охримович Андрій Петрович, аспірант, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: andrii.p.okhrymovych@lpnu.ua.

EXCITATION OF VIBRATIONS OF THE ROTOR AND STATOR OF AN INDUCTION MOTOR IN THE CROSS-SECTIONAL PLANE

Abstract. *Mathematical models of dynamic processes in induction motors are considered, based on the interaction between electromagnetic phenomena in electric engines and mechanical oscillatory phenomena. In the first case, for motors of the most common designs, it is assumed that the rotor is mounted in the stator on completely rigid supports, and the stator is mounted on the base on flexible supports. In this case, the axis of rotation of the rotor relative to the stator is fixed. In the second case, for special high-power motors, a more complex problem is considered, since it is assumed that the stator and rotor are mounted on individual supports; the stator is rigidly connected to the base, and the rotor supports are characterized by pliability due to the deformation of the shaft and bearing assemblies. Thus, the axis of rotation of the rotor relative to the stator changes its position, and the air gap becomes a function of the angular coordinate and time.*

The results of calculations of oscillatory processes in induction motors are presented. In particular, the influence of the elastic-dissipative parameters of the stator supports on the maximum values of the elastic forces in these supports and the maximum angular displacements of the stator are illustrated.

Keywords: *induction motor, non-stationary operating modes, modeling of mechanical and electromagnetic oscillatory phenomena, rotor and stator vibrations, consideration of support stiffness and air gap variations.*

Kharchenko Yevhen, Doctor of Technical Sciences, Professor, Strength of Materials and Structural Mechanics Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua;

Chaban Vasyl, Doctor of Technical Sciences, Professor, Theoretical and General Electrical Engineering Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua;

Bilovus Andriy, postgraduate, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: andrii.r.bilovus@lpnu.ua;

Okhrymovych Andriy, postgraduate, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: andrii.p.okhrymovych@lpnu.ua.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА ПРИВОДІВ ЛІНІЙНИХ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація

Запропоновано аналітичне визначення оптимального значення передаточного числа приводів лінійних мехатронних систем на базі зубчастої передачі та передачі гвинт-гайка.

Ключові слова: модуль лінійного переміщення, передаточне число, момент інерції, сила інерції, оптимізація.

Вступ

Ефективність роботи робототехнічних комплексів може бути підвищена впровадженням мехатронних систем лінійного та обертального руху. Їх використовують для розширення рухових можливостей промислових роботів, переміщення заготовок, деталей і інструменту між технологічним обладнанням та промисловими роботами. У якості приводу в цих системах використовують серводвигуни, асинхронні приводи з зубчастими редукторами, механізми перетворення руху на базі пасових, рейкових передач та модульні компоненти на парі гвинт-гайка кочення. Такі системи працюють у високошвидкісних реверсивних режимах, а тому основна втрата потужності зумовлена силами інерції. Мінімізація цих сил можлива впровадженням енергоефективних принципів на етапі розрахунку [1]. Метою дослідження є аналітичний розрахунок оптимального передаточного числа приводів лінійних мехатронних систем та аналіз динаміки їх руху.

Результати дослідження

Момент сил інерції рухомих мас, що діє на вал електродвигуна визначається за формулою:

$$M_i = J\varepsilon_1 = Ju\varepsilon_2, \quad (1)$$

де J – приведений до валу електродвигуна момент інерції рухомих мас; u – передаточне число проміжної (зубчастої чи зубчато-пасової) передачі; ε_1 , ε_2 – кутові пришвидшення;

$$J = J_d + J_{z1} + \frac{J_{z2}}{u^2} + \frac{mv^2}{\omega_1^2}, \quad (2)$$

де J_d , J_{z1} , J_{z2} – моменти інерції ротору електродвигуна та зубчастих коліс відповідно; m – маса каретки з навантаженням; v – швидкість каретки; ω_1 – кутова швидкість ротора електродвигуна.

У випадку використання в приводі перетворення обертального руху в поступальний передачі гвинт-гайка швидкість руху v каретки набуде вигляду:

$$v = \frac{\omega_1 hk}{u2\pi}, \quad (3)$$

де h – крок гвинтової канавки, k – кількість заходів (як правило, $k = 1$).

Якщо відомо обмеження по граничному значенню пришвидшення руху каретки $[a]$, кутове пришвидшення ε_2 гвинта буде визначатися за формулою:

$$\varepsilon_2 = \frac{2\pi[a]}{h}. \quad (4)$$

Використовуючи у формулі (1) відповідно (2)–(4), отримаємо функціональну залежність $M_i = f(u)$, графік якої представлено на рис. 1 для наступних числових значень параметрів

механічної системи: $J_d = 0,002 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z1} = 0,7\cdot 10^{-4} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_{z2} = 1,12\cdot 10^{-3} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $\omega_1 = 314 \text{ с}^{-1}$, $[a] = 20 \text{ м/с}^2$, $m = 200 \text{ кг}$, $h = 25\cdot 10^{-3} \text{ м}$. На графіку спостерігається наявність мінімуму моменту інерційних сил, що розкриває можливості вибору оптимальних значень передаточних чисел в приводах лінійних систем.

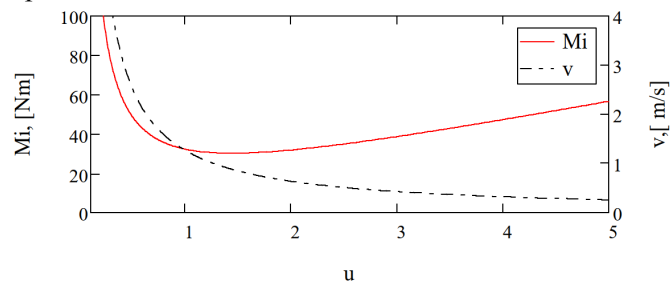


Рис. 2. Залежність моменту інерційних сил та швидкості каретки від передаточного числа

З умови $\frac{\partial M_i}{\partial u} = 0$ отримано формулу для розрахунку оптимального значення передаточного числа u_{opt} , що забезпечує мінімальне значення моменту сил інерції $M_i \rightarrow \min$:

$$u_{opt} = \frac{\sqrt{mh^2 + 4\pi^2 J_{z2}}}{2\pi\sqrt{J_d + J_{z1}}}. \quad (5)$$

Для наведених параметрів механічної системи оптимальне значення передаточного числа становить $u_{opt} = 1,44$. За прийнятими значеннями передаточного числа вибираються геометричні параметри зубчастої чи зубчато-пасової передачі. На наступному етапі потрібно визначити реальні значення моментів інерції J_{z1} і J_{z2} та уточнити значення передаточного числа за формулою (5). Запропонований підхід розкриває більш широкі можливості оптимізації параметрів приводу з обмеженнями на кінематичні характеристики лінійних мехатронних систем.

Висновки

Формула (5) визначає енергоощадність конструкції розрахунком передаточного числа проміжної передачі між електродвигуном та гвинтом за масово-інерційними характеристиками механічної системи та конструктивними параметрами передачі гвинт-гайка. У випадку, коли в процесі оптимізації використано більші значення кроку гвинта рекомендовано використовувати прецизійні сплайн-гвинти [2].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Boscariol, P., & Richiedi, D. (2024). Revisiting the inertia matching condition for energy efficiency. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 52(10), 7430–7444. <https://doi.org/10.1080/15397734.2023.2299312>.
2. https://tech.thk.com/en/products/pdf/en_a15_246.pdf.

Дишев Олександр Андрійович — аспірант 2-го року навчання кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: oleksandr.a.dyshev@lpnu.ua.

Гурський Володимир Миколайович — д-р техн. наук, професор кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: vol.gursky@gmail.com.

Магерус Надія Іванівна — канд. техн. наук, доцентка кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: maherusn@gmail.com.

Determination of the optimal transmission ratio of linear mechatronic systems drives

Abstract

An analytical method for determining the optimal gear ratio for the drives of linear mechatronic systems,

based on gear and screw transmissions, is proposed.

Keywords: linear guide, gear ratio, moment of inertia, inertial force, optimization.

Dyshev Oleksander A. — PhD student at the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: oleksandr.a.dyshev@lpnu.ua.

Gurskyi Volodymyr M. — Dr. of Engineering, Professor of the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: vol.gursky@gmail.com.

Maheus Nadiia I. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: maheusn@gmail.com.

РОЗРОБЛЕННЯ МОБІЛЬНОГО ГУСЕНИЧНОГО РОБОТА З МАНІПУЛЯТОРОМ ТИПУ SCARA

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація

У роботі представлено розробку мобільного роботизованого комплексу, який складається з гусеничної платформи та маніпулятора типу SCARA. Він призначений для виконання технологічних операцій на пересіченій місцевості, зокрема для виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів.

Ключові слова: мобільний робот, гусенична платформа, маніпулятор SCARA, робототехніка.

Мобільні роботизовані системи знаходять все ширше застосування у різних сферах людської діяльності [1-5], особливо при виконанні завдань у небезпечних або важкодоступних середовищах. Актуальною задачею є розроблення спеціалізованих мобільних роботів, здатних виконувати складні операції, зокрема, пов'язані з виявленням та знешкодженням вибухонебезпечних предметів [3]. У даній роботі представлено конструкцію та функціональні особливості розробленого авторами мобільного гусеничного робота, оснащеного маніпулятором типу SCARA.

Твердотільна модель робота (рис. 1) розроблена у програмному забезпеченні SolidWorks і складається з трьох основних блоків: гусеничної платформи 1, блоку електронного керування 2 та маніпулятора 3. Гусенична платформа призначена для перевезення маніпулятора, його загальної орієнтації та виконання технологічних операцій на пересіченій місцевості, зокрема виявлення та знешкодження вибухонебезпечних пристроїв. Вона складається з монтажної плити, на якій закріплено маніпулятор та блок електронного керування, приєднаної до гусеничних бортів за допомогою гумових (або поліуретанових) демпферів. Передні колеса не є ведучими і дозволяють регулювати натяг гусениць, тоді як задні колеса приводяться в рух електродвигунами з редукторами через ланцюгову передачу. Додаткові V-подібні важільні механізми стабілізують положення та натяг гусениць при подоланні перешкод. Платформа здатна рухатись по пересіченій місцевості зі швидкістю до 8...10 км/год, долати перешкоди висотою до 30 см та працювати автономно щонайменше 2 години.

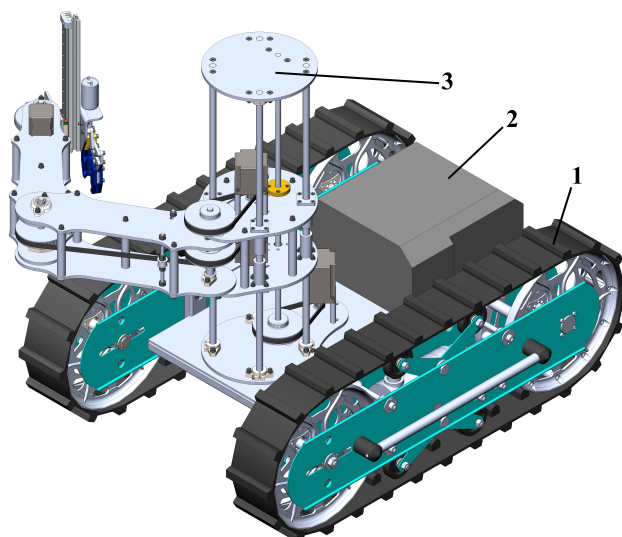


Рис. 1. Загальний вигляд мобільного гусеничного робота з маніпулятором типу SCARA

Маніпулятор типу SCARA, встановлений на платформі робота, призначений для утримання та перенесення вантажів масою близько 1 кг. Його вертикальне переміщення забезпечується платформою, що рухається вздовж напрямних за допомогою гвинтової передачі, яка приводиться в дію електродвигуном через зубчато-пасову передачу. Обертання першої та другої ланок маніпулятора для руху в горизонтальній площині здійснюється окремими електродвигунами через зубчато-пасові передачі. Обертання схоплювача для точного позиціонування відбувається за допомогою електродвигуна та зубчастого сектора. Схоплювач також має можливість регулювання вертикального положення в невеликих межах за допомогою окремого електродвигуна та зубчато-пасового приводу, встановлених на поворотному кронштейні.

Таким чином, у роботі представлено мобільний робот, оснащений гусеничною платформою, що забезпечує високу прохідність на пересіченій місцевості, та маніпулятором типу SCARA, призначеним для виконання точних операцій з об'єктами. Розроблений роботизований комплекс має потенціал для ефективного виконання технологічних завдань у складних умовах, зокрема для операцій з виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Korendiy V., Zinko R., Cherevko Y. Structural and kinematic analysis of pantograph-type manipulator with three degrees of freedom // Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science. – 2019. – Vol. 5, No. 2. – P. 68–82.
2. Korendiy V. et al. Analysis of kinematic characteristics of a mobile caterpillar robot with a SCARA-type manipulator // Transport Technologies. – 2023. – Vol. 4, No. 2. – P. 56–67.
3. Korendiy V. et al. Optimizing the structural parameters of the robotic system to ensure the efficiency and reliability of work in the production environment // CEUR Workshop Proceedings. – 2024. – Vol. 3699. – P. 180–197.
4. Корендій В. М., Качур О. Ю., Пилип М. В., Карпін Р. Б. Розроблення та дослідження зовнішніх і внутрішніх схоплювачів для міжопераційного переміщення кільцеподібних деталей // Прогресивні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-практичної конференції, Львів–Звенів, 18 лютого – 21 лютого 2025 року. – 2025. – С. 70–73.
5. Корендій В. М., Качур О. Ю., Пилип М. В., Карпін Р. Б. Кінематичний аналіз та конструювання робота-маніпулятора для керування брендспойтами // Молода наука - роботизація і нано-технології сучасного машинобудування: збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, 16–18 квітня 2025 р. – 2025. – С. 183–190.

Корендій Віталій Михайлович — канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри технічної механіки та інженерної графіки, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: vitaliy.nulp@gmail.com

Качур Олександр Юрійович — д-р філософії, доцент кафедри технічної механіки та інженерної графіки, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: oleksandr.y.kachur@lpnu.ua

Пилип Михайло Васильович — аспірант кафедри технічної механіки та інженерної графіки, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: mykhailo.v.pylyp@lpnu.ua

Карпін Роман Богданович — аспірант кафедри прикладної математики, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: roman.b.karpyn@lpnu.ua

Development of a mobile tracked robot with a SCARA-type manipulator

Abstract

The paper presents the development of a mobile robotic complex, which consists of a tracked platform and a SCARA-type manipulator. It is designed to perform technological operations on rugged terrain, particularly for detecting and neutralizing explosive devices.

Keywords: mobile robot, tracked platform, SCARA manipulator, robotics.

Korendiy Vitaliy M. — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, Head of Department of Technical Mechanics and Engineering Graphics, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: vitaliy.nulp@gmail.com

Kachur Oleksandr Y. — PhD (Eng.), Associate Professor of Department of Technical Mechanics and Engineering Graphics, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: oleksandr.y.kachur@lpnu.ua

Pylyp Mykhailo V. — PhD student of Department of Technical Mechanics and Engineering Graphics, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: mykhailo.v.pylyp@lpnu.ua

Karpyn Bohdan R. — PhD student of Department of Applied Mathematics, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: roman.b.karpyn@lpnu.ua

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ БАГАТОЛЕЗОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ ШЛЯХОМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ОДНОРІДНОСТІ РІЖУЧИХ ПЛАСТИН

Донбаська державна машинобудівна академія

***Анотація.** У роботі представлено інноваційний підхід до підвищення надійності багатолезових різальних інструментів шляхом попереднього сортування змінних ріжучих пластин за показниками спектральної однорідності. Запропоновано метод акустичної діагностики, який дозволяє ідентифікувати динамічні характеристики пластин через аналіз спектрів їх власних коливань при широкосмуговому збудженні. Запропонована методика є неконтактною, економічно ефективною та може бути інтегрована в системи технологічного контролю з використанням алгоритмів машинного навчання.*

***Ключові слова:** Акустична діагностика, багатолезова фреза, ріжучі пластини, спектральний аналіз, кластеризація, надійність інструменту, карти Кохонена, машинне навчання.*

Підвищення експлуатаційної надійності ріжучого інструменту залишається одним із ключових завдань сучасного машинобудування. Досвід експлуатації багатолезових фрез із змінними твердосплавними пластинами показує, що навіть незначна неоднорідність фізико-механічних властивостей пластин з однієї партії призводить до нерівномірного розподілу навантажень, асинхронного зносу різальних кромки та передчасного виходу інструменту з ладу [1, 2]. Традиційні методи контролю якості пластин здебільшого фокусуються на їх геометричних параметрах та не враховують приховану неоднорідність динамічних характеристик, які безпосередньо впливають на поведінку інструменту під час різання [3]. У даній роботі обґрунтовано гіпотезу про те, що ріжучі пластини, які мають близькі спектральні характеристики власних акустичних коливань, є динамічно однорідними за сукупністю механічних властивостей, а формування інструментів із таких пластин дозволяє істотно підвищити їх надійність.

Для реалізації спектральної діагностики розроблено експериментальний стенд, який складається з акустичного збуджувача, що генерує широкосмуговий сигнал (10-20000 Гц); п'єзодатчика, що реєструє зворотний сигнал від пластини; програмного середовища аналізу спектру на основі швидкого перетворення Фур'є. Для кожної пластини отримано спектр власних частот, який перетворено на вектор спектральних ознак: частоти основних резонансних піків, амплітуди основних резонансних піків, ентропійні характеристики спектру, коефіцієнти добротності резонансів. Для класифікації пластин за спектральними характеристиками застосовано метод кластеризації на основі самоорганізуючих карт Кохонена, який дозволяє візуалізувати багатовимірні дані у вигляді двовимірної топологічної карти та формувати групи елементів з подібними властивостями.

Дослідження проведено на партії з 30 непереточуваних ріжучих пластин типу ADMX 16, що використовуються для комплектації збірних довгокромочних фрез SAD16E. Результати кластеризації показали наявність чотирьох кластерів з різними спектральними характеристиками, при цьому найбільший кластер (17 пластин) мав найвищий рівень спектральної однорідності.

Порівняльні випробування фрези, укомплектованої пластинами з одного кластеру (фреза А), та фрези з випадковою комплектацією (фреза Б) проводилися при обробці сталі 45 (HRC 35-38) з такими режимами різання: швидкість різання: $V = 180$ м/хв; подача: $S = 0,12$ мм/зуб; глибина різання: $t = 2,5$ мм.

Результати випробувань представлені в таблиці 1.

Розроблена аналітична модель надійності фрези:

$$R(t) = \exp[-(\lambda_0 + \alpha \cdot D_{\text{спектр}}) \cdot t],$$

де $R(t)$ як функції спектральної неоднорідності; $\lambda_0 = 0,015 \text{ хв}^{-1}$ – базова інтенсивність відмов; $\alpha = 2,3 \text{ хв}^{-1}$ – коефіцієнт впливу спектральної неоднорідності, $D_{\text{спектр}}$ – показник спектральної неоднорідності комплекту пластин.

Таблиця 1. Порівняльні результати випробувань фрез

Показник	Фреза А (однорідні)	Фреза Б (випадкові)	Зміна (%)
Стійкість, хв	48,3	35,9	+34,5%
Дисперсія зносу, мм	0,025	0,089	-71,9%
Вібрації, мкм	12,3	26,8	-54,1%
Ra, мкм	1,1	1,6	-31,2%

Згідно з моделлю, ймовірність безвідмовної роботи фрези з однорідним комплектом пластин ($D_{\text{спектр}} = 0,011$) через 40 хвилин роботи становить 0,513, тоді як для фрези з випадковим комплектом ($D_{\text{спектр}} = 0,042$) – лише 0,217.

Висновки

Запропоновано та експериментально підтверджено ефективність методу підвищення надійності багатолезових фрез шляхом акустичної діагностики спектральної однорідності ріжучих пластин. Доведено існування кластерів пластин з подібними спектральними характеристиками в межах однієї виробничої партії, що свідчить про внутрішню неоднорідність їх динамічних властивостей. Встановлено, що формування фрез із пластин одного спектрального кластеру дозволяє підвищити стійкість інструменту на 30-45%, зменшити рівень вібрацій на 50%, значно покращити якість обробленої поверхні. Розроблено математичну модель надійності багатолезового інструменту як функції спектральної неоднорідності комплекту пластин, яка дозволяє кількісно оцінювати ефективність різних варіантів комплектування. Запропонована методика є неконтактною, швидкою та економічно ефективною, що дозволяє впровадити її у виробничий контроль якості ріжучих пластин без значних змін існуючої технологічної схеми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Клименко Г. П., Андронов О.Ю. Підвищення надійності технологічної системи під час механообробки на важких токарних верстатах. // Сучасні технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ", 2009. – Вип. 3. – С. 49-54.
2. Ravska N. S., Klymenko G. P., Tkachenko M. A. Cutting tool wear heavy lathe. – Cracow: AGH University of Science and Technology, 2010. – P. 137-147.
3. Ковалевський С. В. та ін. Діагностика технологічних систем і виробів машинобудування (з використанням нейромережевого підходу): монографія. – Краматорськ: ДДМА, 2016. – 186 с.

Ковалевський Сергій Вадимович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Інноваційних технологій і управління Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ-Тернопіль, kovalevskii61@gmail.com.

IMPROVING THE RELIABILITY OF MULTI-EDGE TOOLS BY ENSURING THE SPECTRAL UNIFORMITY OF CUTTING INSERTS

Abstract. This study presents an innovative approach to improving the reliability of multi-edge cutting tools by pre-sorting replaceable cutting inserts based on spectral homogeneity indicators. An acoustic diagnostic method is proposed, enabling the identification of the dynamic characteristics of the inserts through analysis of their natural vibration spectra under broadband excitation. The proposed technique is non-contact, cost-effective, and can be integrated into technological quality control systems using machine learning algorithms.

Keywords: Acoustic diagnostics, multi-edge milling cutter, cutting inserts, spectral analysis, clustering, tool reliability, Kohonen maps, machine learning.

Kovalevskyy Sergiy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Innovative Technologies and Management of the Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk–Ternopil, kovalevskii61@gmail.com.

ОБМЕЖНИК ВАНТАЖОПІДІЙМАЛЬНОСТІ КРАНІВ МОСТОВОГО ТИПУ

¹Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку

²Національний університет “Одеська політехніка”

Анотація. Розглядається питання захисту кранів мостового типу від перевантаження шляхом застосування обмежників вантажопідіймальності, що містять нарівні з механічним передавальним механізмом додатково силоміри. Представлена конструкція обмежника вантажопідіймальності, яка включає дві натискні та опорну плити, між якими розташовані силоміри і передавальний механізм у вигляді ромбоподібних пружних втулок. Наведені результати експериментальних випробувань обмежника вантажопідіймальності з точки зору надійності та точності спрацьовування.

Ключові слова: аварія, поломка, випробування, точність, надійність, силомір, кран мостового типу, обмежник вантажопідіймальності.

Правилами охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів передбачено вимоги щодо обладнання вантажопідіймальних кранів пристроями, що забезпечують їх безпечну експлуатацію, а саме обмежників вантажопідіймальності, що автоматично вимикають привід механізму підймання у разі перевищення вантажопідіймальності [1]. Обмежник вантажопідіймальності кранів мостового типу має автоматично вимикати механізми підймання вантажу, якщо маса вантажу перевищує вантажопідіймальність, зазначену в журналі нагляду (паспорті) крана, більше ніж на 15 %. В обґрунтованих випадках, за умови додаткової перевірки розрахунком несучої здатності крана, допускається збільшувати це значення до 25 %.

Аналіз аварій та поломок кранів мостового типу показує, що значна частина з них пов'язана з відсутністю або несправністю запобіжних пристроїв, які не в повній мірі задовольняють експлуатаційним вимогам, в першу чергу таким як надійність та точність.

Найбільш перспективним напрямом створення надійних обмежників вантажопідіймальності є розробка комбінованих пристроїв, які містять нарівні з механічною основою силоміри (рис.1).

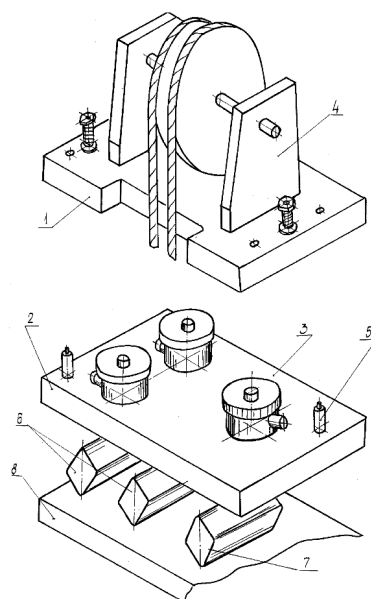


Рис.1 Обмежник вантажопідіймальності кранів мостового типу:

1 — верхня натискна плита; 2 — нижня натискна плита; 3 — силоміри; 4 — верхні блоки полієпасти;
5 — напрямні вузли; 6, 7 — ромбоподібні пружні втулки; 8 — опорна плита.

Такі запобіжні пристрої відрізняються від інших типів високою точністю спрацьовування; можливістю одночасного використання обмежника як вимірювача прикладеного навантаження; простотою та компактністю конструкції; високою економічністю за рахунок підвищення надійності та довговічності роботи машин з одночасним забезпеченням підвищеної безпеки.

Конструкція обмежника вантажопідймальності містить дві натискні плити - верхню 1 і нижню 2, між якими жорстко вмонтовані силоміри 3. Верхні блоки поліспасти 4 зібрані на єдиній корпусній стійці, яка закріплена за допомогою групового болтового з'єднання до верхньої натискної плити 1. Для забезпечення центрування, а також експлуатаційної надійності при можливому руйнуванні елементів силопередачі застосовані чотири напрямних вузла 5, які впресовані в плиту 1. Нижня натискна плита встановлена на передавальному механізмі, що складається з набору ромбоподібних пружних втулок 6 і 7, які в свою чергу контактують з опорною плитою 8. Наявність трьох силомірів дозволяє отримати статично визначений контур. Рівномірність розподілу зовнішнього навантаження між силомірами досягається завдяки їх розташуванню у вершинах рівностороннього трикутника, геометричний центр якого збігається з точкою докладання результуючої всіх сил, що діють на блоки.

Експериментальні дослідження точності спрацьовування обмежувача вантажопідймальності включали визначення коефіцієнтів точності, навантаження та недовантаження. Ромбоподібні пружні втулки передавального механізму обмежувача вантажопідймальності виготовляли зі сталі 65Г і гартували до твердості НРС 58...62. Протягом випробувань не проводилося жодних регулювань та заміन деталей пристрою. Значення зусиль спрацьовування передавального механізму обмежувача вантажопідймальності, виконаного у вигляді пружних ромбоподібних втулок, не вийшли за межі 4% від номінального значення зусилля спрацьовування протягом 1000 циклів. Експериментально підтверджена працездатність ромбоподібних пружних втулок у межах обраних значень пружних деформацій. Похибка вимірювання зусиль, що діють у силовому ланцюгу вантажопідймальної машини, при проведенні натурних випробувань на крані мостового типу не перевищувала 0,5 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідймальних кранів, підймальних пристроїв і відповідного обладнання. Затверджені наказом Міністерства соціальної політики України 19.01.2018 № 62, зареєстр. в Міністерстві юстиції України 27.02.2018 за № 244/31696.

2. Коломієць Л.В., Лимаренко О.М. Конструктивні способи підвищення несучої здатності металоконструкцій та безпечності роботи спеціальних кранів. Книга 2. Оцінка металоконструкцій спеціальних кранів з деформаціями та вичерпним строком експлуатації. - Одеса: АПРЕЛЬ, 2018, 146 с.

Коломієць Леонід Володимирович — докт. техн. наук, проф., професор кафедри метрології, якості та стандартизації, Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, e-mail: leonkolom61@gmail.com

Лимаренко Олександр Михайлович — канд. техн. наук, доц., завідувач кафедри динаміки машин та механічної інженерії, Національний університет "Одеська політехніка", e-mail: a.m.limarenko@op.edu.ua

Load limiter for bridge-type cranes

Abstract

The work presents the result of the experimental study of the influence of the local notch-type and impact damages on the characteristics of forced harmonic vibrations of a multilayer cantilever beam made of woven

Keywords: *forced vibrations, composite beam, damage, damping.*

Kolomiets Leonid V. — Dr. Sc., Professor, Professor of the Department of Metrology, Quality and Standardization, State University of Intellectual Technologies and Communication, e-mail: leonkolom61@gmail.com

Lymarenko Oleksandr M. — Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Machine Dynamics and Mechanical Engineering, Odesa Polytechnic National University, e-mail: a.m.limarenko@op.edu.ua

MODELING OF EQUIPMENT AND PARTS USING MACHINE LEARNING

¹State University of Trade and Economics

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Abstract

The main machine learning algorithms that can be used in the process of modeling equipment and parts are presented. The scientific novelty lies in determining ways to increase the efficiency of product modeling using machine learning methods. Neural networks are considered one of the most popular algorithms in the field of big data processing. Two basic directions of using neural networks in image recognition are described: classification and regression. The method of step-by-step modeling of 3-D objects used in Image recognition (classification) is presented. Examples of neural networks that generate images based on the Latin and Cyrillic alphabets are given. It is proven that the presented approach allows companies to optimize the process of generating parts. These approaches are at the stage of initial implementation in practical activities since it is not always possible to accurately create visualizations based on a text description.

Keywords:

Machine Learning, Modeling, Neural Network, Optimization, Image Recognition.

Machine learning approaches are promising areas of use in the creation of materials with new properties and innovative parts and products. Thanks to the use of simulation approaches, it is possible to significantly reduce the cost of time and money resources, which contributes to the optimization of research and development activities and the production process. Three main types of machine learning algorithms are used to create graphic objects:

1. Supervised learning.
2. Unsupervised learning.
3. Reinforcement learning.

In the process of implementing machine learning methods, various algorithms are implemented, but neural networks have gained the greatest popularity at this stage of science development. There are two main directions of using neural networks in image recognition: classification and regression. They are:

I. Classification (Image recognition (classification). Image classification with localization. Object detection. Object (semantic) segmentation. Instance segmentation).

II. Regression (Influence of factors. Forecasting. Associative rules).

The process of using graphic objects as a valuable source of information for building effective neural networks involves performing a set of stages, the first of which is the conversion of photo content into digital form. The existing image can be converted into a 2D function $F(x, y)$, where x and y are coordinates in space. A digital image represents the amplitude of F with finite values of x and y . The image can also be converted into a 3D function with spatial coordinates x , y , and z , the presented graphic object is called RGB (Red, Green, Blue) [1]. It should be noted that the use of the RGB color space has disadvantages since it is not possible to separate color information from other data. The use of the RGB approach for image conversion negatively affects the speed of neural network implementation, since it is necessary to use information about 3 channels in the modeling process. An alternative approach involves the use of the HSV (Hue, Saturation, Value) color space.

The main image processing algorithms are Morphological Image Processing, Gaussian Image Processing, Fourier Transform in image processing, Edge Detection in Image Processing, Wavelet Image Processing, and Image processing using Neural Networks.

Neural networks are multilayer networks that are created from the basic units of data processing in the system (neurons or nodes). The operation of a neural network in the image-processing process is based on the following principles:

1. The image is divided into pixels, and a separate pixel acts as a neuron of the first layer.

2. Each channel is given a weight in the form of a probabilistic numerical value.
3. Weighted sums are calculated as the multiplication of the weights by the corresponding input data, and the result is used as an input to the hidden layers of the neural network.
4. The selected activation function is applied to the output data, making a decision on whether to activate the neuron or refuse further actions.
5. Data propagation to subsequent layers of the network occurs only due to activated neurons.
6. The layer's output neuron is the highest probability value.
7. The error is calculated as the difference between the predicted and actual output. Thanks to backpropagation, the results are transmitted back through the network.
8. A certain number of iterations of forward and backpropagation of data are performed with gradual adjustment of the weights. When the optimal value is reached, the neural network stops the learning process.

In recent years, multimodality approaches have gained significant popularity in the field of machine learning, which involves building models using images, text, voice, and audio content simultaneously. The OpenAI Artificial Intelligence Research Laboratory introduced the public to the DALL-E neural network, which allows the creation of images with a size of 256x256 pixels based on a text description [2]. The limitations of this approach are explained by the fact that the neural network is trained based on an English-language description. Chinese scientists have developed their CogView neural network [3], which in certain parameters has surpassed the results of the OpenAI organization. Developing the presented concept, specialists have built their neural models that allow the generating images based on a Cyrillic text description.

REFERENCES

1. Image Processing in Python: Algorithms, Tools, and Methods You Should Know. URL: <https://neptune.ai/blog/image-processing-in-python-algorithms-tools-and-methods-you-should-know>
2. DALL·E: Creating Images from Text. URL: <https://openai.com/blog/dall-e/>
3. CogView. URL: <https://wudao.aminer.cn/CogView/index.html>

Ponomarenko Ihor Vitaliiovych, PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Marketing, State University of Trade and Economics, Kyiv, i.ponomarenko@knute.edu.ua

Pavlenko Volodymyr Mykolaiovych, PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat and Power Engineering, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, v.pavlenko@nubip.edu.ua

МОДЕЛЮВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ТА ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Анотація

Представлено основні алгоритми машинного навчання, які можуть бути використані в процесі моделювання обладнання та деталей. Наукова новизна полягає у визначенні шляхів підвищення ефективності моделювання виробів за допомогою методів машинного навчання. Нейронні мережі вважаються одними з найпопулярніших алгоритмів у сфері обробки великих даних. Описано два основні напрямки використання нейронних мереж у розпізнаванні зображень: класифікація та регресія. Представлено метод покрокового моделювання 3D-об'єктів, що використовуються в розпізнаванні зображень (класифікації). Наведено приклади нейронних мереж, що генерують зображення на основі латинського та кириличного алфавітів. Доведено, що представлений підхід дозволяє компаніям оптимізувати процес генерації деталей. Ці підходи знаходяться на стадії початкового впровадження в практичну діяльність, оскільки не завжди можливо точно створювати візуалізації на основі текстового опису.

Ключові слова:

Машинне навчання, моделювання, нейронна мережа, оптимізація, розпізнавання зображень.

Пономаренко Ігор Віталійович, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри маркетингу, Державний торговельно-економічний університет, Київ, i.ponomarenko@knute.edu.ua

Павленко Володимир Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії енергосистем, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, v.pavlenko@nubip.edu.ua

А. В. Свєтлов
В. О. Трегубов
Л. К. Поліщук
О. В. Піонткевич

АНТИРЕВЕРСНИЙ МЕХАНІЗМ ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано вдосконали гідравлічний привод стрічкового конвеєра антиреверсним механізмом (зворотній клапан) для запобігання зворотному руху стрічки при зупинці або аварійному відключенню. Порівняно різні типи антиреверсних механізмів.

Ключові слова: гідравлічний привод, стрічковий конвеєр, антиреверсний механізм.

Вступ

На сьогоднішній день використання гідравлічних приводів в стрічкових конвеєрах обґрунтовано їхньою високою надійністю, легкістю керування, гарним показником співвідношенням потужності до маси обладнання, високим коефіцієнтом корисної дії тощо [1, 2]. Науковцями Вінницького національного технічного університету розроблено гідравлічний привод стрічкового конвеєра із пристроєм керування, який забезпечує вище зазначені переваги та відпрацьовує швидко підключення резервної потужності під час перевантаження [3, 4]. Цей стрічковий конвеєр оснащений гідравлічний приводом із двома гідронасосами та гідромоторами (основний О та резервний Р), механізмом підключення резервної потужності від резервного гідромотора, електрогідравлічною системою керування резервним гідронасосом. Забезпечення антиреверсу для такого конструктивно складного стрічкового конвеєра, що мінімально вплине на динаміку його роботи, є актуальною задачею.

Метою роботи є обґрунтування антиреверсного механізму для гідравлічного приводу стрічкового конвеєра.

Результати дослідження

До основних функцій антиреверсного механізму стрічкового конвеєра варто віднести: утримання навантаження при раптовій зупинці, унеможливлення руху стрічки конвеєра в зворотному напрямку під силою гравітації, захист гідравлічного приводу та механічних компонентів від перевантаження, забезпечення безпеки персоналу, які обслуговують стрічковий конвеєр.

Технічні рішення антиреверсного механізму для стрічкового конвеєра існують на основі гідравлічного приводу (зворотні або запобіжні клапани, гідравлічні замки [5, 6]), механічного приводу [7, 8] (муфти вільного ходу, храпові механізми, обгінні муфти, механічні стопори, зворотнє гальмо) та програмного забезпечення [9, 10], яке базується на основі систем датчиків та програмного алгоритму.

Приклад принципової схеми встановлення антиреверсного механізму на основі попередніх розробок [11, 12] та зворотного клапана зображено на рис. 1.

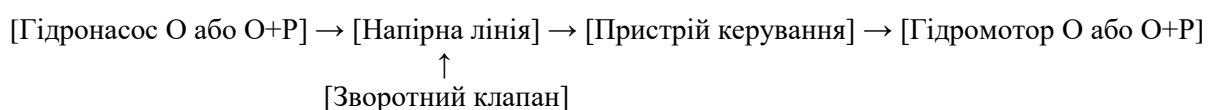


Рис. 1. Принципова схема розміщення зворотного клапана для антиреверсу в гідравлічному приводі

Згідно принципової схеми на рис. 1 варто розуміти, що не залежно від режиму роботи (нормальний чи перевантаження), антиреверсний механізм перекриває перетікання робочої рідини через напірну лінію та гідронасоси назад в гідробак.

Доцільність встановлення антиреверсного механізму на основі гідравлічного приводу зумовлена перевагами, які вказані в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння різних типів технічних рішень антиреверсного механізму

Критерій	Гідравлічний	Механічний	Програмний
Надійність	Висока	Висока	Середня
Гнучкість	Помірна	Низька	Висока
Швидкість дії	Висока	Висока	Залежить від системи
Обслуговування	Середнє	Мінімальне	Програмне/сенсорне
Вартість	Середня/висока	Низька	Висока

Висновки

Використання зворотного клапана забезпечує необхідні основні функції антиреверсного механізму для гідравлічного приводу стрічкового конвеєра та суттєво не впливає на динаміку роботи обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Березюк О.В. Науково-технічні основи проектування приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів: автореф. дис. д-ра техн. наук. Хмельницький, 2021. 46 с.
2. Polishchuk L., Piontkевич O., Burdeinyi M., Trehubov V. Justification for choosing the type of belt conveyor drive. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця: ВНТУ, 2024. № 1 (19). С. 115–122. DOI: 10.31649/2413-4503-2024-19-1-115-122
3. Поліщук Л. К. Аналіз впливу параметрів системи керування на динамічні процеси гідропривода стрічкового конвеєра [Текст] / Л. К. Поліщук, О. В. Піонткевич, О. О. Коваль // Промислова гідравліка і пневматика, 2016. № 2(52). С. 37-47.
4. Поліщук Л. К. Динаміка вмонтованого гідроприводу конвеєрів мобільних машин [Текст] : монографія / Л. К. Поліщук. Вінниця : ВНТУ, 2018. 240 с.
5. Кулешков, Ю. В. Енергозберігаючий гідропривід механізму піднімання кузова автомобіля-самоскида / Ю. В. Кулешков, Т. В. Руденко, М. В. Красота // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. Вип. 48. С. 62-69.
6. Козлов Л. Г. Гідропривод з гідрозамком / Л. Г. Козлов, О. В. Піонткевич. Пат. 107185 Україна, МПК Е 02 F 9/22, № u201511543; Опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10. 8 с.
7. Муращенко А. М. Розрахунок мобільних приводів машин / А. М. Муращенко, О. М. Яхно, О. П. Губарев, В. Г. Василюк, М. Коваленко // Problems of Friction and Wear. 2019. Vol. 3(84). P. 83 – 89
8. Поліщук Л. К. Динаміка привідних систем і стрілових конструкцій стрічкових конвеєрів мобільних машин [Текст] : автореф. дис. на ... доктора технічних наук : 05.02.09 / Леонід Клавдійович Поліщук ; Національний університет "Львівська політехніка". Львів, 2017. 40 с.
9. Березюк О.В. Аналітичне дослідження математичної моделі гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвоза // Промислова гідравліка і пневматика. 2011. № 34(4). С. 80-83.
10. Козлов Л. Характеристики мехатронного приводу під час просторового руху маніпулятора / Л. Козлов, С. Репінський, О. Паславська, О. Піонткевич // Наукові праці Вінницького національного технічного університету, 2017. – № 2. – 9 с. Електронний ресурс: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/507>
11. Polishchuk L. Application of hydraulic automation equipment for the efficiency enhancement of the operation elements of the mobile machinery / L. Polishchuk, L. Kozlov, Y. Burennikov, V. Strutinskiy, V. Kravchuk, Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Srodowisk 9(2), 2019. P. 72–78. DOI: 10.5604/01.3001.0013.2553
12. Khmara L. A. Algorithm to calculate work tools of machines for performance in extreme working conditions / L. A. Khmara, S. V. Shatov, L. K. Polishchuk, V. O. Kravchuk, P. Kisala, Y. Amirgaliyev, M. Junisbekov. In Mechatronic Systems 1, 2021. P. 29- 37. Routledge. DOI 10.1201/9781003224136-3

Светлов Артем Вікторович — аспірант групи 133-24а, Інститут докторантури та аспірантури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Трегубов Вадим Олександрович — аспірант групи 131-23а, Інститут докторантури та аспірантури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Поліщук Леонід Клавдійович — д.т.н., проф., завідувач кафедри галузеве машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com

Піонткевич Олег Володимирович — к.т.н., доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: piontkevych@vntu.edu

Anti-reverse mechanism for the hydraulic drive of a belt conveyor

Abstract

A hydraulic drive of a belt conveyor has been improved by introducing an anti-reverse mechanism (check valve) to prevent the backward movement of the belt during stop or emergency shutdown. Various types of anti-reverse mechanisms have been compared.

Keywords: hydraulic drive, belt conveyor, anti-reverse mechanism.

Svietlov Artem V. — postgraduate of the Department of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Trehubov Vadym O. — postgraduate of the Department of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Polishchuk Leonid K. — Doctor of Engineering Sciences, Head of Department of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com

Piontkevych Oleh V. — Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: piontkevych@vntu.edu.ua

ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто основні аспекти проектування промислових роботів для виробництва, а також обґрунтовано актуальність їх впровадження на сучасних підприємствах. Проаналізовано переваги застосування робототехнічних систем замість людської праці, зокрема підвищення продуктивності, зменшення виробничих витрат та підвищення рівня безпеки. Також розглянуто виклики, пов'язані з автоматизацією, зокрема соціальні та економічні наслідки витіснення людської праці.

Ключові слова: промислові роботи, автоматизація виробництва, робототехніка, безпека праці.

Вступ

Сучасне промислове виробництво стрімко розвивається, вимагаючи від підприємств більшої ефективності, точності та безпеки [1, 2]. В умовах жорсткої конкуренції та зростання вартості людської праці дедалі більше компаній займаються автоматизацією виробництва. Особливої уваги набуває проектування промислових роботів – механізмів, здатних виконувати рутинні та повторювані операції з мінімальними затратами ресурсів [3, 4].

Промислові роботи відіграють важливу роль у технологічному оновленні підприємств, адже дозволяють зменшити залежність від людського фактора, підвищити якість та швидкість виготовлення продукції [5, 6]. У цьому контексті також з'являється актуальні завдання не лише технічної реалізації роботизованих систем [7, 8], але й соціально-економічної доцільності заміни людей машинами.

Метою роботи є проаналізувати алгоритм проектування промислових роботів та доцільність їх впровадження у виробництво.

Результати дослідження

У сучасному світі промисловість стрімко розвивається, а разом із нею зростає і попит на автоматизацію виробничих процесів [9, 10]. Підприємства шукають способи зробити виробництво ефективнішим, точнішим і безпечнішим. У цьому контексті особливої актуальності набуває впровадження робототехнічних систем, зокрема промислових роботів, здатних замінити людину у виконанні стандартних, рутинних та повторюваних завдань. Такі роботи дозволяють уникнути впливу людського фактора, працюють стабільно в умовах тривалого навантаження і не потребують відпочинку чи змінного графіка. Саме тому інтерес до їх розробки та впровадження зростає з кожним роком.

Промислові роботи мають відносно просту конструкцію, не потребують складного програмного забезпечення і часто призначені для вирішення конкретної виробничої задачі. Їх використовують у таких сферах, як транспортування деталей, автоматизоване пакування, зварювання, фарбування, складання та сортування продукції [11, 12]. Основна перевага таких пристроїв полягає в їх доступності, швидкості виготовлення, а також легкості в експлуатації та обслуговуванні.

Процес створення промислового робота включає кілька важливих етапів. Спочатку необхідно чітко визначити задачу – тобто зрозуміти, що саме має виконувати робот у рамках виробничого процесу. Далі обирається тип конструкції, наприклад, чи це буде стаціонарний маніпулятор, мобільна платформа, або інший тип механізму. Після цього слід підібрати технічні компоненти – приводи, сенсори, контролери, відповідно, до функціональних вимог. Потім викону-

ється моделювання, яке дозволяє ще на етапі проектування побачити, як саме буде працювати пристрій, виявити можливі недоліки та оптимізувати систему. Завершальним етапом є тестування і доопрацювання промислового робота відповідно до отриманих результатів.

Впровадження таких роботів у виробництво має багато переваг:

- безперервна робота без зупинок на відпочинок, що значно підвищує продуктивність;
- роботи не втомлюються і не допускають випадкових помилок, як це часто трапляється з людьми під час монотонної роботи;
- висока точність і стабільність якості продукції;
- автоматизація дозволяє знизити кількість виробничих травм, адже машини можуть працювати в небезпечних умовах замість працівників;
- у довгостроковій перспективі використання роботів дозволяє значно скоротити витрати на оплату праці та утримання персоналу.

Проаналізуємо ситуацію з виготовлення пластикової тари. На лінії сортування працювали чотири пакувальники, які вручну розкладали контейнери за формою та розмірами. Після впровадження автоматизованої сортувальної системи з використанням промислових роботів (маніпуляторів) кількість працівників на цій ділянці скоротилась до одного – техника, який стежить за роботою обладнання, контролює роботу програми та втручається лише у разі несправностей. Таким чином, підприємство зменшило витрати на оплату праці із щомісячною економією в розмірі 79 тис. грн. та забезпечило окупність інвестицій в обладнання за 8,1 місяця (див. рис. 1). При цьому звільнені працівники можуть пройти перепідготовку та бути переведені на інші посади – наприклад, операторів автоматизованих ліній, або контролерів якості.

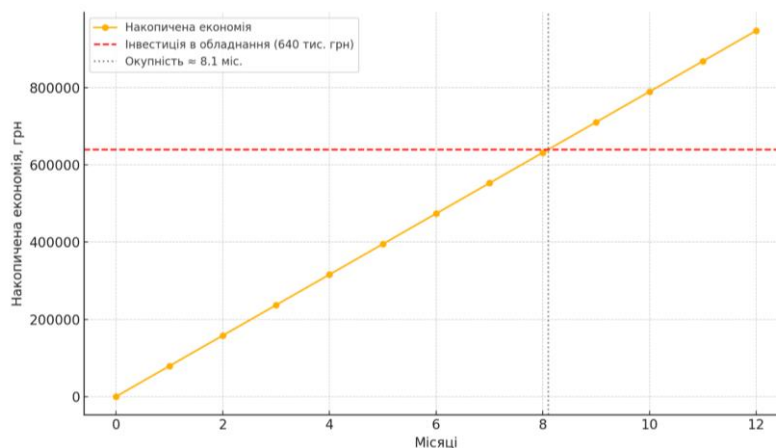


Рис. 1. Графік окупності впровадження промислових роботів

Попри ці переваги, автоматизація виробництва пов'язана і з певними труднощами. Одним з основних є високі початкові інвестиції, необхідні для проектування, придбання та впровадження роботизованих систем. Також важливо враховувати соціальний аспект – витіснення робочих місць і потребу у перекваліфікації працівників, які раніше виконували ці функції. Крім того, промислові роботи мають обмеження: вони не здатні виконувати складні, креативні або нестандартні завдання без участі людини. У багатьох випадках промисловий робот потребує контролю або втручання оператора, особливо коли йдеться про адаптацію до змін у виробничому середовищі.

Загалом, впровадження промислових роботів змінює підхід до організації праці на підприємствах. Від ручної, фізично виснажливої праці виробництво переходить до роботи з технікою, що вимагає нових знань і вищої кваліфікації. Це формує нові запити на ринку праці та стимулює розвиток технічної освіти й професійної підготовки кадрів.

Висновки

Проектування простих роботів є важливим напрямом розвитку сучасної промисловості, що дозволяє автоматизувати рутинні процеси, зменшити витрати та підвищити ефективність виробництва.

Актуальність заміни людини промисловими роботами пояснюється не лише економічними вигодами, а й прагненням до підвищення безпеки праці та стабільності виробничих процесів. Водночас, автоматизація виробництва повинна супроводжуватись урахуванням соціальних наслідків та необхідністю перепідготовки персоналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Манжілевський О. Д. Модернізація системи керування промисловим роботом моделі МРЛУ-200- 901 / О. Д. Манжілевський, М. А. Миронович // Вісник машинобудування та транспорту. 2016. №1. С. 59-66
2. Козлов Л. Г. Модернізація системи керування промислового робота ПМР-0,5-200КВ / Л. Г. Козлов, А. В. Коломійчук, Д. О. Лозінський // Збірник наукових праць Х Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент». Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка». 2019. №1. С. 128-130
3. Березюк О.В. Науково-технічні основи проектування приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів: автореф. дис. д-ра техн. наук. Хмельницький, 2021. 46 с.
4. Березюк О.В. Аналітичне дослідження математичної моделі гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвоза // Промислова гідраліка і пневматика. 2011. № 34(4). С. 80-83.
5. Піонткевич О. В., Сухоруков С. І., Сердюк О. В., Домославський В. М. Про лазерний технологічний комплекс на машинобудівному підприємстві. Вісник машинобудування та транспорту, 2022. № 16(2). С. 96-100.
6. Лозінський Д.О. Оптимізація електрогідравлічного розподільника з незалежним керуванням потоків / Д.О. Лозінський, Л.Г. Козлов, О.В. Піонткевич, О.І. Кавецький // Вісник машинобудування та транспорту, 2023. №17(1). С. 87-91. DOI: 10.31649/2413-4503-2023-17-1-87-91
7. Струтинський В. Б., Гуржій А. М. Наземні роботизовані комплекси. Монографія. Житомир: ПП «Рута», 2023. 524 с.
8. Піонткевич О. В. Підвищення ефективності багаторежимного гідроприводу фронтального навантажувача : дис. канд. техн. наук : 05.02.02 / Піонткевич Олег Володимирович. Київ, 2019. 249 с
9. Основи мехатроніки : навч. посіб. / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 372 с.
10. Березюк О.В., Сторожук С.Б., Коц І.В. Математичне моделювання вібраційного гідроприводу плити пресування твердих побутових відходів // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. 2006. № 40. С. 20 – 25.
11. Березюк О. В. Методика інженерних розрахунків параметрів обладнання для зневоднення ТПВ у сміттєвозі, Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 2, 2020, с. 73-81, doi: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-149-2-73-81>
12. Козлов Л. Г. Характеристики мехатронного приводу під час просторового руху маніпулятора / Л. Г. Козлов, С. В. Репінський, О. В. Паславська, О. В. Піонткевич // Наукові праці Вінницького національного технічного університету, 2017. – № 2. – 9 с. Електронний ресурс: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/507>

Соколовський Максим Євгенович — студент групи 2ПМ–24м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sokolovmaxys@gmail.com.

Горбачов Антон Сергійович — аспірант групи 131-24а, Інститут докторантури та аспірантури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: toha.gorbi@gmail.com

Піонткевич Олег Володимирович — к-т техн. наук, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: piontkevych@vntu.edu.ua

Design and application of industrial robots

Abstract

The main aspects of designing industrial robots for manufacturing, as well as substantiates the relevance of their implementation at modern enterprises. The advantages of using robotic systems instead of human labor are analyzed, particularly the increase in productivity, reduction of production costs, and improvement of safety. The challenges associated with automation are also considered, including the social and economic consequences of displacing human labor.

Keywords: industrial robots, production automation, robotics, labor safety.

Sokolovsky Maxim Ye. — student of the Department of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: sokolovmaxys@gmail.com.

Horbachov Anton S. — postgraduate of the Department of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: toha.gorbi@gmail.com

Piontkevych Oleh V. — Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: piontkevych@vntu.edu.ua

О.В. Петров¹
 А.Ю. Фарафон¹
 В.С. Коломієць¹
 С.В. Мельник¹

ВПЛИВ ДІАМЕТРІВ ДРОСЕЛІВ НА ЗНИЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ГІДРОЦИЛІНДРІ ПІДЙОМУ СТІЛИ МАШИНИ МАНІПУЛЯТОРНОГО ТИПУ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено вплив діаметрів дроселів на тиск у порожнинах гідроциліндра під час опускання та гальмування стріли з вантажем. Встановлено, що дроселі діаметром 2 мм і 3 мм знижують пікові навантаження на 47% при опусканні та на 40% при гальмуванні.

Ключові слова: гідроциліндр, дросель, динамічні навантаження, гальмування стріли, пік тиску.

Проведено дослідження впливу значення діаметрів дроселів на зміну величини тиску в штоковій порожнині гідроциліндру підйому стріли при опусканні та гальмуванні стріли з вантажем. Встановлено, що під час опускання стріли з вантажем і відсутності дроселя, що обмежує подачу в штокову порожнину гідроциліндру підйому стріли тиск поршневої порожнини гідроциліндра збільшується до 21 МПа, тобто перевищує тиск у процесі підйому стріли (на 15%). При гальмуванні стріли, що опускається з вантажем, пік тиску досягає до 35 МПа, тобто перевищує тиск початку гальмування на 58%. Пік тиску при гальмуванні перевищує пік тиску під час підйому стріли з вантажем на 43%. Перевищення тиску у поршневій порожнині гідроциліндра підйому при опусканні стріли з вантажем над тиском налаштування вторинного запобіжного клапана обумовлено наявністю дроселя зі зворотним клапаном в магістралі поршневій порожнини.

Для зниження тиску у поршневій порожнині гідроциліндра під час опускання стріли з вантажем пропонується встановити дросель, що обмежує подачу робочої рідини в штокову порожнину гідроциліндру.

Витрата робочої рідини через дросель, встановлений у магістралі штокової порожнини визначається за відомою формулою:

$$Q_{\text{ДР}} = \mu \cdot f_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_1 - p_2)}{\rho}}$$

де μ – коефіцієнт витрати робочої рідини через дросель;

p_1 – тиск у магістралі перед дроселем, що обмежує подачу в штокову порожнину гідроциліндра, Па;

p_2 – тиск у штоковій порожнині гідроциліндра, Па;

f_0 – площа прохідного перерізу дросельного отвору, м²;

ρ – густина робочої рідини, кг/м³.

Встановлення дроселя діаметром 2 мм, що обмежує подачу робочої рідини до поршневій порожнини гідроциліндра підйому стріли і дроселя діаметром 3 мм, що обмежує витрату робочої рідини з поршневій порожнини, дозволило зменшити тиск у поршневій порожнині

гідроциліндра в процесі опускання стріли з вантажем на 47%, ніж за відсутності дроселя у магістралі штокової порожнини гідроциліндра. При гальмуванні стріли підйому, що опускається, з вантажем, пік тиску досягає 22,5 МПа, тобто на 40% менше, ніж за відсутності дроселя у магістралі штокової порожнини гідроциліндра. Отже, дросель із зворотним клапаном у магістралі штокової порожнини значно знижує динамічні навантаження.

Висновки

Встановлення комбінації дроселів оптимальних діаметрів (2 мм у магістралі штокової порожнини та 3 мм у магістралі поршневої порожнини) дозволяє суттєво знизити піки тиску: на 47% при опусканні стріли з вантажем та на 40% при гальмуванні. Такі модифікації значно зменшують динамічні навантаження на гідросистему, підвищуючи надійність та безпеку роботи вантажопідйомного механізму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ловейкін В.С., Човнюк Ю.В., Дяченко Л.А. Динаміка гідравлічних систем вантажопідйомних кранів. Київ: ЦП "КОМПРИНТ", 2020. 212 с.
2. Лур'є З.Я., Федоренко І.М. Моделювання та оптимізація гідравлічних систем мобільних машин. Харків: НТУ "ХП", 2021. 178 с.
3. Babenko, A., Prokopenko, V., & Strutynskyi, S. (2022). Experimental research of pressure fluctuations in hydraulic actuator of boom lifting mechanism. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(1), 42-51.
4. Wu, D., Burton, R., & Schoenau, G. (2023). Analysis of Pressure Peak Reduction Methods in Hydraulic Systems of Mobile Cranes. *International Journal of Fluid Power*, 24(2), 114-129.
5. Popescu, T.C., & Dumitrescu, C. (2022). Energy efficiency improvement in hydraulic drive systems through throttle control. *Journal of Engineering Sciences and Innovation*, 7(3), 325-338.

Олександр Васильович Петров — канд. техн. наук, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-0487-6240>, petrovov@vntu.edu.ua;

Фарафон Андрій Юрійович – аспірант кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна;

Коломієць Віктор Сергійович – аспірант кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна;

Мельник Сергій Валерійович – аспірант кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

INFLUENCE OF THROUGHTER DIAMETERS ON REDUCING HYDRODYNAMIC LOADS IN THE HYDROCYLINDER OF THE LIFT BOOM OF A MANIPULATOR-TYPE MACHINE

Abstract

The effect of throttle diameters on the pressure in the hydraulic cylinder cavities during lowering and braking of a boom with a load was investigated. It was found that throttles with a diameter of 2 mm and 3 mm reduce peak loads by 47% during lowering and by 40% during braking.

Key words: hydraulic cylinder, throttle, dynamic loads, boom braking, pressure peak.

Petrov Oleksandr V. – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor, Department of Machine-building technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-0487-6240>, petrovov@vntu.edu.ua;

Farafon Andrii Yu. – post-graduate student of the Department of Mechanical Engineering and Automation Technology, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine;

Kolomiets Viktor S. – post-graduate student of the Department of Mechanical Engineering and Automation Technology, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine;

Melnyk Serhii V. – post-graduate student of the Department of Mechanical Engineering and Automation Technology, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine.

СТРУКТУРА МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

Запропоновано структуру тепличного господарства з урахуванням термодинамічних процесів, що дозволило визначити пристрої збору інформації для управління мехатронною системою мікроклімату теплиці.

Ключові слова: мехатронна система, мікроклімат, об'єкт тепличного господарства, структура, тепло-масоперенос.

Вступ

На сьогоднішній день для підвищення врожайності та якості продукції у тепличних господарствах використовують автоматизовані системи керування мікрокліматом [1,2]. Автоматизована система ґрунтується на структурі інженерних мереж тепличного об'єкта.

Метою роботи є розробка структури тепличного господарства, визначення параметрів та засобів контролю мікроклімату в середині теплиці.

Результати дослідження

Для створення автоматизованої системи упередженого керування мікрокліматом тепличного об'єкта середнього об'єму необхідно враховувати процеси тепло-масопереносу, що відбуваються в середині теплиці. Для дослідження цих процесів було запропоновано загальну структуру тепличного об'єкта до якої входять системи: вентиляції, зашторювання, обігріву, рециркуляції, поливу, зволоження та автоматизованого керування [2].



Рис. 1. Структура тепличного господарства

Перелічені інженерні системи, разом з системою керування, утворюють мехатронний об'єкт

керування параметрами в теплиці, а модель, що відслідковує зміни цих параметрів у часі, виконує функцію зворотного зв'язку для дій виконавчих пристроїв (рис.1). Враховуючи те, що в тепличному об'єкті термодинамічні процеси протікають безперервно, відповідно і перехідні процеси стабілізації швидкості та температури повітряних мас, так само, як і зміна та втрата теплової потужності та вологості є безперервними процесами. На основі аналізу структури системи і результатів моделювання процесів тепломасо-переносу було визначено параметри, які надають інформацію для забезпечення узгодженої роботи інженерних систем теплиці, а саме: температури та відносної вологості повітря, витрата через систему провітрювання, витрата водяної пари. Для врахування взаємодії із зовнішнім середовищем мають бути відомі температура та відносна вологість зовнішнього повітря, а також швидкість і напрямок вітру [2].

Для забезпечення узгодженого функціонування інженерних систем мехатронна система керування має бути забезпечена засобами моделювання тепломасообмінних процесів взаємодії з оточуючим середовищем і в середині теплиці та пристроями збору інформації: положення системи зашторювання, контролю вологості ґрунту, контролю температури і вологості повітря, контролю витрати систем вентиляції і рециркуляції.

Висновки

Встановлено, що температура та вологість повітря в середині теплиці, системи вентиляції та рециркуляції (з вікнами провітрювання), система поливу та обігріву, а також система туманоутворення є основою для структури мехатронної адаптивної системи керування мікрокліматом тепличного об'єкта. Визначено перелік засобів контролю стану інженерних систем тепличного господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Синицина Є., & Губарев О., «Мехатронна система керування температурою мікроклімату теплиці» - МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СТУДЕНТІВ, Інновації молоді в машинобудуванні, 2024, <https://imm-mmi.kpi.ua/imm2024/paper/view/30513>
2. Синицина Є.Ю. ГІДРОПНЕВМАТИЧНА СИСТЕМА ОБ'ЄКТУ ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА СЕРЕДНЬОГО ОБ'ЄМУ: дис. ... доктор філософії з 131 (Прикладна механіка). Київ, 2025. 168 с.

Степчук Владислав Олександрович — студент групи МА-41мп, кафедри прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, e-mail: vladstepcuk@gmail.com

Синицина Єлизавета Юрївна — асистент викладача, кафедри прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, e-mail: dudka2811@gmail.com

Губарев Олександр Павлович — д.т.н., професор кафедри прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, e-mail: Gubarev@i.ua

Structure of a mechatronic microclimate control system for medium-sized greenhouses

Abstract

The structure of the greenhouse economy is proposed, taking into account thermodynamic processes, which allowed us to determine the devices for collecting information for controlling the mechatronic system of the greenhouse microclimate.

Keywords: mechatronic system, microclimate, greenhouse economy, structure, heat and mass transfer.

Stepchuk Vladyslav O. - student of group MA-41mp, Department of Applied Hydroaeromechanics and Mechatronics, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, e-mail: vladstepcuk@gmail.com

Synitsyna Yelyzaveta Y. - Assistant Lecturer, Department of Applied Hydroaeromechanics and Mechatronics, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, e-mail: dudka2811@gmail.com

Gubarev Oleksandr P. - Ph. Sci, Professor of the Department of Applied Hydroaeromechanics and Mechatronics, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, e-mail: Gubarev@i.ua

РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ МАНІПУЛЯТОРУ ДЛЯ ЗЧИТУВАННЯ ШТРИХ-КОДІВ

¹Український державний університет науки і технологій ННІ
«Український державний хіміко-технологічний університет» м. Дніпро,
Україна

Анотація

В статті відображено роботу розробленого пристрою для зчитування штрих-кодів на основі мікропроцесорного контролера Atmel AVR на базі плати KEYSTUDIO UNO R3.

Розроблено програмне забезпечення для роботи програмованого мікропроцесора Atmel. Програми обробляються за допомогою препроцесора та компілюються за допомогою AVR-GCC.. Програми Arduino пишуться на мові програмування C або C++. Розроблена система дозволяє збільшити надійність та безпеку зчитування кодів та забезпечити комфортні умови для роботи обслуговуючого персоналу.

Ключові слова: мікропроцесорний контролер, якість системи керування, автоматизація, маніпулятор, arduino, програмне забезпечення, програмне кодування, штрих-код

Все частіше в сучасних реаліях нашої країни постає питання у використанні маніпуляторів. Так їх існує дуже велика кількість, ця галузь дуже розвинута в сучасному світі, але й досі залишаються питання які можна вирішити за допомогою маніпуляторів.

В промисловості різні операції вже давно виконуються роботами, а от поєднання їх в соціумі ще тільки набирає обертів. Тому їх програмування по-перше потребує різних напрямків та переваг росту. Так як штрих-коди зараз заповнили майже всі сфери життя постало питання в їх прямому зчитуванні з розпізнаванням та відкиданням недійсного або незчитуваного коду, тобто потрібно не лише зчитати код, а й звернутись до бібліотек для його розпізнавання та визнання. Тому саме від програмування буде повністю залежати їх чіткість роботи [1,2]. Складність роботи полягала в необхідності використання різних мов програмування для різних задач та складових. В роботі використали маніпулятор ангулярного типу, що базується на використанні кінематичних ланцюгів, які мають кутові з'єднання між сегментами.

Arduino Uno [3-5] є популярною та доступною платою Arduino, на якій можна використовувати різноманітні корисні пристрої. Вона дозволяє вирішувати більшість завдань в області мікроконтролерної техніки і повністю задовільнила вибрану задачу. Пошук пристрою, під'єданого до комп'ютеру, базується на переборі всіх активних СОМ-портів з перевіркою відповіді на певний запит. При знаходженні пристрою цикл переривається і далі робота програми продовжується вже з обраним портом. Для спрощення процесу передачі інформації і оптимізації коду, було прийняте рішення про відмову від використання самописного протоколу передачі даних. Тому прослуховування порту базується на простих евентах початку-кінця пакету даних.

В рамках дослідження в якості SCADA системи обрано програмний продукт Simplight. Який виконує роль супервізорного керування та супервізорного спостереження [1]. Система показала себе як ефективну.

Розроблений програмний код працює, та дає змогу передавати данні по протоколу Modbus.

Розроблений проєкт у SCADA системі Simplight дає змогу спостерігати за відхиленнями від завдання та здійснює тестування процесу унеможливаючи застосування шахрайства.

Під час проведення дослідження було випробувано методи підвищення надійності роботи програм та плати Arduino uno.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування [Текст]: Підручник / М.Г. Попович, Ковальчук О.В. – 2-ге вид., переробл. і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
2. Медведєв, Р.Б. Навчальна система побудови стратегій керування на базі мікропроцесорної техніки [Текст] / Р.Б. Медведєв, С.Г. Бондаренко, О.В. Сангинова // Вісник НТУУ "КПІ" Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2008.– №2(2).– С. 31-36.
3. Блог про сучасне роботизоване обладнання [Електроний ресурс]. – [http:// https://sbrobotics.ua/stati/](http://https://sbrobotics.ua/stati/)
4. Широкий Д.К. Розрахунок параметрів промислових систем регулювання. Довідник [Текст] / Д.К. Широкий, О.Д. Куриленко. – К.: Техніка, 1972. – 232 с.
5. Побудова алгоритмів керування: Довідник користувача [Текст] – Honeywell Experion PKS. – Fort Washington, PA, 2006 - 818 с.

Сольський Ярослав Володимирович – студент, Український державний університет науки і технологій ННІ «Український державний хіміко- технологічний університет» м. Дніпро, Україна

Фурса Ольга Олександрівна – к.т.н., доцент кафедри комп'ютерно- інтегрованих технологій та автоматизації, Український державний університет науки і технологій ННІ «Український державний хіміко- технологічний університет» м. Дніпро, Україна, fursa.olga.ua@gmail.com

Лосіхін Дмитро Анатолійович – старший викладач, кафедри комп'ютерно- інтегрованих технологій та автоматизації, Український державний університет науки і технологій ННІ «Український державний хіміко- технологічний університет» м. Дніпро, Україна, losihindima@gmail.com

Development of a prototype manipulator for reading barcodes

Abstract

The article describes the operation of the developed barcode reader based on the Atmel AVR microprocessor controller on the basis of the KEYSTUDIO UNO R3 board.

Software for the operation of the Atmel programmable microprocessor has been developed. Programs are processed using a preprocessor and compiled using AVR- GCC. Arduino programs are written in the C or C++ programming language. The developed system allows to increase the reliability and safety of reading codes and to provide comfortable conditions for the work of service personnel.

Keywords: include microprocessor controller, quality of the control system, automation, manipulator, Arduino, software, and software coding, as well as barcode.

Solskyi Yaroslav – student, Ukrainian State University of Science and Technology, Ukraine Dnipro, Ukraine
Fursa Olha – PhD, associate professor, Department of Computer Integrated Technologies and Automation, Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Ukraine, fursa.olga.ua@gmail.com

Losihin Dmytro – Senior Lecturer, Department of Computer-Integrated Technologies and Automation, Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Ukraine, losihindima@gmail.com

РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ УНІВЕРСАЛЬНОГО ПРИБОРУ МОНІТОРИНГУ СПІВРОБІТНИКІВ

¹Український державний університет науки і технологій ННІ
«Український державний хіміко-технологічний університет» м. Дніпро,
Україна

Анотація

В даній роботі було створено моніторинговий дистанційний пристрій, що підтримує Wi-Fi та Bluetooth на основі мікроконтролера LILYGO T-Display ESP32. Спроектований пристрій підтвердив актуальність розробки при важливості своєчасного контролю параметрів навколишнього середовища. Розроблений прототип є гнучким, масштабованим та придатним для використання в реальних умовах

Ключові слова: мікропроцесорний контролер, температура, концентрація повітря, якість системи керування, автоматизація, програмне забезпечення, програмне кодування, якість повітря, моніторинг

В умовах стрімкого розвитку технологій і зростання інтересу до систем моніторингу навколишнього середовища, створення компактних і енергоефективних пристроїв на базі мікроконтролерів стає все більш актуальним. Метою роботи було створити прототип інтелектуального пристрою для моніторингу температури та якості повітря, такий щоб з ним було зручно пересуватися, та при можливості носити з собою. Так як під час пандемії стало питання в повсякчасному моніторингу співробітників підприємств. А такий пристрій забезпечить безупинний моніторинг співробітників та контроль за їх життям та здоров'ям. Такий пристрій легко можна застосовувати в побуті так як він може поєднуватись з телефоном, що є зручним та необхідним під час епідемій. В ході аналізу представлених моделей [1.2] на ринку було прийнято рішення в створенні саме поєднаного пристрою, що буде слідкувати і за температурою і за якістю повітря, так як ця проблема є актуальною було проведено дане дослідження. Вибір мікроконтролера [2-4], оснащеного вбудованим дисплеєм, впав на ESP32 так як він є високо продуктивним, підтримує Wi-Fi та Bluetooth, а також зручний у візуалізації даних в реальному часі. Обраний підхід дозволив створити функціональний та візуально зрозумілий пристрій для застосування в домашніх та промислових умовах. Місцем проведення дослідження є УДУНТ ННІ УДХТУ, а саме кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації. В ході роботи було розроблено, зібрано та протестовано прототип інтелектуального пристрою для моніторингу температури та якості повітря на основі мікроконтролера LILYGO T-Display ESP32.

Проведені дослідження та практична реалізація проєкту підтвердили ефективність використання недорогих апаратних компонентів у поєднанні з сучасними програмними, для створення апаратної частини пристрою, включаючи підключення датчиків температури (MLX90614), якості повітря (MQ-135) та звукового модуля (KY-012). В ході роботи розробили макетну та принципову електричну схему з урахуванням вимог до електроживлення, реалізовано вивід даних на TFT-дисплей у реальному часі з візуалізацією критичних значень, впроваджено звукове сповіщення при перевищенні порогових параметрів, створено веб-інтерфейс на мікроконтролері для локального перегляду даних у браузері, здійснено передачу зібраної інформації на сервер за допомогою HTTP-запитів,

збережено дані у базі SQLite та інтегровано Telegram-бота для оперативного інформування користувача про зміну робочих умов.

Проект підтвердив актуальність розробки подібних пристроїв у сучасних умовах, де важливо своєчасно контролювати параметри навколишнього середовища. Розроблений прототип є гнучким, масштабованим та придатним як для навчальних цілей, так і для використання в реальних умовах. Подальший розвиток проєкту може включати розширення функціоналу, підключення додаткових сенсорів, використання хмарних сервісів для довготривалого зберігання та аналізу даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Будова та принцип роботи сервоприводу. - URL: <https://radiomodel.in.ua/budova-ta-printsip-roboti-servoprivodu>.
2. Петраков Ю.В. Автоматизація технологічних процесів у машинобудуванні засобами мікропроцесорної техніки / Ю.В. Петраков, П.П. Мельничук // Навч. посібник для студентів. Житомир: ЖДТУ. 2001. 194 с.
3. Блог про сучасне роботизоване обладнання [Електроний ресурс]. – [http:// https://sbrobotics.ua/stati/](http://https://sbrobotics.ua/stati/)
4. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. Навчальний посібник «Мехатроніка»: Київ, 2012 р., 357 с.

Сольський Ярослав Володимирович – студент, Український державний університет науки і технологій ННІ «Український державний хіміко- технологічний університет» м. Дніпро, Україна

Костенко Дмитро Русланович – студент, Український державний університет науки і технологій ННІ «Український державний хіміко- технологічний університет» м. Дніпро, Україна

Фурса Ольга Олександрівна – к.т.н., доцент кафедри комп'ютерно- інтегрованих технологій та автоматизації, Український державний університет науки і технологій ННІ «Український державний хіміко- технологічний університет» м. Дніпро, Україна, fursa.olga.ua@gmail.com

Лосіхін Дмитро Анатолійович – старший викладач, кафедри комп'ютерно- інтегрованих технологій та автоматизації, Український державний університет науки і технологій ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» м. Дніпро, Україна, losihindima@gmail.com

Development of a prototype of a universal employee monitoring device

Abstract

In this work, a remote monitoring device supporting Wi-Fi and Bluetooth was created based on the LILYGO T-Display ESP32 microcontroller. The designed device confirmed the relevance of the development given the importance of timely monitoring of environmental parameters. The developed prototype is flexible, scalable and suitable for use in real conditions

Keywords: microprocessor controller, temperature, air concentration, quality control system, automation, software, software coding, air quality, monitoring

Solskyi Yaroslav – student, Ukrainian State University of Science and Technology, Ukraine Dnipro, Ukraine

Kostenko Dmytro – student, Ukrainian State University of Science and Technology, Ukraine Dnipro, Ukraine

Fursa Olha – PhD, associate professor, Department of Computer Integrated Technologies and Automation, Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Ukraine, fursa.olga.ua@gmail.com

Losihin Dmytro – Senior Lecturer, Department of Computer-Integrated Technologies and Automation, Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Ukraine, losihindima@gmail.com

РОЗРОБКА ТА ВИГОТОВЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СМАРТ-РУКИ РОБОТА-ГУМАНОЇДА

Луцький національний технічний університет

Анотація. У даному дослідженні представлено проектування та виготовлення гуманоїдної роботизованої руки з п'ятьма пальцями, що інтегрують датчики натягу ниток для моніторингу рухів пальців. Метою є відтворення функціональності людської руки за допомогою доступної конструкції з потенційним застосуванням у гуманоїдній робототехніці та протезній реабілітації.

Ключові слова: робот, смарт-рука, 3D-друк, сервопривід, Arduino.

Робот – це особливий вид машини, який призначений для виконання завдань автоматично з певним рівнем автономності. На відміну від звичайних машин, роботи мають здатність відчувати навколишнє середовище, приймати рішення на основі цієї інформації та виконувати відповідні дії. Вони побудовані з різних деталей і механізмів, які дозволяють їм рухатися, взаємодіяти з об'єктами та виконувати певні функції [1].

Роботизовані руки, що мають характеристики подібні до людських, широко досліджуються в робототехніці. Різноманітні роботизовані руки розробляються з метою підвищення спритності, ефективності та функціональності робота, який має бути подібним до людини, кожна з яких пропонує особливу інноваційну конструкцію, оптимізовану для конкретного завдання [2-4].

Метою даного наукового дослідження є аналіз динамічного процесу руки робота гуманоїда як науково-дослідної платформи і об'єкта керування з розробкою функціональної схеми ділянки автоматизованої системи керування, розрахунку техніко-економічного обґрунтування та впровадження розробленої системи автоматизації.

Більш того, розробка штучних роботизованих систем, які здатні імітувати людське тіло, породжує актуальні і перспективні питання щодо їх здатності маніпулювати речами, що робить особливо актуальною сферу біомеханічного протезування. Наприклад, щоб отримати простий у використанні, легкий і візуально привабливий протез руки людини, необхідно вивчити природну руку, отримати її кінематичну модель та спроектувати біомеханічний прототип.

Загалом динамічне моделювання руки людини необхідне, оскільки її нормальні фізіологічні рухи породжують динаміку руху, адже рука людини — це дуже складний механізм із багатьма ступенями свободи, тому моделі рук і кистей, які вивчені в рамках даної практики, базуються на вивченні кінематики та динаміки рухів. Ці моделі можна буде використовувати як надійну методологічну і експериментальну основу для розробки прийнятних протезів рук людини з інтелектуальним компонентом керування.

У Луцькому національному технічному університеті групою авторів була розроблена рука робота-гуманоїда (рис.1) на базі проекту відкритого коду (OpenSource Humanoid Robot), за прикладом проекту 3D PRINTED LIFE SIZE ROBOT, InMoov.ii Humanoid Robot реалізованого у Novia University of Applied Science (Фінляндія).



Рисунок 1 – Рука робота-гуманоїда (розробка ЛНТУ)

Створення демонстраційної установки аватара руки робота-гуманоїда включає не лише відтворення, а оптимізацію і вдосконалення OpenSource Humanoid Robot, адже ЛНТУ і кафедра «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» займаються передовими науковими дослідженнями (рис.2).

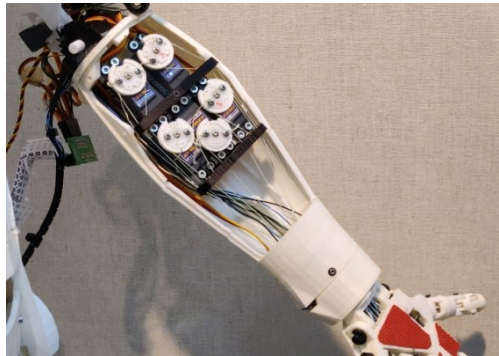


Рисунок 2- Вигляд руки робота-гуманоїда та модуль керування у вигляді рукавиці з набором сенсорів

3D-модель руки видрукувалася за допомогою 3D-принтера. Автоматизована система має у своєму складі встановлені поворотні приводи (сервоприводів), пристрої комутації з датчиком руху Microsoft Kinect, планшет для керування Arduino (планшет типу NuVision чи подібні) (рис.3).



Рисунок 3 - Автоматизована система смарт-руки

Розробка автоматизованої системи роботизованої штучної руки, яка здатна імітувати людську руку у подальшому буде платформою для відповідних експериментів у навчально-практичних цілях з подальшим застосуванням у вирішенні проблем медичної реабілітації людей з інвалідністю [5]. Адже рука є дуже важливою частиною людського тіла, тому так важливо якнайшвидше відновити максимальну ефективність роботи руки та її руху для людей, які внаслідок нещасного випадку чи захворювання були позбавлені цих можливостей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи робототехніки: конспект лекцій для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навч., спец.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, / Державний біотехнологічний університет; упоряд. М.С. Сорокін, – Харків: [б. в.], 2024. –94с.
2. Yang H, Wei G, Ren L, Qian Z, Wang K, Xiu H, Liang W (2021) An affordable linkage-and-tendon hybrid-driven anthropomorphic robotic hand-MCR-hand II. ASME J. Mechanisms Robotics 13(2).
3. Butterfaß J, Grebenstein M, Liu H, Hirzinger G (2001) DLR-Hand II: next generation of a dextrous robot hand. In: Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 1, pp. 109–114.
4. Bridgwater LB, Ihrke CA, Diftler MA, Abdallah ME, Radford NA, Rogers JM, Linn DM (2012) The robonaut 2 hand-designed to do work with tools. In: 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3425–3430.
5. Сичук В.А., Сичук А.В. РОБОТ АВАТАР – КЛОН РУКИ САПЕРА. Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2024): інженерія, матеріали, технології, транспорт: збірник наукових доповідей міжнародної конференції, Луцьк, Україна, 14-16 травня 2024 р. – Луцьк : Вежа-Друк, 2024. С. 264 – 266.

Повстяной Олександр Юрійович, д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Луцький національний технічний університет, Луцьк, povstjanoj@ukr.net

Сацук Віктор Олександрович, к.с-г.н., доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Луцький національний технічний університет, Луцьк, v.satsyk@lutsk-ntu.com.ua

Маркіна Людмила Миколаївна, ст. викладач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Луцький національний технічний університет, Луцьк, l.marckina@lntu.edu.ua

DEVELOPMENT AND MANUFACTURING OF AN AUTOMATED SMART HAND HUMANOID ROBOT

Abstract. This study presents the design and fabrication of a five-fingered humanoid robotic hand integrating filament tension sensors to monitor finger movements. The goal is to replicate the functionality of the human hand using an affordable design with potential applications in humanoid robotics and prosthetic rehabilitation.

Keywords: robot, smart hand, 3D printing, servo, Arduino.

Povstianoy Oleksandr, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk, povstjanoj@ukr.net

Satsyk Viktor, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk, v.satsyk@lutsk-ntu.com.ua

Markina Lyudmila, Senior Lecturer of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk, l.marckina@lntu.edu.ua

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОДАЧІ ЗАГОТОВОК НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПК

Національний університет «Чернігівська політехніка»

Анотація

Запропоновано нову конструкцію приладу для автоматизованого завантаження заготовок при обробці на токарному верстаті з ЧПК. Перевагами використання якого є невеликі його габарити, простора у виготовленні, встановленні та керуванні. А також збільшення машинного часу роботи верстату без безпосередньої участі оператора.

Ключові слова: подаючий пристрій, токарна обробка, автоматизація.

Сучасна машинобудівна галузь стрімко розвивається і вимагає все більшої автоматизації процесів виробництва. Це зумовлено декількома факторами, по-перше значно збільшуються обсяги виробництва, що вимагає залучення більшої кількості фахівців та обладнання, однак при цьому на ринку праці спостерігається певний кадровий голод. Ці проблеми і вирішуються шляхом автоматизації, яка стає ключовим фактором у сучасному машинобудуванні, загалом вона дозволяє компенсувати нестачу кваліфікованих кадрів, підвищити продуктивність і зменшити вплив людського фактору на виробничі процеси.

Наразі є значна кількість подаючих пристроїв [1], серед яких найбільш поширені автоматичні подавачі, роботизовані маніпулятори та різноманітні конвеєрні системи. Значну частку завантажувальних робіт виконують різноманітні живильники. Однак їх проектування та розрахунок є досить складним та вимагає певних навиків, крім того такі живильники важко налаштовувати для завантаження деталей на токарні верстати. Більш гнучкими є спеціалізовані роботизовані комплекси [2]. Вони мають більш широку сферу застосування, можуть використовуватись для різних типів верстатів та заготовок. Однак мають високу вартість, в більшості значні габарити та вимагають високої кваліфікації персоналу для налаштування.

Для забезпечення автоматизованого завантаження токарного верстату та вирішення вище описаних недоліків, запропоновано конструкцію касетного подаючого пристрою (рис. 1). Він встановлюється в межах робочого простору верстату та не потребує додаткового приводу. Програма керування системою подачі заготовок інтегрується в загальну програму керування обробкою на системі ЧПК що звільняє оператора від додаткових маніпуляцій.

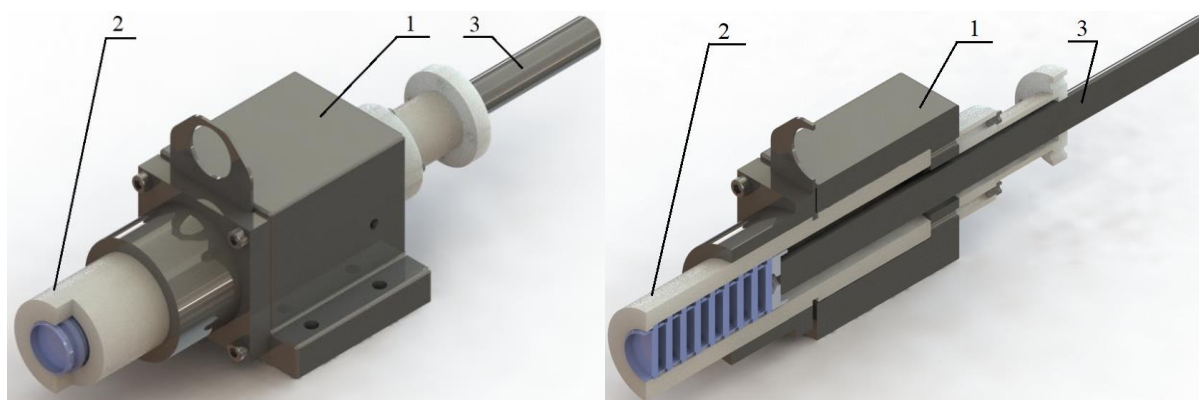


Рис. 1. Загальний вигляд пристрою подачі заготовок

Касетний завантажувальний пристрій (рис. 1) складається з корпусу 1, який кріпиться на рухомий стіл верстату, касети 2 та поршня зі штоком 3. Внутрішній діаметр касети відповідає діаметру заготовок. Заготовки встановлюються партією близько 20 шт, та почергово завантажуються в зону обробки.

Подавач наближується до патрону токарного верстату, який затискає першу деталь. Далі за рахунок наявності половинчастого вирізу у касеті пристрій відводиться в бік із зони обробки. Таким чином деталь закріплена та готова для подальшого точіння. Введення наступної деталі в позицію готову до завантаження, здійснюється за рахунок пружини, що підтискає поршень, тим самим рухаючи заготовку до потрібного положення. В залежності від габаритів верстату можливе встановлення декількох касетних накопичувачів.

Таким чином, конструкція розробленого касетного подаючого пристрою дозволяє встановлювати його безпосередньо в робочому просторі токарного верстату. Це забезпечує економію виробничих площ на відміну від використання відомих приладів, наприклад, роботизованої руки. Також прилад може використовуватись для декількох типорозмірів та конфігурацій заготовок, що забезпечується шляхом заміни вкладишу. В одній касеті в залежності від типу заготовок може розміщуватись близько 20 деталей, таким чином верстатний час збільшується більш ніж у 20 разів. Це звільняє оператора від необхідності постійної заміни заготовок та дозволяє йому обслуговувати більшу кількість верстатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гнучкі комп'ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління: Підручник / Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, Б.Б. Самотокін, М.М. Полішук, М.М. Ткач, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко.- Житомир: ЖДТУ, 2005.- 680 с.: 362 іл.

2. Литвин, О. В., & Паньков, С. Б. (2021). Роботизовані маніпулятори особливого призначення. Технічні науки та технології, (1(19), 081–088. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-1\(19\)-81-88](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-1(19)-81-88)

Кологойда Антоніна Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національного університету «Чернігівська політехніка», м. Чернігів, kolohoidaitm@stu.cn.ua

Пасов Геннадій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національного університету «Чернігівська політехніка», м. Чернігів, pasovitm@stu.cn.ua

Горогоцький Юрій Олексійович, аспірант гр. АСД 133-24, Національного університету «Чернігівська політехніка», м. Чернігів, Yuriy1980@stu.cn.ua

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR AUTOMATED WORKPIECE FEEDING ON A CNC LATHE

Abstract

A new design of a device for automated loading of workpieces during processing on a CNC turning machine is proposed. The advantages of using it are its small dimensions, ease of manufacture, installation and control. As well as increasing the machine operating time of the machine without direct operator participation.

Keywords: feeder, turning, automation.

Kolohoida Antonina, PhD, Associate Professor, Department of Automobile Transport and Industrial Engineering, Chernihiv Polytechnic National University. Chernihiv, kolohoidaitm@stu.cn.ua

Pasov Gennadiy, PhD, Associate Professor, Department of Automobile Transport and Industrial Engineering, Chernihiv Polytechnic National University. Chernihiv, pasovitm@stu.cn.ua

Horohotskyi Yuriy, PhD student, group ASD 133-24, Chernihiv Polytechnic National University. Chernihiv, Yuriy1980@stu.cn.ua

ПРОМИСЛОВІ ЗВАРЮВАЛЬНІ РОБОТИ: ВИРІШЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОБЛЕМ ТА СТИМУЛЮВАННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ

¹Національний університет цивільного захисту України

²ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА"

³Національний університет «Запорізька політехніка»

***Анотація.** У статті представлено аналітичний огляд трансформації промислового зварювання в умовах автоматизації, зокрема впровадження роботизованих систем у 2020–2025 роках. Визначено ключові проблеми традиційного ручного зварювання та показано, як роботизація вирішує їх за рахунок підвищення продуктивності, точності, безпеки та економічної ефективності. Розглянуто приклади практичного впровадження зварювальних роботів у виробництві, з урахуванням сучасних технологічних трендів – штучного інтелекту, цифрових двійників та коботів.*

Ключові слова: роботизоване зварювання, автоматизація, продуктивність, коботи, цифрова трансформація, безпека праці.

Промислове зварювання залишається базовим етапом у виготовленні металоконструкцій та обладнання в ключових галузях: машинобудуванні, енергетиці, будівництві, транспорті. Проте традиційне ручне зварювання стикається з комплексом викликів, серед яких – дефіцит кваліфікованих кадрів, нестабільність якості швів, високі трудові витрати, а також ризики для здоров'я працівників через вплив шкідливих факторів (ультрафіолетове випромінювання, випари металів, ергономічні навантаження) [1, 2].

Поширені дефекти ручного зварювання – пористість, бризки, подрізи, деформації та тріщини – негативно впливають на цілісність конструкцій, підвищують витрати на переробку й знижують загальну ефективність виробництва. Крім того, нестабільність параметрів, пов'язана з людським фактором (втома, концентрація, досвід), робить якість зварних з'єднань непередбачуваною [2].

Роботизоване зварювання забезпечує суттєве підвищення технологічної та економічної ефективності процесу. Так, час увімкнення дуги (arc-on time) для ручного зварювання становить лише 10–40%, тоді як у роботизованих системах цей показник досягає 60–80% і більше [2]. Роботи працюють безперервно, без втоми, з високою повторюваністю рухів, що гарантує стабільну якість зварювання.

Впровадження систем FANUC компанією Will-Burt Co. дозволило збільшити продуктивність у 3–4 рази, додатково забезпечивши 240–320 годин зварювання щотижня на одну систему. Це дало змогу залучити понад \$4 млн контрактних замовлень, знизити ризики для працівників і покращити якість продукції [3]. У свою чергу, компанія Raymath застосувала коботів Universal Robots, що забезпечило 200% приріст зварювального виробництва з повною окупністю проекту менш ніж за 12 місяців [4].

Роботи дозволяють не лише зменшити витрати на оплату праці, а й підвищити точність зварювання. Сучасні системи з вбудованими сенсорами, машинним зором і цифровими двійниками досягають точності до 0,08 мм і ефективності виявлення дефектів на рівні понад 97% [1]. Це значно знижує частку браку й витрати на матеріали. Більше того, такі системи легко інтегруються у середовище «Індустрії 4.0», взаємодіють з MES/ERP і забезпечують передбачуваність, контроль і самодіагностику процесів.

Застосування роботизованих систем також підвищує рівень безпеки на робочому місці, оскільки людина виводиться із зони дії небезпечних факторів. Це сприяє зниженню рівня травматизму,

зменшенню витрат на страхування та формуванню більш безпечного і привабливого виробничого середовища [4]. Компанія General Motors, зокрема, завдяки роботизації, уникла понад 100 випадків зупинки виробництва, кожна хвилина яких могла коштувати \$20 000 [4].

У середньо- та довгостроковій перспективі роботизація зварювальних процесів стає ключовим фактором виживання і зростання виробничих підприємств. Вона дозволяє масштабувати потужності, підтримувати стабільно високу якість, впроваджувати нові технології та формувати нову модель виробничої зайнятості – від операторів до програмістів і аналітиків даних [5].

У контексті глобальної цифрової трансформації промисловості, роботизоване зварювання стає не лише технологічним рішенням, а стратегічною складовою концепції «розумного виробництва» (Smart Manufacturing). Зростає роль таких підходів, як цифрові двійники, які дозволяють моделювати процеси офлайн, оптимізувати зварювальні параметри та мінімізувати помилки ще до фізичного запуску виробничого циклу. Такі системи активно застосовуються в авіа- та суднобудуванні, де ціна помилки є критично високою [1].

Паралельно з цим розвиваються системи самонавчання на основі штучного інтелекту, які дають змогу автоматизувати програмування зварювального маршруту за CAD-моделлю, проводити адаптивну корекцію у реальному часі залежно від геометрії деталі, спостерігати за стабільністю дуги та контролювати якість шва без втручання людини [1, 2]. Таке поєднання дозволяє перейти від класичної автоматизації до автономних зварювальних систем.

Важливо зазначити, що попри переваги, масове впровадження роботизованого зварювання стикається з низкою викликів. До них належать високі початкові капітальні витрати, потреба у кваліфікованих кадрах для обслуговування та програмування роботизованих комплексів, складність інтеграції в існуючі виробничі процеси, особливо в умовах багатоміністерного виробництва [4].

Однак сучасні тренди свідчать про поступове зниження цих бар'єрів. Наприклад, роботи з інтуїтивними інтерфейсами та функцією «навчання з демонстрації» стають доступними для малих і середніх підприємств. Крім того, інтеграція low-code та no-code платформ у середовище промислової автоматизації відкриває шлях до демократизації технологій – коли оператор без навичок програмування може налаштувати базовий цикл зварювання [5].

Усе це вказує на те, що роботизоване зварювання не є статичним технологічним інструментом, а динамічною складовою цифрової індустрії, яка безпосередньо впливає на гнучкість виробництва, інноваційну здатність підприємства та його конкурентну позицію на ринку. Успішна адаптація до цих змін передбачає інвестиції не лише в обладнання, а й у людський капітал – перекваліфікацію зварювальників у програмістів роботів, створення мультидисциплінарних команд, які поєднують знання в сфері матеріалознавства, автоматизації, IT та інженерії [5].

В електронній та енергетичній промисловості використання роботів забезпечує ультраточне зварювання компонентів, що критично важливо для мікроелектроніки, акумуляторних систем та елементів ВДЕ (відновлюваних джерел енергії). Завдяки автоматизації вдається уникнути пошкодження чутливих деталей і підвищити якість з'єднання, що особливо важливо у виробництві електромобілів та сонячних батарей [1, 4].

Ще один важливий аспект – економічна доцільність. Попри значні початкові інвестиції, окупність роботизованих зварювальних систем відбувається в межах 12–24 місяців, що підтверджується практикою середніх виробників (наприклад, Raymath) [4]. Додатково скорочуються витрати на переробку, брак, оплату понаднормових годин і страхові внески. Автоматизація також дозволяє уникати дороговартісних зупинок виробництва – у випадку General Motors це врятувало компанію від понад 100 інцидентів простою [4].

Очікується, що надалі ключову роль відіграватимуть технології інтеграції роботів у єдину цифрову екосистему підприємства. Це передбачає зв'язок з ERP, MES, PLM-системами, що дозволяє здійснювати моніторинг в реальному часі, прогнозне обслуговування, аналіз ефективності та коригування стратегії виробництва на основі даних [1, 5].

У найближчі роки слід очікувати активного поширення роботів третього покоління – здатних навчатися у змінному середовищі, адаптуватися до варіативної геометрії деталей, виконувати зварювання у складних просторових положеннях, зокрема на будівельних майданчиках, у суднобудуванні чи нафтогазових об'єктах [5].

Підсумовуючи, можна стверджувати: роботизоване зварювання перетворюється на один з головних інструментів підвищення ефективності, безпеки та гнучкості виробничих процесів. Його впровадження є не лише реакцією на поточні виклики, а елементом стратегічного оновлення промисловості, що формує підґрунтя для сталого розвитку, цифрової трансформації та конкурентоздатності в умовах глобальної конкуренції.

У довгостроковій перспективі очікується повна автономізація зварювальних процесів у рамках інтелектуального виробництва (Smart Factory), де роботизовані зварювальні системи не лише виконуватимуть технологічну операцію, а й самостійно прийматимуть рішення, навчатися на основі накопичених даних, співпрацюватимуть з іншими машинами та системами в реальному часі.

Це вимагає, з одного боку, активної участі держави у стимулюванні модернізації підприємств (через гранти, пільгове оподаткування, програми підготовки кадрів), а з іншого – готовності бізнесу до інвестицій у довгострокову трансформацію. Роль науково-освітніх установ у цьому процесі важко переоцінити, адже саме вони є джерелом інновацій, технічної експертизи та підготовки нового покоління інженерів.

Таким чином, роботизоване зварювання вже сьогодні несе значний потенціал для забезпечення технологічної незалежності, підвищення ефективності національного виробництва та інтеграції української промисловості у глобальні ланцюги постачання. Його подальший розвиток має базуватись на синергії інженерного досвіду, сучасних ІТ-рішень та стратегічного бачення майбутнього промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. An overview of robot applications in automotive industry / M. Bartoš et al. *Transportation research procedia*. 2021. Vol. 55. P. 837–844. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.052>.
2. Research review and future directions of key technologies for welding robots in the construction industry / H. Bu et al. *Buildings*. 2024. Vol. 14, no. 8. P. 2261. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings14082261>.
3. TOP 5 global robotics trends 2025. Home of Welding. URL: <https://www.home-of-welding.com/news/top-5-global-robotics-trends-2025-4966>.
4. Multi-Axis spot welding robot decade long trends, analysis and forecast 2025-2034. *Comprehensive Market Research & Forecast Analysis | Data Insights Market*. URL: <https://www.datainsightsmarket.com/reports/multi-axis-spot-welding-robot-75781> (date of access: 21.05.2025).
5. Kang Y., Chen R. Welding robot automation technology based on digital twin. *Frontiers in mechanical engineering*. 2024. Vol. 10. URL: <https://doi.org/10.3389/fmech.2024.1367690>.

Цимбал Богдан Михайлович, доктор наук з державного управління, доцент, професор кафедри охорони праці та екологічної безпеки, Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси, tsembalbogdan@ukr.net, доцент кафедри автоматизації, електро- та роботехнічних систем факультету автоматизації виробництва та цифрових технологій, ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА", м. Запоріжжя.

Молочков Денис Євгенійович, доктор філософії, старший викладач кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій, Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя.

Abstract

The article presents an analytical review of the transformation of industrial welding in the context of automation, in particular the introduction of robotic systems in 2020–2025. The key problems of traditional manual welding are identified and it is shown how robotics solves them by increasing productivity, accuracy, safety and economic efficiency. Examples of practical implementation of welding robots in production are considered, taking into account modern technological trends - artificial intelligence, digital twins and cobots.

Keywords: *robotic welding, automation, productivity, cobots, digital transformation, occupational safety.*

Tsymbal Bohdan Mykhailovych, Doctor of Science in Public Administration, Associate Professor, Professor of the Department of Occupational Health and Environmental Safety, National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkasy, tsembalbogdan@ukr.net, Associate Professor of the Department of Automation, Electrical and Robotic Systems, Faculty of Production Automation and Digital Technologies, Limited Liability Company “METINVEST POLYTECHNICA TECHNICAL UNIVERSITY”, Zaporizhzhia.

Molochkov Denys Yevheniiiovych, Doctor of Philosophy, Senior Lecturer at the Department of Integrated Welding Technologies and Structural Modeling, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, d.molochkov@triada-welding.com

НЕОБХІДНІСТЬ АВТОМАТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕПЛО-ВОЛОГОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВОК ТІСТА ПРИ ВИПІКАННІ ХЛІБА В ТУНЕЛЬНІЙ ПЕЧІ

¹ Одеський національний технологічний університет

Анотація

Покращення якості хліба в процесі випікання може бути досягнуто за рахунок оптимізації тепло-вологої обробки заготовок при випіканні хліба в тунельній печі. Для цього пропонується вдосконалити існуючу автоматизовану систему управління шляхом додавання системи керування температурою та вологістю в зоні випікання хліба.

Ключові слова: автоматизовані системи управління, хлібопекарські печі, випікання хліба, термічна та волога обробка.

Сучасні автоматизовані системи управління хлібопекарськими печами постійно виконують моніторинг та регулюють температуру в пекарній камері, тягу в топці, швидкість руху стрічкового конвеєра з заготовками хлібу крізь піч. У той же час системи які існують не забезпечують оптимізацію режимів температури і вологості від яких залежить зовнішній вигляд та форма хлібу. Фактично процес випічки хліба можна розділити ділиться на два періоди: перший – змінного обсягу, а другий – постійного обсягу. Наприкінці другого періоду випічки, після стабілізації розмірів шматка відбувається деяке зменшення обсягу хліба за рахунок усадки кірки при зневодненні. Вологість середовища пекарної камери впливає як на випаровування вологи з виробу, так і на процес прогріву шматка тіста. Зволоження поверхні заготовки покращує еластичність кірки та сприяє поступовому зростанню обсягу хлібної заготовки і закріплення форми хлібу за рахунок конденсації при певних оптимальних температурі та вологості.

Підвищення ефективності процесу випікання хліба можливо шляхом побудови дворівневої системи управління, в якій для першого рівня вже вирішені завдання регулювання основних параметрів випічки, а для другого рівня, який являтиме собою систему забезпечення оптимальних параметрів теплового та вологого режиму у відповідній в зоні печі необхідно виконати дослідження на основі яких розробити систему автоматичного управління відповідним технологічним процесом. Для розробки та створення означеної системи необхідно обґрунтувати концепцію реалізації функції оптимізації тепло-вологої обробки заготовок тіста, критерію чи критеріїв оптимальності, обмежень на керовані змінні, визначити необхідність в додаткових каналах вимірювання нових змінних для отримання оперативної інформації про перебіг процесу та розробити концептуальну модель та реальну систему автоматичного управління з оптимізацією режимів випікання хліба.

Забезпечивши оптимальні режими тепло-вологої обробки заготовок тіста, можна покращити якість хліба та отримати високі техніко-економічні показники виробництва хліба.

Колосовський Артем Іванович – аспірант Одеського національного технологічного університету, artem.kolosovskiy@se.ua

THE NEED FOR AUTOMATIC OPTIMIZATION OF THERMAL-MOIST TREATMENT OF DOUGH PREPARATION WHEN BAKING BREAD IN A TUNNEL OVEN

Abstract

Improving the quality of bread during baking can be achieved by optimizing the heat-moisture treatment of blanks during bread baking in a tunnel oven. For this purpose, it is proposed to improve the existing automated control system by adding a temperature and humidity control system in the bread baking zone.

Keywords: automated control systems, bread baking ovens, bread baking, thermal and moisture treatment.

Artem Kolosovskiy – Graduate Student of Odessa National Technological University, artem.kolosovskiy@se.ua

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМИЛОСВИХ РОБОТІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ДОПОМІЖНИХ ОПЕРАЦІЙ В МАШИНОБУДУВАННІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено особливості застосування промислових роботів для виконання допоміжних операцій на технологічному робочому місці. Досліджено переваги застосування різних кінематики промислових роботів для покращення ефективності роботи роботизованого технологічного комплексу.

Ключові слова: промисловий робот, технологічний комплекс, кінематична схема, допоміжні операції.

Сучасне серійне виробництво характеризується досить швидкими темпами як випуску продукції так і її зміни на інші типові зразки. Це зумовлює необхідність збільшення тривалості часу роботи виробничих одиниць та потребу в забезпеченні можливостей їх швидкого переналагодження для випуску інших видів продукції [1-3].

Метою роботи є аналіз можливостей застосування промислового роботизованого обладнання в технологічних комплексах та робочих місцях в машинобудуванні.

Наразі однією з основних різновидів технологічного обладнання машинобудівного виробництва є верстати з числовим програмним керуванням, які забезпечують можуть працювати протягом довгого періоду часу та, завдяки наявності комп'ютеризованої системи керування, можуть бути переналагоджені на виконання різних технологічних задач [4-6]. На кафедрі технологій та автоматизації машинобудування проводяться дослідження особливостей застосування роботизованого та технологічного обладнання з ЧПК, як єдиного комплексу для виконання задач машинобудівного виробництва [7, 8].

Для покращення ефективності роботи технологічних робочих місць запропоновано засотувати промислові роботи для виконання допоміжних задач, зокрема для установки та зняття заготовок та оброблених деталей, загальна схема роботизованого робочого місця зображена на рис. 1.

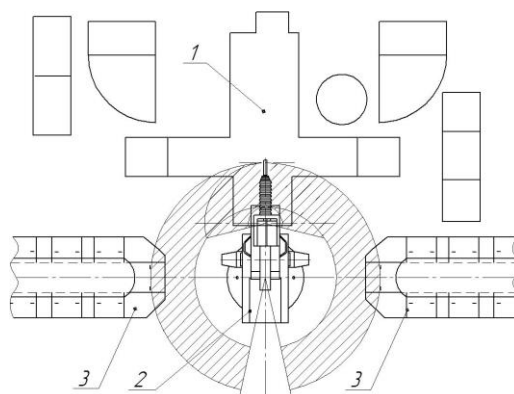


Рис. 1. Загальна схема роботизованого робочого місця

В даній схемі присутній верстат фрезерної групи 1, промисловий робот циліндричної системи координат 2 та обладнання для подачі заготовок 3 [9, 10].

Для покращення ефективності було дослідження особливості застосування двох типів кінематики промислових роботів (рис. 2).

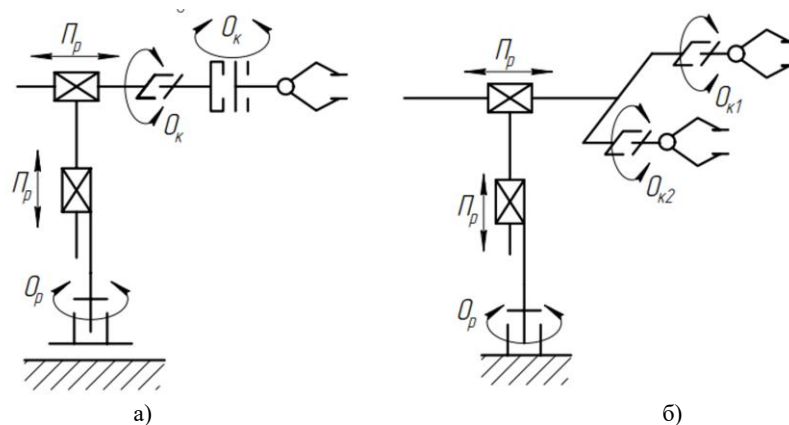


Рис. 2. Кінематичні схеми роботів: а) з одним маніпулятором, б) з двома маніпуляторами.

Обидва варіанти мають циліндричну систему координат, проте варіант б) оснащений двома маніпуляторами.

Застосування варіанту з двома маніпуляторами в технологічному роботизованому комплексі дозволяє зменшити кількість допоміжних ходів при виконання операцій завантаження та розвантаження основного обладнання. За умови робочих циклів порівняно невеликої тривалості забезпечується зменшення витрат часу на виконання допоміжних операцій, а отже і покращення ефективності роботи комплексу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Karabegović, Isak & Karabegović, Edina & Husak, Ermin. (2011). Industrial Robots and their application in serving CNC machines.
2. Karim A, Verl A (2013) Challenges and obstacles in robot-machining, in: IEEE ISR. IEEE, Seoul 2013:1–4. doi: 10.1109/ISR.2013.6695731
3. Піонткевич О. В., Сухоруков С. І., Сердюк О. В., Домославський В. М. Про лазерний технологічний комплекс на машинобудівному підприємстві. Вісник машинобудування та транспорту, 2022. № 16(2). С. 96-100.
4. M. Petko et al., CNC system of the 5-axis hybrid robot for milling, Mechatronics (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2016.03.001>
5. The Business Benefits of Machine Tending With Collaborative Robots <https://www.universal-robots.com/blog/the-business-benefits-of-machine-tending-with-collaborative-robots>
6. Буренніков, Ю. А., Лозінський, Д. О., Козлов, Л. Г., Ковальчук, В. А., Солтик, О. О., Павлюк, В. О. Комп'ютеризована система керування роботом МП-11 на базі вільно програмованого контролера Festo FC620 FST. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, (2), 2013. С. 28-32.
7. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Роботизовані технологічні комплекси та САП верстатів з ЧПК» / Уклад. Д. О. Лозінський. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 44 с.
8. Піонткевич О. В., Березюк О. В., Лозінський Д. О., Кавецький О. І. Застосування CAD/CAE-системи Autodesk Inventor для удосконалення фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Вінниця : ВНТУ, 2025. Вип. 1. С. 1–9. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-1-178-186>
9. Павленко І.І. Роботизовані технологічні комплекси / Павленко І.І., Мажара В.А. Кіровоград: КНТУ, 2010. 392с.
10. Лозінський Д.О., Сиротін О.А., Кавецький О.І., Болячок А.Б., Застосування роботизованих технологічних комплексів в машинобудівному виробництві. Міжнародна молодіжна науково-технічна конференція «МОЛОДА НАУКА РОБОТИЗАЦІЯ І НАНОТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ» (10-12 квітень 2024 р.). С.238-241.

Лозінський Дмитро Олександрович — к-т техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: lozinskiy_dmitriy@vntu.edu.ua

Піонткевич Олег Володимирович — к-т техн. наук, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: piontkevych@vntu.edu.ua;

Сиротін Олексій Андрійович – аспірант факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: 00-23-066.stud@vntu.vn.ua

Кавецький Олександр Ігорович – аспірант факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: kavetskiyi98@gmail.com

Ян Ліфен – студент факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: 850112491@qq.com

Features of the use of industrial robots for performing auxiliary operations in mechanical engineering

Abstract

The article presents the features of using industrial robots to perform auxiliary operations at technological workstations. The advantages of applying various kinematic configurations of industrial robots to improve the efficiency of robotic technological complexes are analyzed. The study highlights the impact of robot design and functionality on the overall productivity and flexibility of automated systems.

Keywords: industrial robot, technological complex, kinematic scheme, auxiliary operations.

Lozinskyi Dmytro O. – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: lozinskyi_dmitriy@vntu.edu.ua

Piontkevych Oleh V. – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: piontkevych@vntu.edu.ua;

Syrotin Oleksiy A. –PhD student at the Faculty of Mechanical Engineering and Transport of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: 00-23-066.stud@vntu.vn.ua.

Kavetskiyi Oleksandr I. –PhD student at the Faculty of Mechanical Engineering and Transport of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: kavetskiyi98@gmail.com

Yang Li Feng –student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: 850112491@qq.com

АДАПТИВНИЙ РЕГУЛЯТОР З ДИНАМІЧНОЮ FUZZY-КОРЕКЦІЄЮ НАСТРОЙКИ ДЛЯ МЕХАТРОННОГО ПРИВОДА МАНІПУЛЯТОРА

Вінницький національний технічний університет

Анотація. *Визначено, що тенденцією розвитку мобільних гідроприводів маніпуляторів є перехід на регульовані насоси, пропорційну апаратуру та контролери. Представлено мехатронний привод з адаптивним регулятором, розроблена в Вінницькому національному технічному університеті. Мехатронний привод з розробленим адаптивним регулятором забезпечує можливість пропорційного керування та стабілізацію швидкості руху маніпулятора. На основі розробленої математичної моделі визначена залежність коефіцієнта передачі корегуючої складової адаптивного регулятора від режимів роботи мехатронного привода. Залежність має нечіткий характер і для її реалізації в адаптивному регуляторі застосовано процедуру нечіткого висновку по типу Mamdani з функціями приналежності по типу подвійної гаусової кривої. Застосування адаптивного регулятора з нечіткою залежністю коефіцієнта передачі корегуючої складової адаптивного регулятора дозволяє зменшити коливальність, час регулювання та перерегулювання в мехатронному приводі.*

Ключеві слова: мехатронний привод, адаптивний регулятор, пропорційне керування, динамічна корекція параметрів, нечіткі залежності, динамічні характеристики.

Вступ

Маніпулятори, що встановлюються на транспортних засобах знаходять широке застосування на транспорті, в будівництві, комунальному господарстві, промисловості та сільськогосподарському виробництві. Останнім часом провідні виробники таких машин оснащують їх приводами на базі регульованих насосів та пропорційної гідроапаратури. В системах керування таких машин все частіше застосовуються контролери. Це дозволяє підвищити точність роботи машини, їх продуктивність та економічність [1,2, 3, 4].

Результати дослідження

Гідроприводи маніпуляторів, що встановлюються на тракторних засобах працюють в декількох режимах: холостого ходу, регулювання, захисту від перенавантаження. Необхідно також забезпечити можливість регулювання та стабілізацію швидкісних режимів руху маніпуляторів в широких діапазонах. Маніпулятори працюють із змінними по величині та напрямку навантаженнями. Всі ці обставини потребують застосування адаптивних регуляторів, що здатні забезпечувати високоефективну роботу при зміні режимів роботи, швидкості руху маніпуляторів та навантажень в широких діапазонах.

Мехатронний привод маніпулятора включає регульований насос, пропорційний розподільник, гідроциліндр, гальмівний клапан, адаптивний регулятор, систему датчиків тиску та переміщення, а також розподільник з електромагнітним керуванням. Контролер приймає сигнали від датчиків переміщення і тиску та формує на їх основі сигнал, яким керуються регульований насос. Контролер виконує роль адаптивного регулятора, що забезпечує роботу гідропривода маніпулятора з мінімальним перерегулюванням, високою швидкістю та високим гідравлічним ККД.

Структурна схема адаптивного регулятора представлена на рис. 1. Адаптивний регулятор отримує від датчика переміщення золотника пропорційного розподільника сигнал i_{h1} та сигнал i_{p1} від датчика тиску на вході в гідроциліндр. Блоки фузикації 7, 8, блок бази правил 9 та блок дефузикації 10 формують величину коефіцієнту передачі коригуючої складової сигналу керування k_p . Величина цього коефіцієнта k_p множиться на похідну від сигналу k_{p1} (блок 3) і додається з від'ємним знаком до сигналу, що формується нейромережею 1 з передавальною функцією $F_1(i_{h1})$. Сигнал U_{m1} , що є сумою сигналів, які формується на виході блоків 4 та 6 поступає до регульованого насоса і забезпечує відповідність його подачі споживанню гідроциліндром маніпулятора.

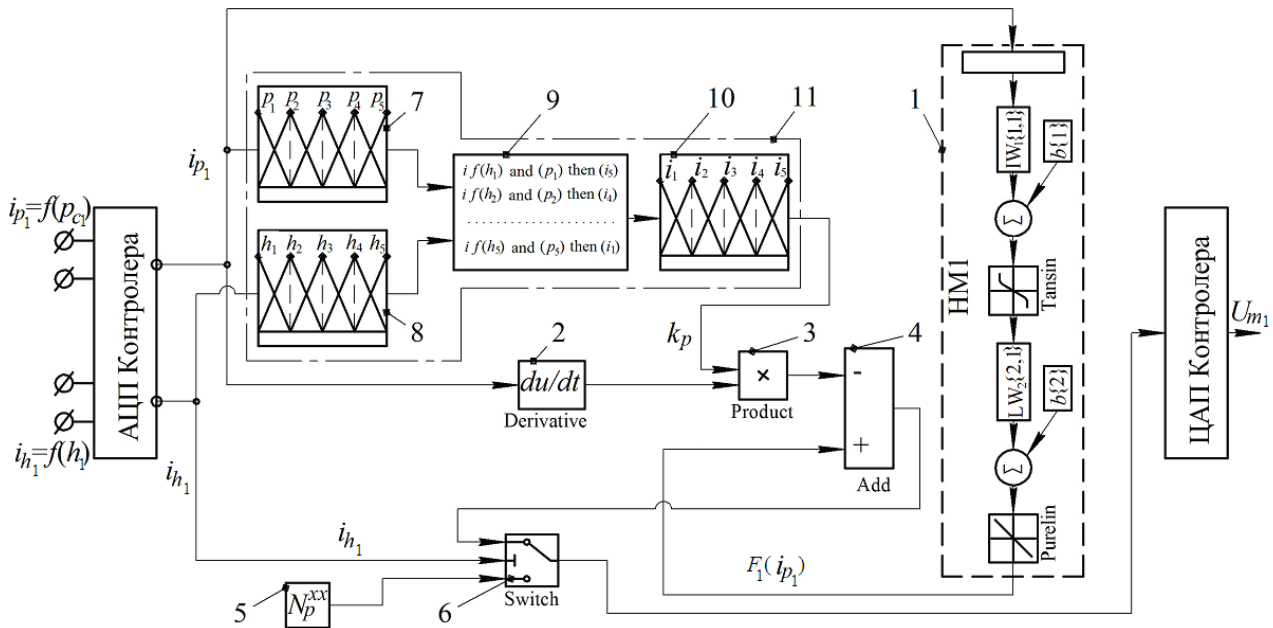


Рис.1. Структурна схема адаптивного регулятора з використанням нечіткої корекції параметрів настройки

Передавальна функція нейромережі $F_1(i_{h1})$ формує статичну характеристику гідропривода і визначається на основі експериментальних даних та вимог до точності підтримання швидкості руху маніпулятора при зміні величини навантаження на ньому. Функція $F_2(i_{h1})$, яка формує нечітку залежність коефіцієнта k_p від сигналів i_{h1} та i_{p1} визначена з використанням алгоритму Mamdani і враховує зміну демпфуючих властивостей привода при зміні температури робочої рідини, зміну режимів роботи гідропривода та навантажень на маніпуляторі. Необхідна нечітка залежність коефіцієнта $k_p = F_2(i_{p1}, i_{h1})$ знайдена на основі експериментальних досліджень гідропривода маніпулятора та імітаційних досліджень по його математичній моделі [5, 6].

Висновки

Знайдено залежність коефіцієнта передачі k_p корегуючої складової сигналу адаптивного регулятора від величин тиску на вході в гідродвигун та відкриття робочого вікна гідророзподільника. Сукупність граничних значень діапазонів коефіцієнта передачі k_p при зміні величини тиску та відкриття робочого вікна гідророзподільника, при яких мінімізується час регулювання, дозволяє створити нечітко-визначену залежність коефіцієнта передачі k_p від вказаних параметрів. Залежність апроксимована системою нечіткого виводу по типу Mamdani з Гаусовими функціями приналежності. Застосування нечіткої залежності величини коефіцієнта передачі корегуючої складової сигналу адаптивного регулятора дозволяє знизити коливальність привода, час регулювання та перерегулювання в мехатронному приводі маніпулятора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Christensen G.K. Present State and Future Development in Mechatronics and its Effect on Fluid Power Systems / G.K. Christensen, J. Zhou, F. Conrad, T. Sorensen // Developments in Fluid Power Control of Machinery and Manipulators: Proceedings of the First International Scientific Forum. – Cracow, 2000 (Fluid Power Net publication). – P. 1 – 23.
2. Harms, Hans-Heinrich. Mechatronic Systems in Mobile Hydraulic Machines / Hans-Heinrich Harms. Technical University of Braunschweig, Germany [Electronic resource]. – Mode of access: URL: <http://www.tu-bs.de/institute/ilf>
3. Козлов Л. Мехатронна гідросистема мобільної машини / Леонід Козлов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – №6, С 22-30.
4. Kozlov L. Digital PD controller for dynamic correction of the differential component coefficient for a mechatronic hydraulic system / L. Kozlov // Tehnomus journal: Proceedings of the XVIIth International Conference “New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies”. – Suceava, Romania, May 17 – 18, 2013. – P. 120-125.
5. Струтинський В.Б., Козлов Л.Г. Адаптивний регулятор на основі нейромереж для мехатронної гідросистеми мобільної машини // Збірник праць Всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю „Нейросітьові технології і їх застосування”. – Краматорськ : ДГМА, 2013. – С. 83-95.
6. Козлов Л. Г. Наукові основи розробки систем гідроприводів маніпулятора з адаптивним регулятором на основі нейромереж для мобільних робочих машин / дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец 05.02.02 // Вінницький національний техн. університет, Вінниця, 2015.

Козлов Леонід Геннадійович – д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри ТАМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Osna2030@gmail.com

Буренніков Юрій Анатолійович – канд. техн. наук, професор, професор кафедри технологій і автоматизації машинобудування Вінницького національного технічного університету, e-mail: yuburennikov@gmail.com

Кашканов Андрій Альбертович д-р. техн. наук, професор, директор ІДА, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: a.kashkanov@gmail.com

Козлов Сергій Леонідович, аспірант, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: soterix@gmail.com

Abstract. *It has been determined that the trend in the development of mobile hydraulic drives of manipulators is the transition to regulation of pumps, proportional equipment and controllers. A mechatronic drive with an adaptive controller was presented, developed at the Vinnytsia National Technical University. A mechatronic drive with a separate adaptive regulator ensures the possibility of proportional balancing and stabilization of the fluidity of the manipulator arm. On the basis of a disaggregated mathematical model, the degree of transmission coefficient of the core warehouse adaptive controller in the modes of operation of the mechatronic drive is determined. The dependence is of a fuzzy nature and for its implementation in the adaptive controller, a fuzzy alignment procedure of the Mamdani type with attachment functions of the type of a curved Gaussian curve is established. The stagnation of the adaptive regulator with the unclear distribution of the transmission coefficient of the core warehouse of the adaptive regulator allows for changes in the quantity, regulation time and over-regulation in the mechatronic drive. Key words: mechatronic drive, adaptive controller, proportional control, dynamic correction of parameters, unclear position, dynamic characteristics.*

Kozlov Leonid G. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osna2030@gmail.com

Burennikov Yury Anatolyevich – Ph.D. tech. Sciences, Professor, Professor of the Department of Technologies and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, E-mail: yuburennikov@gmail.com

Kashkanov Andriy Albertovich Dr. tech. Sciences, professor, director of the IDA, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: a.kashkanov@gmail.com

Kozlov Sergey Leonidovich, graduate student, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: soterix@gmail.com

ПОКРАЩЕННЯ СТАТИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІДРОПРИВОДА НА БАЗІ РЕГУЛЬОВАНОГО НАСОСА ТА КОНТРОЛЕРА

Вінницький національний технічний університет

Анотація. У статті наведено схему гідропривода, що включає регульований насос, гідроапаратуру, гідромотор, датчики тиску та контролер. Датчик тиску передає сигнал, пропорційний навантаженню гідромотора на контролер. Контролер на основі сигналу від датчика тиску формує закон зміни напруги на магніті регулятора насоса. Запропонована програма роботи контролера, що забезпечує покращення статичної характеристики гідропривода при зміні навантаження.

Ключові слова: гідропривод з регульованим насосом, контролер, статична характеристика, похибка стабілізації подачі.

Вступ

В промисловості, в будівництві та на транспорті широко застосовуються маніпуляторами з гідроприводом. Тенденцією розвитку гідроприводів маніпуляторів є перехід на електрогідравлічне керування з чутливістю до навантаження.[1]. У Вінницькому національному технічному університеті (Україна) ведуться роботи по вдосконаленню гідроприводів схем гідроприводів, чутливих до навантаження на основі регульованих насосів та контролерів [2, 3, 4,5].

Результати дослідження

Схема стенда для досліджень гідропривода на основі регульованого насоса з програмним керуванням представлена на рис. 1.

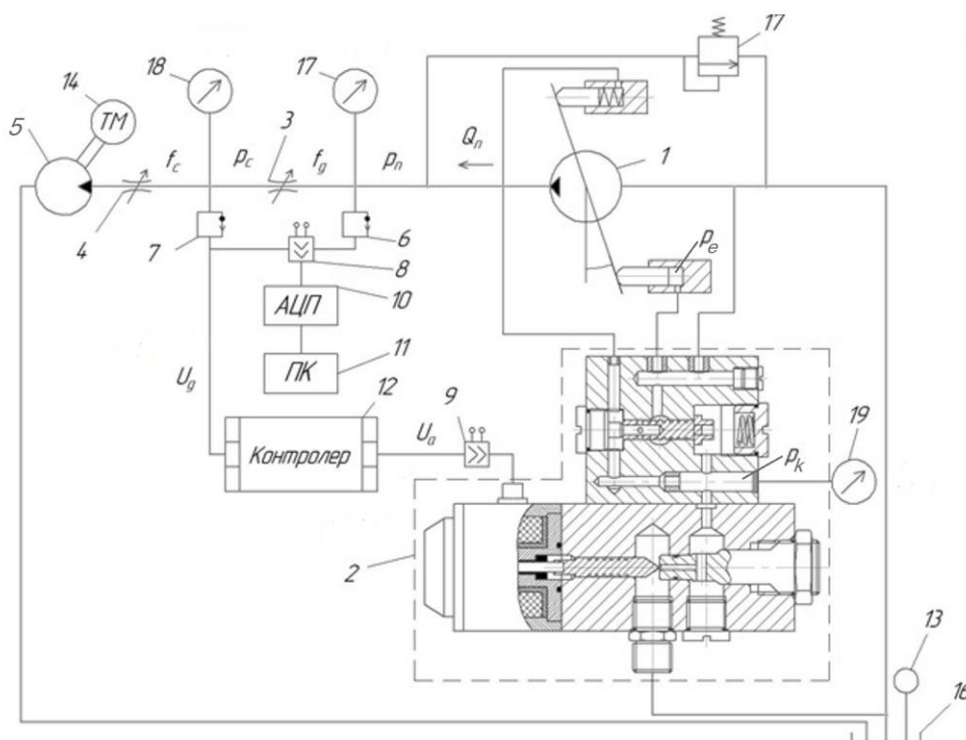


Рис. 1. Схема стенда для досліджень статичної характеристики гідропривода

Стенд включає регульований насос 1 з регулятором 2, регульовані дроселі 3 та 4, гідромотор 5, датчики тиску 6, 7, підсилювачі 8, 9, АЦП 10, комп'ютер 11, контролер 12, термометр 13, тахометр 14, бак 16, манометри 17, 18 і 19. На стенді реалізована можливість визначення статичної характеристики гідропривода.

На рис. 2 представлено залежність величини сигналу x на виході контролера від величини тиску p_c на вході регульованого дроселя. На основі знайденої залежності $x = f(p_c)$ створена програма в середовищі IDE для контролера Arduino ATmega 2560, який застосований для керування гідроприводом.

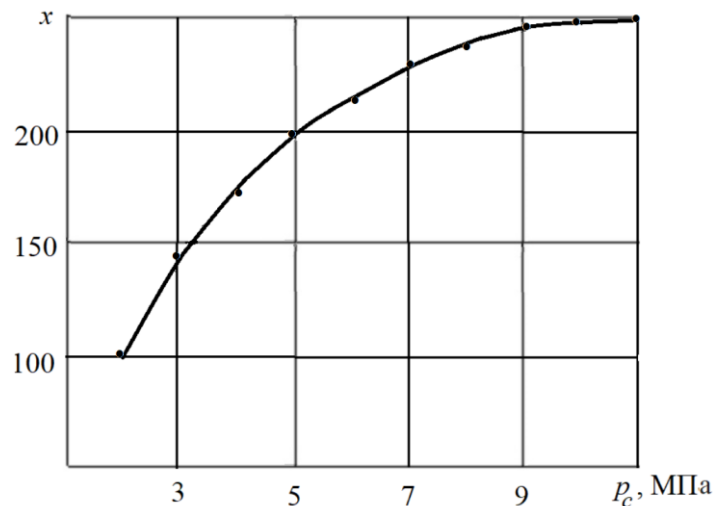


Рис. 2. Залежність величини сигналу x на виході контролера від величини тиску p_c

Текст програми представлено нижче.

```
const int analogInPin=A0;
const int analogOutPin=3;
int x=0;
int outputValue=0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);}
void loop() {
  x=analogRead(analogInPin);
  if(100>=x){outputvalue=100;analogWrite(analogOutPin,outputValue);}
  if((200>=x) && (x>100){outputvalue=138;analogWrite(analogOutPin,outputValue);}
  if((300>=x) && (x>200){outputvalue=162;analogWrite(analogOutPin,outputValue);}
  if((400>=x) && (x>300){outputvalue=198;analogWrite(analogOutPin,outputValue);}
  if((500>=x) && (x>400){outputvalue=212;analogWrite(analogOutPin,outputValue);}
  if((600>=x) && (x>500){outputvalue=230;analogWrite(analogOutPin,outputValue);}
  if((700>=x) && (x>600){outputvalue=240;analogWrite(analogOutPin,outputValue);}
  if((800>=x) && (x>700){outputvalue=243;analogWrite(analogOutPin,outputValue);}
  if((900>=x) && (x>800){outputvalue=247;analogWrite(analogOutPin,outputValue);}
  if((1000>=x) && (x>900){outputvalue=251;analogWrite(analogOutPin,outputValue);}
  Serial.print("sensor=");
  Serial.print(x);
  Serial.print("\t output=");
  Serial.println(outputvalue);
  delay(20);}
```

Із застосуванням розробленої програми визначена статична характеристика гідропривода. Статична характеристика гідропривода $n_m = f(p_c)$ визначена в діапазоні p_c від 2,0 до 11,0 МПа.

По статичній характеристиці визначено похибку стабілізації A потоку через регульований дросель 4 за формулою

$$A = \frac{n_0 - n_1}{n_0} \cdot 100 \%,$$

де n_0 – частота обертання вала гідромотора при $p_c = 2,0$ МПа;

n_1 – частота обертання вала гідромотора при $p_c = 11,0$ МПа.

В даному експерименті була досягнута похибка стабілізації, що не перевищувала $A < 4,2$ %. Для подібного гідроприводу на базі регульованого насоса та контролера, представленого в роботі [5], похибка стабілізації становила 6,2 %.

Висновок

На основі експериментів по дослідженню гідроприводу на базі регульованого насоса та контролера визначена залежність вихідного сигналу контролера від величини тиску. Створена програма керування гідроприводом на основі визначеної залежності, яка дозволяє покращити статичну характеристику гідроприводу. Для розглянутого гідроприводу похибка стабілізації величини потоку не перевищує 4,2 % при зміні тиску навантаження в діапазоні 2,0...11,0 МПа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ding, R.; Zhang, J.; Xu, B.; Cheng, M.; Pan, M. Energy efficiency improvement of heavy-load mobile hydraulic manipulator with electronically tunable operating modes. *Energy Conversion and Management*, 188, pp. 447-461, (2019), doi:10.1016/j.enconman.2019.03.023
2. Leonid G. Kozlov, Volodymyr V. Bogachuk, Victor V. Bilichenko, Artem O. Tovkach, Konrad Gromaszek, and Samat Sundetov "Determining of the optimal parameters for a mechatronic hydraulic drive", Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080861 (1 October 2018), 10 pages; doi: 10.1117/12.25015280861
3. Volodymyr V. Bogachuk, Leonid H. Kozlov, Artem O. Tovkach, Valerii M. Badakh, Taras V. Tarasenko, Yevhenii O. Kobylanskyi, Zbigniew Omiotek, Gauhar Borankulova, Aigul Tungatarova «Influence of electrohydraulic controller parameters on the dynamic characteristics of a hydrosystem with adjustable pump», Collective Monograph: "Mechatronic Systems 1: Applications in Transport, Logistics, Diagnostics, and Control, pp. 267–278", 1st Edition // Leonid K. Polischuk, Waldamar Wojcik. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book, 2021. 420 P.
4. Kozlov, L., Bilichenko, V., Kashkanov, A., Tovkach, A., Kovalchuk, V. Parametric Synthesis of Electrohydraulic Control System for Variable Displacement Pump Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2023, pp. 48–57
5. Козлов Л. Г. Наукові основи розробки систем гідроприводів маніпулятора з адаптивним регулятором на основі нейромереж для мобільних робочих машин / дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец 05.02.02 // Вінницький національний техн. університет, Вінниця, 2015.

Козлов Леонід Геннадійович – д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри ТАМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Osna2030@gmail.com

Товкач Артем Олегович – провідний інженер кафедри ТАМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: TovkachAO@gmail.com

Ковальчук Вадим Анатолійович – інженер кафедри ТАМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Vadkovalchuk@gmail.com

Abstract. The article presents a diagram of a hydraulic drive, which includes a regulated pump, hydraulic equipment, a hydraulic motor, pressure sensors and a controller. The pressure sensor transmits a signal proportional to the load on the hydraulic motor to the controller. The controller, based on the signal from the pressure sensor, forms the law of voltage change on the pump regulator magnet. A controller operation program is proposed, which ensures improvement of the static characteristics of the hydraulic drive when the load changes.

Kozlov Leonid G. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osna2030@gmail.com

Tovkach Artem O. – Engineer of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: TovkachAO@gmail.com

Kovalchuk Vadym A. – Engineer of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Vadkovalchuk@gmail.com

Ю. А. Бурєнніков
Л. Г. Козлов
С. В. Репінський
К. М. Няньчук

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ МЕХАТРОННОГО ГІДРОПРИВОДУ МАНІПУЛЯТОРА З ЧАСТОТНИМ КЕРУВАННЯМ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено динамічні режими роботи мехатронного гідроприводу маніпулятора, в якому об'ємний насос приводиться в дію асинхронним електродвигуном з частотним керуванням. Описано конструктивну схему гідроприводу та особливості функціонування гальмівного клапана. Побудовано математичну модель системи з урахуванням динаміки окремих елементів та зворотних зв'язків. За результатами моделювання у середовищі MATLAB Simulink визначено вплив навантаження на динаміку системи та обрано параметри, що забезпечують її стійку роботу й належну якість регулювання.

Ключові слова: мехатронний гідропривод, асинхронний електродвигун, частотне керування, гальмівний клапан, математичне моделювання, маніпулятор.

Вступ

У сучасному машинобудуванні зростає попит на енергоефективні, високоточні та керовані системи приводу, особливо в галузі мобільної техніки та промислових маніпуляторів. Традиційні гідравлічні приводи демонструють високу вантажопідйомність і надійність, проте обмежені в гнучкості керування. Інтеграція електричних та гідравлічних компонентів у вигляді мехатронних систем, зокрема із застосуванням асинхронного електродвигуна з частотним регулюванням, відкриває нові можливості для підвищення ефективності, точності та адаптивності приводу.

Особливої уваги потребує дослідження динаміки таких систем за умов змінних навантажень та частих перемикань, що характерно для реального функціонування маніпуляторів. Це зумовлює актуальність математичного моделювання та аналізу перехідних процесів з урахуванням елементів зворотного зв'язку та особливостей гідравлічних компонентів (зокрема гальмівного клапана) [1-7].

Метою роботи є дослідження динамічних процесів у мехатронному гідроприводі маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна шляхом математичного моделювання, а також вибір конструктивних параметрів системи, що забезпечують її стійку роботу та якісне регулювання швидкості робочих органів.

Результати дослідження

В роботі розглядається мехатронний гідропривод маніпулятора, в якому об'ємний насос приводиться в дію асинхронним електродвигуном (АД) з перетворювачем частоти (ПЧ). Розрахункова схема приводу маніпулятора показана на рис. 1 [3-5]. Схема включає стійку 1, стрілу 2, рукоять 3, захват 4, гідроциліндри 5, 7, 8, 9 та механізм повороту 10. Маніпулятор змонтований на рамі 11. Насос постійного робочого об'єму N подає робочу рідину через гідролінію 19, гідророзподільники $P2$ та $P1$, робочу гідролінію 21 в гідроциліндр 5, приводячи до руху стрілу 2 маніпулятора. Злив робочої рідини з гідроциліндра 5 забезпечується через робочу гідролінію 22, гідророзподільник $P1$, гідролінію 23, гальмівний клапан 12 та зливну гідролінію 24.

АД з ПЧ оснащений датчиком 18 швидкості обертання вала електродвигуна. Рівень подачі насоса N пропорційний частоті обертання АД і визначає швидкість руху штока 6, а значить і швидкість руху стріли 2 маніпулятора. Роботою приводів маніпулятора керує контролер 14. Вбудований регулятор ПЧ обробляє задане і реальне значення частоти обертання і відповідно їм корегує частоту АД.

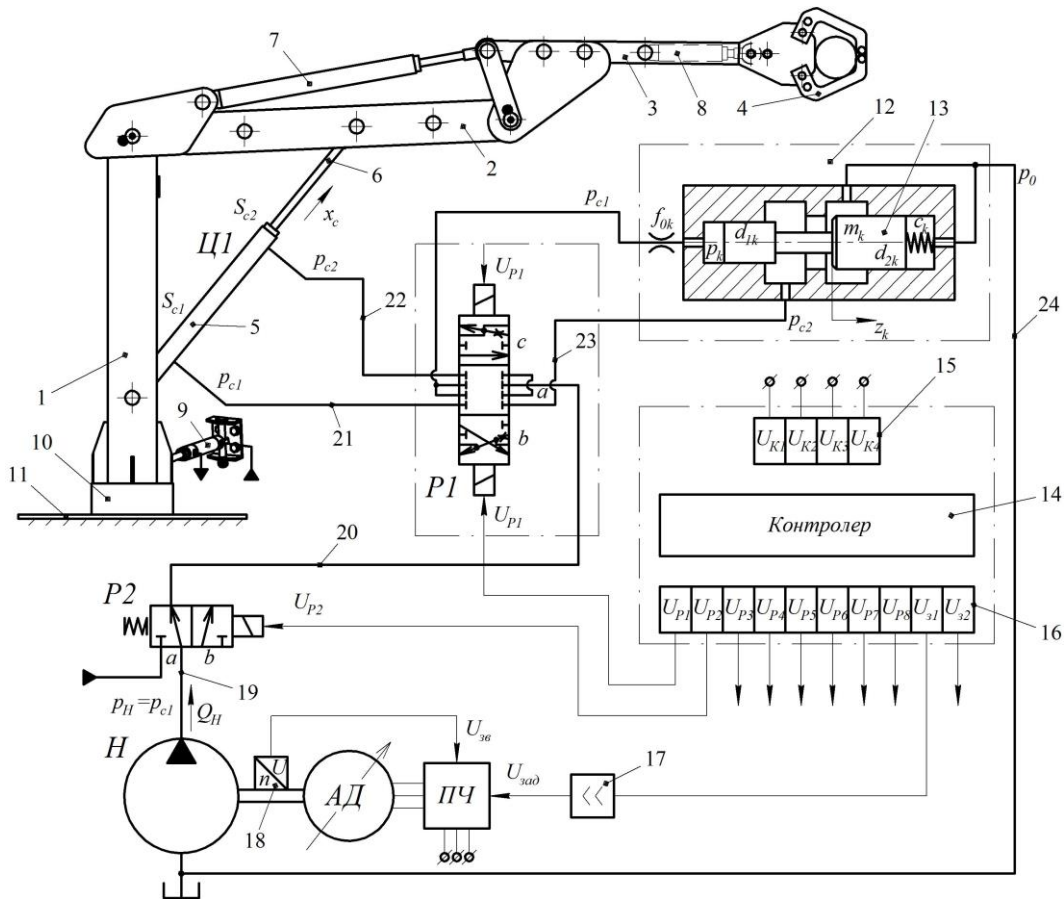


Рис. 1. Схема мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна

Гальмівний клапан 12 призначений для контролю опускання вантажу гідроциліндром, тобто у тому випадку коли дія навантаження збігається з напрямком переміщення гідроциліндра. Управління гальмівним клапаном здійснюється від лінії нагнітання гідроциліндра. Відкриття клапана залежить від керуючого тиску p_k в клапані, який пропорційний навантаженню на гідроциліндрі (тиску p_{c1}). Завдяки цьому підтримується сталість швидкості гідроциліндра при опусканні вантажу незалежно від значення попутного зовнішнього навантаження. При цьому гальмування гідроциліндра забезпечується за рахунок дроселювання робочої рідини в зливній гідролінії 23.

Золотник 13, встановлений в корпусі клапана, утримується в положенні «Закрито» пружиною, зусилля якої змінюється регульовальним гвинтом. Для забезпечення стійкої роботи, яка виключає коливання золотника клапана, в лінії керування встановлений дросель з прохідним перетином f_{0k} .

Математична модель приводу з урахуванням прийнятих припущень [3, 4] включає рівняння сил, що прикладені до поршня гідроциліндра та золотника гальмівного клапана; рівняння нерозривності потоку для ділянок гідроприводу; рівняння, що визначає крутний момент на приводному валу насоса та рівняння головного зворотного зв'язку за частотою обертання вала насоса.

Параметри гальмівного клапана при моделюванні мали такі значення: $d_{1k} = 10 \cdot 10^{-3}$ м; $d_{2k} = 20 \cdot 10^{-3}$ м; $c_k = 1,5 \cdot 10^4$ Н/м; $f_{0k} = 1,0 \cdot 10^{-6}$ м²; $\Delta_{d1k} = 0,04 \cdot 10^{-3}$ м.

Інші параметри гідроприводу: $q_H = 40 \cdot 10^{-6}$ м³; $\eta_{Ноб} = 0,9$; $\eta_{Нмех} = 0,9$; $P_{ЕД} = 4$ кВт; $n = 1435$ об/хв.; $D_c = 40 \cdot 10^{-3}$ м; $d_{st} = 25 \cdot 10^{-3}$ м; $m_c = 60$ кг; $W_H = 2,0 \cdot 10^{-3}$ м³; $W_{c1} = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м³; $W_{c2} = 1,0 \cdot 10^{-3}$ м³; $b_c = 1000$ кг/с; $\rho = 890$ кг/м³; $\mu = 0,6$.

У ході математичного моделювання в середовищі MATLAB Simulink були досліджені перехідні процеси у мехатронному гідроприводі маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна. Проведені розрахунки дозволили оцінити вплив навантажень і параметрів елементів системи на її динамічну поведінку, що дало змогу обґрунтовано підібрати конструктивні параметри для забезпечення стабільної та ефективної роботи гідроприводу в різних режимах.

Висновки

У роботі розроблено структурну та математичну модель мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна, яка враховує нелінійні характеристики гідравлічних компонентів та особливості зворотних зв'язків. Проведено моделювання перехідних процесів у середовищі MATLAB Simulink за різних навантажень і параметрів приводу. Показано, що використання частотного регулювання дозволяє ефективно контролювати швидкість переміщення робочих органів маніпулятора. Встановлено комбінації конструктивних параметрів, які забезпечують стійку роботу системи та високу якість регулювання у широкому діапазоні робочих режимів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kozlov L., Bilichenko V., Kashkanov A., Tovkach A., Kovalchuk V. Parametric Synthesis of Electrohydraulic Control System for Variable Displacement Pump Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2024, pp. 48–57.
2. Репінський С. В., Козлов Л. Г., Буренніков Ю. А. Керування регульованих насосів в гідроприводах, чутливих до навантаження : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2016. 199 с.
3. Репінський С. В., Козлов Л. Г., Паславська О. В., Мошноріз М. М., Бартецький А. А. Математична модель мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна. Вісник машинобудування та транспорту. 2019. № 1(9). С. 107–114.
4. Козлов Л. Г., Репінський С. В., Паславська О. В., Піонткевич О. В. Характеристики мехатронного приводу під час просторового руху маніпулятора [Електронний ресурс]. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2017. № 2. Режим доступу : <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/507>.
5. Паславська О. В., Козлов Л. Г., Репінський С. В. Математична модель гальмівного клапана в мехатронному гідроприводі маніпулятора з частотно-керованим електродвигуном [Електронний ресурс]. Матеріали І науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 10-12 березня 2021 р. Електрон. текст. дані. 2021. Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/12253>.
6. Буренніков Ю. А., Козлов Л. Г., Репінський С. В. Огляд електрогідравлічних систем керування насосами змінної продуктивності. Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». 2016. № 2(235). С. 202–206.
7. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Гораль М. В. Динаміка електрогідравлічного слідкувального приводу пристрою для обкочування віснесиметричних поверхонь. Вісник ВП. ВНТУ: Вінниця, 2017. № 6(135). С. 141–146.

Буренніков Юрій Анатолійович – канд. техн. наук, професор, професор кафедри технологій і автоматизації машинобудування Вінницького національного технічного університету, e-mail: yuburennikov@gmail.com

Козлов Леонід Геннадійович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: osna2030@gmail.com;

Репінський Сергій Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: repinskyisv@gmail.com;

Няньчук Костянтин Михайлович – студент групи ІПМ-216, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет.

Modeling of Dynamic Modes of a Mechatronic Manipulator Hydraulic Drive with Frequency-Controlled Induction Motor

Abstract

The paper investigates the dynamic modes of operation of a mechatronic hydraulic drive of a manipulator, in which a positive displacement pump is driven by an induction motor with frequency control. The structural scheme of the hydraulic system and the functional features of the brake valve are described. A mathematical model of the system is developed, taking into account the dynamics of individual components and feedback elements. Based on simulation results in the MATLAB Simulink environment, the influence of loading conditions on the system's dynamics is analyzed, and design parameters are selected to ensure stable operation and high-quality speed control of the actuator.

Keywords: mechatronic hydraulic drive, induction motor, frequency control, brake valve, mathematical modeling, manipulator.

Burennikov Yuri A. – Ph.D. tech. Sciences, Professor, Professor of the Department of Technologies and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, E-mail: yuburennikov@gmail.com

Kozlov Leonid G. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Technologies and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osna2030@gmail.com;

Repinskyi Serhii V. – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technologies and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: repinskyisv@gmail.com;

Nianchuk Kostiantyn M. – Student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

PREDICTING THE OPERABILITY OF THE TECHNOLOGICAL SYSTEM DURING PARTS MACHINING

Lviv Polytechnic National University

Abstract *The prediction of product behaviour during important phases of its life cycle is an urgent task of current mechanical engineering. A methodology for analysis of the influence of elements of the metal-working technological system on assurance of the regulated quality parameters of the product using Markov chains is developed. The impact of a metal-cutting machine, a clamping device, and a metal-cutting tool on ensuring the regulated quality parameters of the processed product is determined.*

Keywords: Reliability Engineering, Technological System, Technological Medium

The product life cycle which includes the development and production of the product and its future operation has an important role in scientific research in the mechanical engineering field. Product quality is formed not only by the design and technological preparation of production, different technological processes, and services, but also by the true sustainable capability of a company, ensuring economic, social, and environmental parts. So, support of sustainable manufacturing requires new paradigms including Digital Lean, Quality 4.0, and Zero-Defect Manufacturing in Quality Management [1].

Predicting the risks of machine failures at different phases and stages in their life cycles, taking into account environmental protection, economic criteria, and social aspects, are important tasks for sustainable machining of parts and sustainable manufacturing of products [2].

Reliability engineering is one of the fundamentals for the development of the Zero-Defect Manufacturing concept including physics, statistics, and engineering. The development of new approaches and methods of reliability engineering in the technological process planning for product manufacture, in particular, using Markov chains, is one of the priority areas for the development of modern manufacturing engineering [1].

Markov chains are mathematical models that use concepts from probability to describe how a system changes from one state to another [1]. This approach is difficult to realize in manufacturing engineering because typical elements of mechanical systems (shafts, gears, bearings, etc.) work in different machines with different operating loads. So, we need to find an approach (idea, technique, etc.) for calculating the failure rates of the elements of the technological systems for introducing the Markov chains technique for machining parts, assembly of machines, etc. [3].

The technological system, technological medium, and technological graph of the reliability for the i -th technological operation are presented in Fig. 1.

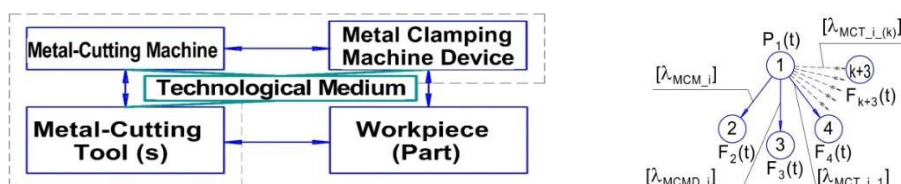


Fig. 1. Technological system /technological media a) and technological graph of the reliability for the i -th technological operation that is described by Markov chains to predict the probability of providing regulated quality parameters of the workpieces, taking into account the influence of the technological system elements b)

The probability of technological assurance of the regulated workpiece quality in the 005 technological operation (Vertical milling) of the technological process at machining of the base OSHPV 25.001 in case of failure to reach the limit state of the metal-cutting machine, fixture or clamping device located on the metal-cutting machine and metal-cutting tool (or tools) in general and their elements, in particular, $P_1(t)$; probabilities of failure to assure regulated quality parameters in the 005 technological operation (Vertical milling) of the technological process at machining of the base OSHPV 25.001 when the limit state is reached by the metal-cutting machine and metal-cutting tool (or tools) in general and their elements in particular, $F_2(t)$, $F_3(t)$, $F_4(t)$, respectively, are described by the

system of Chapman-Kolmogorov differential equations for the technological graph of reliability (see Fig. 1, b). Its solution allows us to find the relationship between the reliability metrics (Y axes) and direct manufacturing (cutting) time (see Fig. 2).

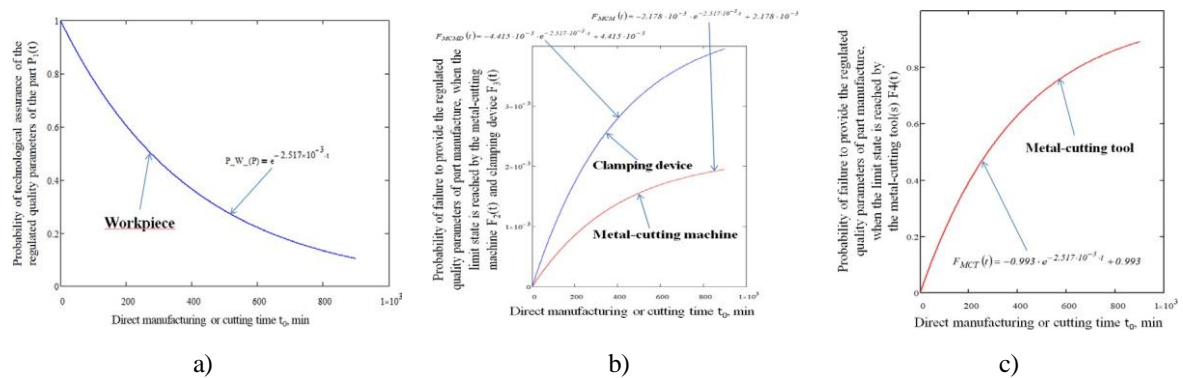


Fig. 2. The probability of assurance the regulated parameters of the workpiece of the base OSHPV 25.001 at its machining at operation 005 if the limit states of the elements of the process media are not reached a); probabilities of failure to ensure the regulated quality parameters of the reduction-gear base at its machining at operation 005 when the limit state is reached: b) for metal-cutting machine and clamping device, c) for metal-cutting tool

The mathematical apparatus of Markov chains is proposed to be used at the stage of design and technological preparation of production for the analysis of the processes of parts machining. Further research in this direction will include the analysis of the reliability metrics with different operating times of the elements of certain technological mediums: metal-cutting machines, clamping devices (fixtures), and metal-cutting tools; realization of the experimental studies to check the theoretical and modelling results; comparison with the results using Bayesian networks, Monte Carlo simulations, AI-driven predictive maintenance, etc.; and adaptation the obtained mathematical dependencies to the operation stage of products life cycles.

REFERENCES

1. Tran, K. P.: Artificial Intelligence for Safety and Reliability Engineering. Methods, Applications, and Challenges. 1st edn. Springer, Cham, Switzerland (2024). DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-71495-5>
2. Rigdon, S. E.; Pan, R., Montgomery, D. C., Freeman, L. J.: Design of Experiments for Reliability Achievement. 1st edn. Wiley, Hoboken, New Jersey, U.S. (2022). DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119237754>
3. Modarres, M., Groth, K.: Reliability and Risk Analysis. 2nd edn. Boca Raton, Florida, U.S. (2023). DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003307495>

Brukhal Pavlo Romanovych, PhD student of the Department “Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies”, Lviv Polytechnic National University, Lviv, pavlo.r.brukhal@lpnu.ua

Kusyi Yaroslav Markiyanovych, DScTech, Professor, Associate Professor of the Department “Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies”, Lviv Polytechnic National University, Lviv, yaroslav.m.kusyi@lpnu.ua

ПРОГНОЗУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ПІД ЧАС МЕХОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Анотація Прогнозування поведінки виробу на важливих етапах його життєвого циклу є актуальним завданням сучасного машинобудування. Розроблено методику аналізу впливу елементів технологічної системи механічної обробки на забезпечення регламентованих параметрів якості продукції за допомогою ланцюгів Маркова. Визначено вплив металорізального верстата, верстатного пристрою, металорізального інструменту на забезпечення регламентованих параметрів якості оброблюваного виробу.

Ключові слова: інженерія надійності, технологічна система, технологічне середовище
Брукхаль Павло Романович, аспірант кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, pavlo.r.brukhal@lpnu.ua

Кусий Ярослав Маркіянович, д.т.н., професор, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, yaroslav.m.kusyi@lpnu.ua

STABILITY OF THE HYDRAULIC DRIVE BASED ON A VARIABLE DISPLACEMENT PUMP WITH AN ELECTRO-HYDRAULIC REGULATOR

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine¹
 University of West Bohemia in Pilsen, Czech Republic²

Abstract

The simulation was carried out using the MATLAB software application in the Simulink environment. Based on the analysis of transient processes, the influence of system parameters on stability is investigated. The results make it possible to determine the conditions for ensuring stable and efficient operation of the hydraulic drive.

Keywords: hydraulic drive, system stability, MATLAB Simulink, modeling, transients.

Introduction

In modern logistics and industrial processes, special attention is paid to automating and optimizing operations related to the transportation and unloading of goods. One of the most important tools in this area is a truck unloader - a specialized equipment designed to quickly, safely and efficiently unload bulk materials or other products from vehicles. Its use can significantly reduce time and physical labor costs, increase productivity and ensure accurate dosing of unloaded materials [1].

Hydraulic drives of truck unloaders are equipped with unregulated pumps and have significant drawbacks, such as low energy efficiency due to the constant operation of the pump at maximum capacity and limited control capabilities due to the inability to smoothly adjust the speed of the actuators, which makes it difficult to accurately control the unloading process. Switching to adjustable hydraulic drives with proportional equipment can significantly reduce energy consumption, improve control accuracy and extend equipment life [2].

In the development and implementation of new types of hydraulic drives, a significant place is occupied by the study of hydraulic systems for stability, since the stability of a hydraulic system is a critical parameter that determines its ability to maintain performance under changing loads. Under dynamic operation, hydraulic drive equipment must provide stable and predictable operation without self-excitation, oscillations or loss of control [3, 4]. Thanks to modern modeling and analysis methods, it is possible to identify potentially unstable modes at the design stage, which significantly reduces risks and maintenance costs in the future [5, 6].

The purpose of the study is to determine the conditions of stability and operating characteristics of the hydraulic drive, taking into account the influence of various control and load parameters to ensure reliable, accurate and stable operation of the system.

Research results

An experimental stand has been created at Vinnitsia National Technical University to study the operation of hydraulic drives with modern hydraulic equipment and test it in various operating modes.

In this work, we studied the stability of the hydraulic drive by simulating a mathematical model [7] in the specialized MATLAB Simulink software environment. In the course of the study, the following parameters were changed in the appropriate ranges:

- area f_0 of the throttle $f_0=4\dots6,4\cdot 10^{-6}$ m²;
- area f_x of the throttle $f_x=2\dots3,0\cdot 10^{-6}$ m²;
- area f_e of the throttle $f_e=0,7\dots1,0\cdot 10^{-6}$ m²;
- gain k_x of the servo valve operating window $k_x=3\dots7$;

- gain k_z of the spool valve working window $k_z=4...10$;
- coefficient of viscous friction b_x of the servo valve $b_x=10...15$ kg/s;
- coefficient of viscous friction b_z of the spool valve $b_z=1...5$ kg/s;
- load value F_v , acting on the hydraulic cylinder $F_v=1000...16000$ N·m;
- area f_{ih} of the throttle $f_{ih}=10...20 \cdot 10^{-6}$ m².

As a result of the conducted research, the dependences of the pump flow rate Q_n on the pressure P_c were obtained, and the magnitude of the influence of each of the studied parameters on the stability of the hydraulic drive is given below in Table 1.

Table 1 - The magnitude of the influence of system parameters on the stability of the hydraulic drive

Parameter	Does not affect	Not significantly affected	Significant impact
f_0			+
f_x		+	
f_e			+
K_x	+		
K_z		+	
b_x	+		
b_z		+	

Conclusions

As a result of the study, the conditions of stability and the nature of the system's response to changes in the control signal and load were determined, and the following recommendations were formulated regarding the choice of hydraulic drive parameters and the magnitude of their impact on the system operation:

- area f_0 of the throttle and area f_e of the throttle have a significant impact on the stability of the hydraulic drive;
- area f_x of the throttle, gain k_z of the spool valve working window and coefficient of viscous friction b_z of the spool valve do not significantly affect the stability of the hydraulic drive;
- gain k_x of the servo valve operating window and coefficient of viscous friction b_x of the servo valve do not affect the stability of the hydraulic drive;
- when designing a hydraulic drive, the values of the parameters f_0 and f_e should be selected in the ranges $f_0=4...4,5 \cdot 10^{-6}$ m² and $f_e=0,7...0,8 \cdot 10^{-6}$ m² to ensure the highest stability index with optimal energy efficiency values during typical operating conditions.

REFERENCES

1. Mondal, N. A single stage spool valve for the pressure compensator of a variable displacement pump: design, dynamic simulation and comparative study with a real pump / Mondal, N.; Saha, R.; Sanyal, D. // *Sādhanā*, 47(4), p. 279, (2022), doi:10.1007/s12046-022-02038-3.
2. Busquets E. Toward Supervisory-Level Control for the Energy Consumption and Performance Optimization of Displacement-Controlled Hydraulic Hybrid Machines / E. Busquets, M. Ivantysynova // *Mobile Hydraulics Paper 10-2*: Purdue University, Dresden 2016. P. 163 - 174.
3. Піонткевич О. В. Підвищення ефективності багаторежимного гідроприводу фронтального навантажувача : дис. канд. техн. наук : 05.02.02 / Піонткевич Олег Володимирович. Київ, 2019. 249 с.
4. Козлов Л. Г. Експериментальні дослідження перехідних процесів в адаптивній гідросистемі / Козлов Л. Г., Буренніков Ю. А., Ковальчук В. А., Товкач А. О. // LIV Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту, 2025.
5. Volodymyr V. Bogachuk. Influence of electrohydraulic controller parameters on the dynamic characteristics of a hydrosystem with adjustable pump / Volodymyr V. Bogachuk; Leonid H. Kozlov; Artem O. Tovkach; Valerii M. Badakh; Taras V. Tarasenko; Yevhenii O. Kobylanskyi; Zbigniew Omiotek; Gauhar Borankulova; Aigul Tungatarova // *Collective Monograph: "Mechatronic Systems 1: Applications in Transport, Logistics, Diagnostics, and Control*, pp. 267–278", 1st Edition // Leonid K. Polischuk, Waldamar Wojcik. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book, 2021. 420 P.
6. Burennikov Y., Kozlov L., Pyliavets V., Piontkevych O., *Mechatronic Hydraulic Drive with Regulator, Based on Artificial Neural Network*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 209 (2017), n.1, 012071.
7. Kozlov, L. Parametric Synthesis of Electrohydraulic Control System for Variable Displacement Pump / Kozlov, L.; Bilichenko, V.; Kashkanov, A.; Tovkach, A.; Kovalchuk, V. // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2023, pp. 48–57.

Petrov Oleksandr V. — *Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor, Department of Machine-building technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-0487-6240>, petrovov@vntu.edu.ua;*

Milan Edl — *Ph.D., Vice-Dean for Development and External Relations, Faculty of Mechanical Engineering, University of West Bohemia in Pilsen.*

Tovkach Artem O. — *Engineer of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: TovkachAO@gmail.com*

Kozlov Leonid H. — *Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osna2030@gmail.com*

СТІЙКІСТЬ ГІДРОПРИВОДА НА ОСНОВІ НАСОСА ЗМІННОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ

Анотація

Моделювання проводилося з використанням програмного пакету MATLAB у середовищі Simulink. На основі аналізу перехідних процесів досліджено вплив параметрів системи на стійкість. Отримані результати дають змогу визначити умови забезпечення стійкої та ефективної роботи гідропривода.

Ключові слова: гідропривід, стійкість системи, MATLAB Simulink, моделювання, перехідні процеси.

Петров Олександр Васильович — *канд. техн. наук, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-0487-6240>, petrovov@vntu.edu.ua;*

Мілан Едл — *доктор філософії, заступник декана з розвитку та зовнішніх зв'язків, факультет машинобудування, Західночеський університет у Пльзені.*

Товкач Артем Олегович — *інженер кафедри ТАМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: TovkachAO@gmail.com*

Козлов Леонід Геннадійович — *д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри ТАМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Osna2030@gmail.com*

МЕХАНІЗМ НАТЯГУ ДРОТУ В ПРОЦЕСІ РІЗАННЯ ЗАГОТОВОК З ПІНОПОЛІСТИРОЛУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто основні типи конструкцій пристроїв для забезпечення постійності натягу розігрітого дроту під час різання заготовок з пінополістиролу. Визначено межі застосування кожного механізму.

Ключові слова: заготовки з пінополістиролу, дротяний електрод, натяжний пристрій.

Сучасні методи виготовлення прототипів та малих партій деталей все частіше базуються на використанні виконавчих органів з керуванням за допомогою числового програмного керування. Одним з таких методів є формування поверхонь заготовок з пінополістиролу дротяним електродом. Процес формування поверхні заготовки відбувається за рахунок плавлення пінополістирольної заготовки розігрітим дротом. Під час різання розігрітий дріт рухається по визначених координатах видаляючи матеріал заготовки перед собою. При цьому фізичний контакт між матеріалом заготовки та дротом відсутній. Якщо, під час різання, швидкість переміщення дроту суттєво підвищити або подати недостатній струм на дріт і його температура буде замалою для плавлення пінополістиролу, дріт почне фізично контактувати з матеріалом заготовки. Це призводить до провисання дроту, коли його центральна частина рухається з запізненням відносно місць закріплення дроту, тобто утворює дугу. Аналогічно при самому нагріві дроту відбувається теплове розширення матеріалу дроту та його видовження. Це негативно впливає на геометричну точність отриманих заготовок. Тому всі виробники верстатів для різки пінополістирольних заготовок гарячим дротом застосовують різні способи для забезпечення постійного натягу дроту [1,2].

Один з найбільш розповсюджених способів забезпечення постійності натягу розігрітого дроту в процесі різання пінополістиролу є застосування пружин. Це простий та достатньо дієвий спосіб компенсації видовження дроту (див. рис. 1).



Рис. 1 Забезпечення натягу дроту за допомогою пружини

Проте пружини не можуть бути використані на верстатах великого розміру. При необхідності різки пінополістирольних блоків великого розміру необхідно застосовувати пристрої з великим робочим ходом. В такому випадку застосовують пневматичні натяжні механізми, які використовують пневмоциліндр у якості виконавчого органу. Це дозволяє суттєво збільшити силу натягу дроту, порівняно із застосуванням пружини, та суттєво збільшити швидкість різки, а це в свою чергу дозволяє покращити якість та підвищити швидкість виготовлення заготовок (див. рис. 2) [3].

При асинхронному переміщенні різних кінців дроту також необхідно забезпечувати постійну силу натягу дроту. Застосування пружин та пневматичних систем при таких режимах різання не дозволяє забезпечити постійність натягу дроту. При цьому пружини та пневматичні натяжні системи мають достатньо малий діапазон роботи, зазвичай до 20 см. Тому в таких системах необхідно застосовувати більш коштовну систему підтримки постійності сили натягу.



Рис. 2 Забезпечення натягу дроту за допомогою пневматичної системи

Автоматичні натяжні системи дозволяють регулювати силу натягу дроту без втручання оператора верстата для різки пінополістиролу. Діапазон роботи такого пристрою майже не обмежений, що дає можливість автоматично регулювати натяг дроту протягом усього процесу різання [4].

Висновки

Вибір типу натяжного пристрою при різанні заготовок з пінополістиролу залежить від розміру робочого столу та можливих переміщеннях дроту. При плоско-паралельному переміщенні дроту під час різання достатнім є застосування пружин. При великих розмірах столу чи асинхронному русі різних кінців дроту необхідно застосовувати пневматичні або автоматизовані натяжні системи

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Brooks H.L. Plastic foam cutting mechanics for rapid prototyping and manufacturing purposes [Ph.D. thesis]. University of Canterbury; 2009.
2. Karmakar N. Direct Wire-Tension Measurement based Bowing Correction in Hot Wire Cutting of Polystyrene / Namrata Karmakar, Hareesh Chitikena, Venkateshwaran M, Sathyan Subbiah // 48th SME North American Manufacturing Research Conference, Procedia Manufacturing. – v. 48. – 2020. – pp. 230-236. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.042>
3. Pneumatic Tension [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hotwiresystems.com/hot-wire-cnc-foam-cutters-accessories-pneumatic-tension/> (Дата звернення 26.05.2025)
4. Automatic Wire Tensioning [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hot-wire-cutter.com/advanced-wire-tensioning-system/> (Дата звернення 26.05.2025)

Рибін Євгеній Вікторович — аспірант, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Сухоруков Сергій Іванович — канд. технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет

WIRE TENSIONING MECHANISM IN HOT WIRE CUTTING PROCESS OF POLYSTYRENE FOAM BLANKS

Abstract

The main types of device designs for ensuring constant tension of heated wire when cutting polystyrene foam blanks are considered..

Keywords: polystyrene foam workpieces, wire electrode, tensioning mechanism.

Rybin Yevhenii V. – PHD student of the Department of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Sukhorukov Sergiy I. – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

НАВЧАННЯ ТА АДАПТАЦІЯ МУЛЬТИАГЕНТНИХ СИСТЕМ НА ТРАНСПОРТІ, АБО ЯК ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ РЕАГУЄ НА ЗМІНИ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

¹ Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут"

² Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація

Розглядаються сучасні тенденції розвитку інтелектуальних систем в транспортній галузі, зокрема, акцентуючи увагу на мультиагентних системах (МАС). Обговорюються виклики та перспективи стандартизації МАС, а також важливість розвитку мов комунікації агентів для забезпечення ефективної взаємодії між ними. Пропонується чотириетапна методологія для розробки МАС.

Ключові слова: мультиагентні системи, інтелектуальні системи, транспортна галузь, мови комунікації агентів (ACL), онтології, технології управління.

Сучасні транспортні системи стають дедалі складнішими, вимагаючи швидкого та ефективного реагування на постійні зміни. Традиційні підходи до управління транспортом часто не можуть впоратися з цими викликами. Однак, з розвитком штучного інтелекту (ШІ) та мультиагентних систем (МАС), з'являється можливість створити більш інтелектуальні та адаптивні транспортні системи.

Мультиагентні системи – це системи, що складаються з кількох автономних агентів, які взаємодіють між собою та з навколишнім середовищем. У транспорті агентами можуть бути автомобілі, автобуси, світлофори, датчики дорожнього руху тощо. Кожен агент має свої цілі та завдання, але вони також повинні співпрацювати для досягнення загальної мети - ефективного та безпечного руху.

Однією з ключових переваг МАС є їх здатність до навчання та адаптації до змін у реальному часі. Це досягається за допомогою алгоритмів машинного навчання, які дозволяють агентам:

- аналізувати дані (агенти збирають та аналізують дані з різних джерел, таких як датчики дорожнього руху, камери, GPS тощо);
- виявляти закономірності (а основі аналізу даних агенти виявляють закономірності та тенденції в русі транспорту);
- приймати рішення (агенти приймають рішення на основі виявлених закономірностей та своїх цілей);
- адаптуватися до змін (агенти можуть змінювати свою поведінку в залежності від змін у навколишньому середовищі, таких як затори, аварії, погодні умови тощо);

Приклади застосування МАС у транспорті:

- адаптивне управління світлофорами (МАС можуть використовувати дані про дорожній рух для оптимізації роботи світлофорів, зменшуючи затори та час очікування);
- розумні системи навігації (МАС можуть використовувати дані про дорожній рух та погодні умови для розрахунку оптимальних маршрутів);
- автономні транспортні засоби (МАС можуть використовуватися для управління автономними транспортними засобами, забезпечуючи безпечний та ефективний рух);
- управління громадським транспортом (МАС можуть використовуватися для оптимізації маршрутів та розкладів громадського транспорту, покращуючи його ефективність та доступність).

Сьогодні спостерігається чітке зміщення акценту в розвитку інформаційних технологій у бік підвищення якості обслуговування транспортних засобів. Одночасно триває активний розвиток класу інтелектуальних інформаційних систем, здатних до самонавчання та адаптації.

Інтелектуальні програмні комплекси, що володіють здатністю безперервно накопичувати нові знання, модифікувати свою структуру та функціонал, еволюціонувати та пристосовуватися до вимог сервісних центрів та умов зовнішнього середовища, стають ключовим інструментом у цій галузі. Технології управління автотранспортом, що базуються на інтелектуальних системах, надають можливість розробляти високоефективні методи роботи з автомобілями.

Важливим аспектом є постійна еволюція мов, що використовуються для комунікації між агентами. Оскільки сумісність є визначальною характеристикою агентних систем, її забезпечення є пріоритетним завданням при розробці МАС.

Для стандартизації МАС необхідно визначити ключові об'єкти, такі як архітектура агентів, мови та протоколи їх взаємодії, знання агентів та мови їх програмування. Пропонується чотириетапна методологія для створення складних систем, яка включає:

- розробку або вибір онтології. Рекомендується використовувати стандартні онтології, доповнюючи їх необхідними компонентами та використовуючи загальноприйняті інструменти;
- використання стандартизованих мов представлення знань. Наприклад, SQL або KBMS з KIF;
- застосування мов комунікації агентів (ACL). Наприклад, KQML, з можливим розширенням новими протоколами та процедурами;
- ідентифікацію та визначення нових протоколів вищого рівня.

Експерти в галузі розробки агентів наголошують на необхідності подальшого розвитку семантики мов комунікації агентів (ACL), включаючи загальні мови контенту та онтології, а також мови для опису дій, намірів та прагнень агентів.

Таким чином встановлено, що Мультиагентні системи мають великий потенціал для покращення ефективності та безпеки транспортних систем. Їх здатність до навчання та адаптації до змін у реальному часі дозволяє їм ефективно реагувати на виклики сучасного транспорту. З розвитком ШІ та МАС, ми можемо очікувати на появу більш інтелектуальних та адаптивних транспортних систем, які зроблять наше життя більш комфортним та безпечним.

Незважаючи на великий потенціал, впровадження МАС у транспорті стикається з низкою викликів, таких як: безпека – МАС повинні бути безпечними та надійними, щоб запобігти аваріям; конфіденційність – МАС повинні захищати конфіденційність даних користувачів; стандартизація – необхідно розробити стандарти для обміну даними та взаємодії між агентами.

Однак, з розвитком технологій, ці виклики будуть подолані, і МАС стануть невід'ємною частиною майбутніх транспортних систем.

Павленко Віталій Миколайович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри композиційних конструкцій і авіаційного матеріалознавства, Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут". м. Харків. e-mail: v.pavlenko@khai.edu

Павленко В'ячеслав Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет. м. Харків. e-mail: vp.khadi@gmail.com

LEARNING AND ADAPTATION OF MULTI-AGENT SYSTEMS IN TRANSPORT, OR HOW ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESPONDS TO CHANGES IN REAL TIME

Abstract

The current trends in the development of intelligent systems in the transport industry are considered, in particular, with a focus on multi-agent systems (MAS). The challenges and prospects of MAS standardization are discussed, as well as the importance of developing agent communication languages to ensure effective interaction between them. A four-stage methodology for the development of MAS is proposed.

Keywords: multiagent systems, intelligent systems, transportation industry, agent communication languages (ACLs), ontologies, management technologies.

Pavlenko Vitaliy – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Composite structures and aviation materials, National aerospace university "Kharkiv aviation institute". Kharkiv. e-mail: v.pavlenko@khai.edu

Pavlenko Vyacheslav – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Technical operation and service of cars department, Kharkiv National Automobile and Highway University. Kharkiv. e-mail: vp.khadi@gmail.com

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ У ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

¹Хмельницький національний університет, м. Хмельницький
²НУ «Львівська політехніка», м. Львів

Анотація

У роботі розглянуто підходи до оптимізації енергоменеджменту в гібридних міських автобусах на основі математичного моделювання (функціональна оптимізація). Запропоновано методологію розрахунку коефіцієнта корисної дії (ККД) енергетичної системи гібридного автобуса Volvo 7900 Hybrid з оцінкою енергоспоживання та витрат пального. Аналіз здійснено з урахуванням реального міського циклу руху, що дозволяє оцінити ефективність використання енергії у змінних експлуатаційних умовах. Представлено оптимізаційну багатофакторну модель розподілу енергоспоживання між різними джерелами енергії на основі множника Лагранжа та умови Гамільтона, що забезпечує зниження витрат пального на 42% та скорочення середнього розходу до 19 л/100 км. Ці дані можуть бути використані для вдосконалення алгоритмів управління енергетичними потоками у гібридних автобусах, що сприятиме підвищенню екологічної та економічної ефективності міського транспорту.

Ключові слова: гібридний автобус, енергоменеджмент, оптимізація енергоспоживання, ККД, математичне моделювання, міський цикл.

Існують різні типи гібридних систем, і їх ефективність може значно варіюватися в залежності від того, як вони налаштовані і використовуються [1,2]. Розглянемо модель типового щоденної експлуатації автобуса, маршрут якого складається з різних типів руху, кожен з котрих пропонується інтегрувати, оскільки умови руху є змінними протягом часу: міський рух (зупинки, гальмування, рекуперация енергії); приміський рух (плавний рух, менше зупинок); жорсткий трафік (часті зупинки та різкі гальмування, висока частка рекуперации енергії). Нехай T_{city} , T_{sub} , $T_{traffic}$ – це часи, відповідно, для міського, приміського та жорсткого руху на маршруті [3,4]. В такому випадку загальне рівняння витрати пального $M_{fuel,total}$ в інтегральній формі набуде вигляду:

$$M_{fuel,total} = \int_0^{T_{city}} \dot{M}_{fuel,city}(t) dt + \int_0^{T_{sub}} \dot{M}_{fuel,sub}(t) dt + \int_0^{T_{traffic}} \dot{M}_{fuel,traffic}(t) dt, \quad (1)$$

де: $\dot{M}_{fuel,city}(t)$, $\dot{M}_{fuel,sub}(t)$, $\dot{M}_{fuel,traffic}(t)$ – витрата пального у режимі міського руху, приміського та жорсткого трафіку відповідно.

Наступним кроком пропонується окремо інтегрувати витрати пального для кожного режиму руху протягом маршруту. Запишемо універсальне рівняння руху для режиму:

$$M_{fuel,mode} = \int_0^{T_{mode}} [\dot{m}_{fuel}(t) \cdot f_{load}(t) \cdot f_{speed}(t) + P_{drag}(v(t)) + P_{gradient}(t)] dt, \quad (2)$$

де: $\dot{m}_{fuel}(t)$ – витрати пального для конкретного автобуса (ДВЗ, гібрид чи плагін-гібрид); $f_{load}(t)$ – функція залежності потужності від навантаження; $f_{speed}(t)$ – функція залежності потужності від швидкості; $P_{drag}(v(t)) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v(t)^2$ – аеродинамічний опір (залежить

від щільності повітря ρ ; коефіцієнт аеродинамічного опору C_d ; площі фронтальної частини автобуса A); $P_{gradient}(t) = m_{bus} \cdot g \cdot h(t) \cdot v(t)$ – вплив рельєфу (залежить від маси автобуса m_{bus} ; градієнту дороги (підйоми, спуски) $h(t)$).

Застосування оптимізованого розрахунку (так званої функціональної оптимізації) дозволило зменшити середню потужність досліджуваного ДВЗ з 98.5 до 85 кВт за рахунок розумного енергоменеджменту гібридної установки та збільшення ККД ДВЗ до 0.37 на міському маршруті зі середньою швидкістю 20 км/год.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Roy, H.K.; McGordon, A.; Jennings, P.A. A generalized powertrain design optimization methodology to reduce fuel economy variability in hybrid electric vehicles. IEEE Trans. Veh. Technol. 2013, 63, 1055–1070.
2. Wang, Q.; Duan, B.; Wang, P.; Gong, Y.; Zhu, Q. Optimization of powertrain transmission parameters of plug-in hybrid electric vehicle. J. Jilin Univ. Technol. Ed. 2017, 47, 1–7.
3. Zan, S.; Qin, D.; Zeng, Y. A study on the parameter optimization of hybrid electric vehicle based on multiple driving cycles. Automot. Eng. 2016, 38, 922–928.
4. Lei, Z.; Cheng, D.; Liu, Y.; Qin, D.; Zhang, Y.; Xie, Q. A dynamic control strategy for hybrid electric vehicles based on parameter optimization for multiple driving cycles and driving pattern recognition. Energies 2017, 10, 54.

Голенко Костянтин Едуардович, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький. holenkoke@khmnu.edu.ua

Драч Ілона Володимирівна, доктор технічних наук, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький. cogitare410@gmail.com

Горбай Орест Зенонович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу, НУ «Львівська політехніка», м. Львів. orest_60@yahoo.ca

Налесник Дмитро Васильович, аспірант кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу, НУ «Львівська політехніка», м. Львів. dmytro.nalesnyk@gmail.com

Яковенко Євгенія Ігорівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій, НУ «Львівська політехніка», м. Львів. yevheniia.i.yakovenko@lpnu.ua

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCE ON ENERGY MANAGEMENT OF HYBRID POWER PLANT IN LARGE-SIZED VEHICLES

Abstract

The paper considers approaches to optimizing energy management in hybrid city buses based on mathematical modeling (functional optimization). A methodology for calculating the efficiency of the energy system of the Volvo 7900 Hybrid hybrid bus with an assessment of energy consumption and fuel consumption is proposed. The analysis is carried out taking into account the real urban traffic cycle, which allows assessing the efficiency of energy use in variable operating conditions. An optimization multifactor model of energy consumption distribution between different energy sources based on the Lagrange multiplier and the Hamilton condition is presented, which provides a 42% reduction in fuel losses and a reduction in average consumption to 19 l/100 km. These data can be used to improve energy flow management algorithms in hybrid buses, which will contribute to increasing the environmental and economic efficiency of urban transport.

Keywords: hybrid bus, energy management, energy consumption optimization, efficiency, mathematical modeling, urban cycle.

Kostyantyn Holenko, PhD, Senior Lecturer, Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi. holenkoke@khmnu.edu.ua

Drach Iona, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi. cogitare410@gmail.com

Horbay Orest, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Department of Machine Design and Automotive Engineering, Lviv Polytechnic National University, Lviv. orest_60@yahoo.ca

Nalesnyk Dmytro, Postgraduate, Department of Machine Design and Automotive Engineering, Lviv Polytechnic National University, Lviv. dmytro.nalesnyk@gmail.com

Yakovenko Yevheniia, Associate Professor, Department of Electronic Devices of Information and Computer Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv. yevheniia.i.yakovenko@lpnu.ua

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЗАСТОСУВАННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ В ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ

Національний транспортний університет, м. Київ

Анотація

Досліджуються теоретичні засади застосування технології «платунінг» в транспортних процесах та визначення економії паливно-мастильних матеріалів при виконанні перевезень вантажів з урахуванням коефіцієнту платунінгу для завантаженого дорожньо-транспортного засобу при русі в колоні з дистанцією у 10 та 5 метрів.

Ключові слова: транспортний процес, технологія «платунінг», автопоїзд, витрати палива, коефіцієнт платунінгу.

Скорочення загальних витрат на виконання оборотного рейсу доставки вантажів можливе за рахунок зменшення витрат на паливно-мастильні матеріали та досягнення оптимальних часових характеристик рейсу. Витрати на паливно-мастильні матеріали складають від 38 % до 40 % від загальних витрат на виконання оборотного рейсу. Скорочення таких витрат можливо досягти завдяки використанню технології «платунінг», якою передбачається з'єднання вантажних дорожньо-транспортних засобів в колону за допомогою віртуального зв'язку таким чином, що вони можуть автоматично прискорюватися, гальмувати, рухатися із малим інтервалом у колоні [1]. Застосування технології «платунінг» потребує наявності надійного зв'язку між дорожньо-транспортними засобами в колоні, який би міг забезпечувати водіям взаємодію між собою та із системою керування при достатній швидкості передачі інформації.

Дослідженнями науковців з питань використання новітніх технологій в транспортних процесах визначені основні переваги застосування технології «платунінг» [2], однією з яких є економія паливно-мастильних матеріалів. Дорожньо-транспортні засоби рухаються на малих відстанях один від одного, що зменшує опір повітря і сприяє зниженню опору руху. Це дозволяє зменшувати витрати на паливно-мастильні матеріали, що впливає на розмір загальних витрат на виконання перевізного процесу.

Для визначення економії на паливно-мастильні матеріали, зокрема на паливо, необхідно розрахувати значення витрат палива при виконанні перевезень за досліджуваним маршрутом автопоїздами у колоні із 4 одиниць дорожньо-транспортних засобів, додатково визначивши такі витрати для 3-х інших автопоїздів у колоні. До лінійної норми витрати палива додається коефіцієнт платунінгу. Для порівняння витрат на паливо при застосуванні технології «платунінг» та без її застосування необхідно додатково розрахувати зменшення цих витрат при виконанні оборотного рейсу з визначенням доцільності застосування руху в автоколоні.

Були проведені у середовищі Excel комплексні розрахунки значень витрат палива на оборотному рейсі для умов руху автопоїздів як без організації руху в колоні, так і з рухом у колоні з дистанцією у 5 м та 10 м в напрямку Україна-Чехія з урахуванням різних конфігурацій роботи колони на маршруті. Значення коефіцієнту платунінгу приймалось 5% та 10 % для завантаженого автопоїзду з рухом у колоні з дистанцією 10 м, та 15 % з рухом у колоні з дистанцією у 5 м.

Були розраховані витрати палива при різних значеннях коефіцієнту платунінгу при виконанні перевезень вантажу на оборотному рейсі в напрямку Україна-Чехія в прямому та зворотному сполученні колоною із 4 автопоїздів, визначена різниця у витратах палива для звичайного руху та для руху в колоні з різними конфігураціями системи «платунінг» (рис. 1).

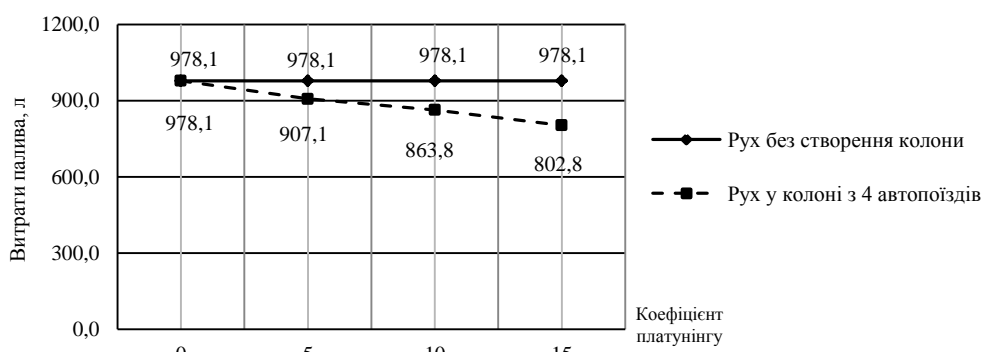


Рисунок 1 – Витрати палива для 4-х автопоїздів при різних значеннях коефіцієнту платунінгу

Проведеними дослідженнями визначено, що при конфігурації системи з фіксованою дистанцією між автопоїздами у 10 м та 5 м витрати палива для 4 автопоїздів при виконанні оборотного рейсу на досліджуваному маршруті скорочуються.

Для можливості використання технології «платунінг» при виконанні вантажних автомобільних перевезень є необхідність використання сучасних технологій і обладнання, таких як радары, камери, сенсори та автоматичні системи керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вовк Ю.Я., Капський Д.В., Худобей Р.В., Сядро А.С. Сучасні транспортні технології: platooning та перспективи впровадження. *Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин* : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. присвячена пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича, м. Тернопіль, 23–24 вересня 2021 р. Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін], 2021. С. 101-102. URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/35958>
2. Кунда, Н., & Москаленко, В. Перспективи та проблеми безпілотних вантажних перевезень. *Scientific Collection «InterConf+»*. 2022. №25(125). С. 189–201. DOI: <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.09.2022.018>

Шарай Світлана Михайлівна – к.т.н., доцент, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: svetasharai@gmail.com.

Сахно Володимир Прохорович – д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: svp_40@ukr.net.

Поляков Віктор Михайлович – к.т.н., доцент, професор кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: poljakov_2006@ukr.net.

Рой Максим Петрович – доктор філософії, доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: 7569027@ukr.net.

Theoretical principles of applying the latest technologies in transport processes.

Abstract

The theoretical principles of applying the "platooning" technology in transport processes and determining the savings in fuel and lubricants when transporting goods are studied, taking into account the platooning coefficient for a loaded road vehicle when moving in a column with a distance of 10 and 5 meters.

Key words: transport process, platooning technology, road train, fuel costs, platooning coefficient.

Sharai Svitlana – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of International Transport and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: svetasharai@gmail.com.

Sakhno Volodymyr – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Automobiles, National Transport University, Kyiv, e-mail: svp_40@ukr.net.

Poljakov Victor – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Automobiles, National Transport University, Kyiv, e-mail: poljakov_2006@ukr.net.

Roi Maksym – Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Transport and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: 7569027@ukr.net.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МІЖНАРОДНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезі розглянуто стратегічну важливість цифровізації процесів міжнародних вантажоперевезень в умовах глобалізації, розвитку електронної комерції та зростання обсягів транспортування. Проаналізовано основні напрями цифрової трансформації логістичних систем, зокрема впровадження інноваційних технологій (IoT, блокчейн, штучний інтелект), розвиток електронного документообігу (e-CMR) та побудову систем кібербезпеки. Особливу увагу приділено питанням забезпечення кіберстійкості логістичних операцій, міжнародної співпраці у сфері реагування на кіберзагрози та розвитку інтегрованих платформ обміну інформацією (зокрема, системи eTIR). Запропоновано концептуальну модель цифрової безпеки міжнародних перевезень, яка передбачає використання аналітичного, кіберзахисного та логістичного модулів. Наголошено на необхідності удосконалення нормативно-правового регулювання, гармонізації стандартів та інвестування у розвиток кадрів для забезпечення ефективної цифрової трансформації світової логістики.

Ключові слова: міжнародні вантажоперевезення, цифровізація логістики, електронний документообіг, кібербезпека, глобальні ланцюги постачання, блокчейн, інтернет речей, цифрова трансформація.

Abstract

The paper explores the strategic importance of digitalizing international freight transportation processes in the context of globalization, the growth of e-commerce, and increasing transportation volumes. It analyzes the main areas of digital transformation in logistics systems, including the implementation of innovative technologies (IoT, blockchain, artificial intelligence), the development of electronic document flow (e-CMR), and the establishment of cybersecurity systems. Special attention is given to ensuring the cyber resilience of logistics operations, international cooperation in responding to cyber threats, and the development of integrated information-sharing platforms (such as the eTIR system). A conceptual model for the digital security of international transportation is proposed, which includes the use of analytical, cybersecurity, and logistics modules. The paper emphasizes the need to improve regulatory frameworks, harmonize standards, and invest in the development of personnel to ensure the effective digital transformation of global logistics.

Keywords: international freight transportation, logistics digitalization, electronic document flow, cybersecurity, global supply chains, blockchain, Internet of Things (IoT), digital transformation.

У сучасних умовах глобалізації, розвитку електронної комерції та розширення міжнародних ринків питання цифровізації логістичних процесів набуває стратегічного значення. Міжнародні вантажоперевезення є основною ланкою у глобальних ланцюгах постачання, і від їхньої ефективності та безпеки залежить стійкість світової економіки. Проте традиційні методи управління логістичними операціями, що базуються на паперовому документообігу, обмеженому обміні інформацією та некоординованій системі контролю, виявляються все менш ефективними перед сучасними викликами [1]. Зростаючі обсяги перевезень, дедалі складніша архітектура постачань та зростання цифрових загроз вимагають нових підходів.

Цифровізація процесів міжнародних перевезень розглядається як ключовий інструмент оптимізації логістичних систем. Інноваційні технології, такі як блокчейн, інтернет речей (Internet of Things (IoT)), штучний інтелект (AI), автоматизовані системи моніторингу й управління ризиками, принципово змінюють традиційні підходи до організації логістичних ланцюгів. Використання IoT-сенсорів для безперервного відстеження вантажу, блокчейн-реєстрів для фіксації змін у маршруті транспортування, аналітичних платформ для оцінки ризиків та прогнозування загроз забезпечує не лише підвищення прозорості операцій, але й своєчасне виявлення та нейтралізацію потенційних інцидентів [2-3].

Особливу роль у процесах цифрової трансформації міжнародних перевезень відіграє електронний документообіг. Одним із найбільш вагомих прикладів є впровадження електронної товарно-

транспортної накладної (electronic Convention relative au contrat de transport international de marchandises par route (e-CMR)). Завдяки використанню e-CMR оптимізується обмін даними між усіма учасниками перевезення — перевізниками, вантажовідправниками, митними органами, страхувальниками — що мінімізує час на перевірку документів, знижує адміністративні витрати та значно підвищує безпеку завдяки впровадженню механізмів цифрового шифрування та автентифікації користувачів.

Водночас аналіз міжнародного досвіду свідчить, що успішна цифровізація неможлива без комплексного забезпечення кіберстійкості логістичних систем. Загрози хакерських атак, витоку даних, саботажу транспортних процесів вимагають побудови багаторівневого захисту — від фізичної безпеки цифрової інфраструктури до підвищення обізнаності працівників щодо правил кібергігієни. Підтвердженням цього є рекомендації Міжнародної морської організації (International Maritime Organization (IMO)), які передбачають обов'язкове впровадження процедур управління кіберризиками для судноплавних компаній [4-6].

Окремим напрямом розвитку цифрової безпеки є створення інтегрованих міжнародних платформ обміну інформацією про кіберінциденти в логістиці. Спільне реагування на кіберзагрози, стандартизовані протоколи інформування та співпраця між державами дозволяють ефективніше виявляти та локалізувати загрози на ранніх стадіях. Одним із прикладів таких ініціатив є розвиток глобальної електронної системи eTIR, що координується Європейською економічною комісією ООН (UNECE). Система eTIR забезпечує електронний обмін даними в рамках міжнародних автоперевезень за Конвенцією МДП (TIR Convention), що мінімізує ризики фальсифікації та крадіжок вантажів.

У відповідь на сучасні виклики автори пропонують концептуальну модель цифрової безпеки міжнародних перевезень, яка складається з трьох основних елементів: аналітичного модуля (здійснює моніторинг логістичних операцій у режимі реального часу, аналізує великі обсяги даних та ідентифікує потенційні загрози), кіберзахисного модуля (реалізує стратегії превентивного захисту, протидії атакам та ліквідації наслідків кіберінцидентів), логістичного модуля (відповідає за оперативне управління транспортними потоками, адаптацію маршрутів у разі виявлення загроз і забезпечення безперервності ланцюга постачання).

Розвиток такої інтегрованої системи вимагає не лише технологічних інновацій, але й удосконалення нормативно-правового регулювання, гармонізації міжнародних стандартів (зокрема, e-FTI, ISO, e-CMR) та інвестування у професійний розвиток кадрів у сфері кібербезпеки та логістики.

Таким чином, цифровізація процесів міжнародних перевезень відкриває нові можливості для підвищення ефективності та безпеки глобальної логістики, проте водночас ставить перед учасниками ринку нові складні завдання, які потребують комплексного, багаторівневого вирішення. Врахування міжнародного досвіду та застосування інтегрованих цифрових екосистем дозволить забезпечити стійкість міжнародних транспортних мереж в умовах стрімкої цифрової трансформації.

Висновки

Цифровізація міжнародних вантажоперевезень є ключовим фактором для покращення ефективності та безпеки глобальних логістичних систем. Використання інноваційних технологій, таких як IoT, блокчейн та штучний інтелект, дозволяє оптимізувати процеси, знижувати адміністративні витрати та забезпечувати прозорість операцій. Однак успішна трансформація неможлива без належної кібербезпеки. Інтеграція міжнародних платформ, таких як eTIR, та розробка комплексних систем цифрової безпеки дозволяє ефективно реагувати на нові загрози. Загалом, цифровізація створює нові можливості для підвищення стійкості міжнародних перевезень, але потребує уваги до нормативно-правових аспектів і розвитку кадрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Wafaa Ahmed та Alexa Rios. Digitalization of the international shipping and maritime logistics industry: a case study of TradeLens. *The Digital Supply Chain 2022*, Pages 309-323. DOI: [10.1016/B978-0-323-91614-1.00018-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91614-1.00018-6)
2. Рибчук А. В., Лапчук Я. С., Паласевич М. Б. Глобальна цифровізація світового ринку транспортних послуг. *Бізнес інформ.* 2022. №12. DOI: [10.32983/2222-4459-2022-12-173-178](https://doi.org/10.32983/2222-4459-2022-12-173-178)
3. Mohamed-Iliasse Mahraz, Abdelaziz Berrado, Loubna Benabbou. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. 2019. Pages. 917-931.
4. Marzenna Cichosz, Carl Marcus Wallenburg, A. Michael Knemeyer. Digital transformation at logistics service providers: barriers, success factors and leading practices. *The International Journal of Logistics Management*. Vol. 31 No. 2, 2020 pp. 209-238 DOI: [10.1108/IJLM-08-2019-0229](https://doi.org/10.1108/IJLM-08-2019-0229)
5. Benjamin Nitsche, Frank Straube. Current State and Future of International Logistics Networks—The Role of Digitalization and Sustainability in a Globalized World. *Logistics* 2023, 7(4), 83; DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics7040083>

6.Dhruv Ahir, Aniket Agrawal, DR. M Sumetha. A Research Paper On Study Of Digitalization In International Logistics. *International Journal of Creative Research Thought (IJCRT)*. Volume 11. Issue 2. 2023.

Віштак Інна Вікторівна - кандидат технічних наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua

Химич Вікторія Вадимівна - студентка групи 1Л-22б, факультет менеджменту та інформаційної безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vikahimich10@gmail.com

Гайдай Анастасія Сергіївна – студентка групи 1Л-22б, факультет менеджменту та інформаційної безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail : segeygayday@gmail.com

Vishtak Inna V. – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Life Safety and Safety Pedagogy, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua

Khimich Viktoriia V. – Department of Management and Information Security, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vikahimich10@gmail.com

Haiday Anastasiia S. – Department of Management and Information Security, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: segeygayday@gmail.com

ПРОЄКТУВАННЯ ТРАНСПОРНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ ПЕРЕВЕЗЕНЬ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Університет митної справи та фінансів

Анотація

Ефективні транспортно-логістичні системи перевезення соняшникової олії автомобільним транспортом під час війни передбачають вибір безпечного маршруту. Організація таких перевезень характеризується ризиками та невизначеностями. Для прийняття рішення в умовах невизначеності пропонується використовувати критерії Лапласа, Вальда, Севіджа та Гурвіца.

Ключові слова: соняшникова олія, транспортно-логістичні системи, критерії невизначеності.

Аграрний сектор України займає 59% загального експорту країни [1]. Найбільший обсяг у експорті займають соняшникова олія, кукурудза, ріпак тощо. На рисунку 1 наведено відсоткову діаграму позицій експорту аграрної продукції.

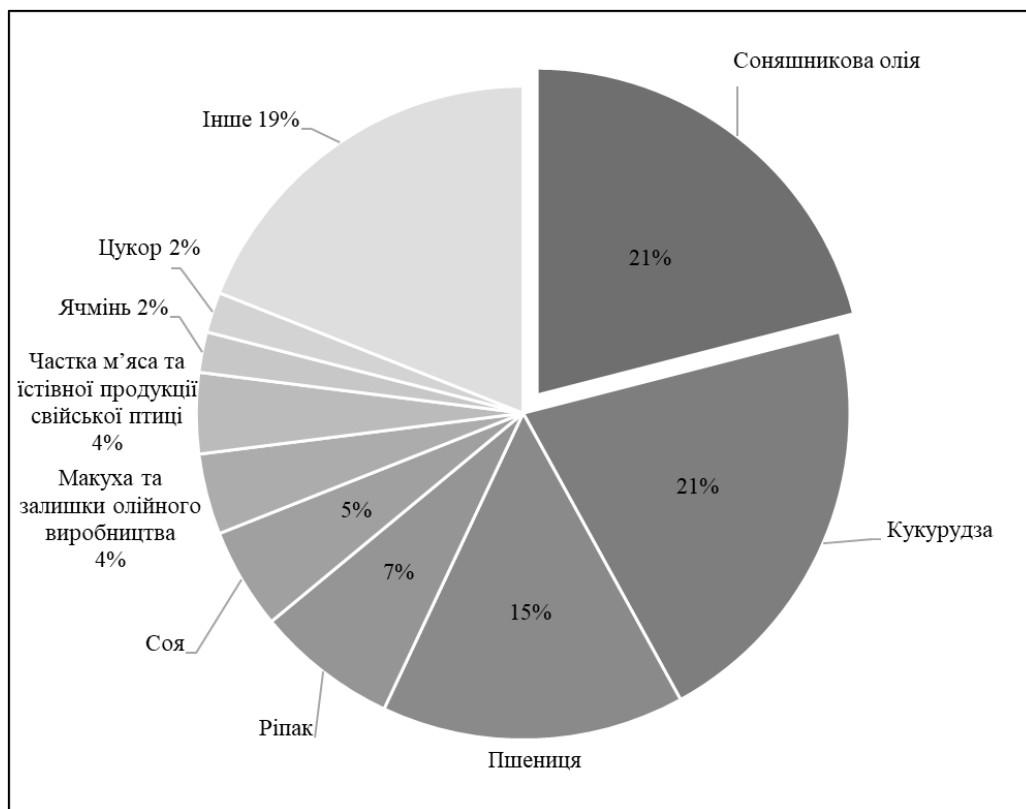


Рисунок 1 – Складові структури аграрного експорту України за 2024 рік

Але в умовах воєнного стану виникають певні труднощі під час перевезень соняшникової олії автомобільним транспортом. Їх умовно можна поділити на небезпеки на маршруті (авіа- та ракетні удари: ризик ураження на дорогах, особливо біля стратегічних об'єктів: мостів, залізниць, складів; міни на дорогах; довгі затримки на блокпостах тощо); логістичні виклики (пошкоджена інфраструктура; дефіцит дизельного пального у деяких регіонах; черги на заправках; проблеми з водіями через мобілізацію); вимоги до транспорту (соняшникова олія вимагає перевезення у спеціалізованих харчових автоцистернах, які повинні бути чистими та сертифікованими;

упаковка в пляшки потребує захисту від механічних пошкоджень); вимоги до температурного режиму (під час перевезення взимку є ризик загусання олії при сильному морозі, влітку – ризик псування продукції без належної вентиляції); юридичні і комерційні складнощі (через війну багато страхових компаній відмовляються покривати ризики або значно підвищують тарифи; у зоні бойових дій для перевезення вантажів можуть вимагатися спеціальні пропуски та ліцензії).

З метою вирішення цих проблем можна використовувати альтернативні маршрути через Польщу, Румунію, Молдову та застосовувати супутниковий моніторинг вантажівок із соняшниковою олією для контролю за їх пересуванням.

Перелічені вище труднощі викликають певні невизначеності під час організації перевезень соняшникової олії автомобільним транспортом. Зниження рівня невизначеності в ланцюгах поставок може бути досягнуто шляхом введення надмірності в їх структурі, наприклад, створенням тимчасових буферів, резервних запасів, додаткових складів чи резервів потужностей. Важливим інструментом також є покращення координації та обміну інформацією між учасниками ланцюга, що підвищує якість, своєчасність доступності прогнозів попиту для всіх учасників [2]. Для прийняття рішення в умовах повної невизначеності пропонується використовувати критерії Лапласа, Вальда, Севіджа та Гурвіца.

Задачі прийняття рішень в умовах невизначеності близькі за ідеями та методами до теорії ігор. Основна відмінність полягає в тому, що для таких задач відсутня конфліктна ситуація та протидія супротивників, і притаманний елемент невизначеності, пов'язаний із недостатньою поінформованістю про умови, в яких необхідно буде приймати рішення відповідальній особі (логістичному оператору) [3].

Якщо дуже бояться програти, використовують максимінний критерій Вальда. Він виражає позицію «крайнього песимізму» і орієнтується на гірші умови. Минимаксний критерій Севіджа теж край песимістичний, але орієнтується на ризик. Коли немає інформації про обставини, в яких приймається рішення, застосовують нейтральний критерій Лапласа. Критерій Гурвіца передбачає більш урівноважений вибір між позицією крайнього песимізму та позицією крайнього оптимізму. Вибирають стратегію, у рядку якої стоїть найбільший елемент матриці Гурвіца [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сайт Міністерства аграрної політики та продовольства України. – Режим доступу: <https://minagro.gov.ua/news/u-2024-rotsi-aharna-produktsiia-sklala-59-v-zahalnomu-eksporti>.
2. Гірна О. Б. Прийняття рішення в умовах невизначеності у ланцюгах постачання / О.Б. Гірна // Академічні візії. Випуск 37/2024. – С. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14226266>
3. Прокудін Г.С. та ін. Прийняття рішень в умовах невизначеності при організації міжнародних автомобільних вантажних перевезень. / Г.С. Прокудін, О.А. Чупайленко, О.Г. Прокудін, Т.Г. Хоботня, Н.В. Коп'як // Science Review. 1(36), 2021 – С. 10-16. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30012021/7374

Кузьменко Альбіна Ігорівна – к.т.н., доцент, завідувач кафедри транспортних систем та технологій, Університет митної справи та фінансів, м. Дніпро, e-mail: albinakuzmenko03@gmail.com

Павлова Вікторія Сергіївна – студентка групи Т21-1, факультету інноваційних технологій, Університет митної справи та фінансів, м. Дніпро, e-mail: vika18ppavlova@gmail.com

Project of transport and logistics systems of transportation of sunflower oil in conditions of uncertainty

Abstract

Effective transport and logistics systems of transportation of sunflower oil by road during the war provide for the choice of a safe route. The organization of such transportation is characterized by risks and uncertainty. It is proposed to use the criteria of Laplace, Walda, Sevoda and Gurvitz to make a decision in an uncertainty.

Keywords: sunflower oil, transport and logistics systems, uncertainty criteria.

Kuzmenko Albina Igorivna – Ph. D, Associate Professor, Head of the Department of Transport Systems and Technologies, University of Customs and Finance, Dnipro, e-mail: albinakuzmenko03@gmail.com

Pavlova Viktoriia Sergiivna – Student of Group T21-1, Faculty of Innovative Technologies, University of Customs and Finance, Dnipro, e-mail: vika18ppavlova@gmail.com

*O.Fomin*¹
*O.Burlutskyi*²
*I. Kulbovsky*¹
*D.Burlutskyi*²

KEY ASPECTS OF CREATING DIGITAL TWINS OF FREIGHT CARS AT THE DESIGN STAGE

¹ State University of Infrastructure and Technologies

² Ukrainian State University of Railway Transport

Abstract The global industry and transport are rapidly moving into the era of digitalisation, which is radically changing approaches to the production, operation and maintenance of railway transport. Ukraine, as part of the global market, is also actively implementing innovative solutions. An approach to design based on a digital twin has been introduced, which will provide an end-to-end design workflow in a single information space regardless of the software systems used to calculate the components and systems of freight cars, and a block diagram of the operation of a digital twin of a freight car has been constructed. Modelling various operating scenarios on virtual copies allows optimising maintenance and repair modes. Scientifically based algorithms integrated into digital twins contribute to the early detection of potential malfunctions.

Keywords: transport, railway transport, wagons, digital twins, computer technology, artificial intelligence, transport technology.

Global industry and transportation are rapidly moving into the era of digitalization, which is dramatically changing approaches to the production, operation and maintenance of railway transport [1]. Ukraine, as part of the global market, is also actively implementing innovative solutions. Rail transport is the circulatory system of the Ukrainian economy and logistics, combining strategic, economic and social functions.

In [2], the "five-dimensional digital twin model" is presented, in which the problem is considered from a slightly different angle, the model is described by the formula:

$$M_{DT} = (PE, VM, Ss, DD, CN), \quad (1)$$

where PE - physical objects, VM - virtual models, Ss - services, DD - digital twin data, CN - interaction protocols.

Based on the considered model of a digital twin and the described algorithm of the digital twin's operation, taking into account the obtained defects in operation considered in [3], a new approach to the concepts of a digital twin of a freight car at all stages of the life cycle is created.

-Product development (**CD-1**);

-Production (**CD-2**);

-Operation (**CD-3**).

At the stage of product development (CD-1), a module for managing product requirements was developed, a significant amount of high-precision mathematical modeling of freight cars was performed, (Fig.1) shows a digital twin of a mineral car hopper, a dynamic model of the hopper was created, and a software package was developed to predict the technical condition and development of defects from corrosion and other operating factors. Preparations are underway for the second stage of engineering tests in real operating conditions to verify the approaches used and the developed mathematical models of freight cars.

One of the important tasks of a digital twin is to create end-to-end links between requirements and technical solutions that need to be adopted as soon as possible to minimize the number of design errors, especially at the stages of development when the car is being manufactured and tested.

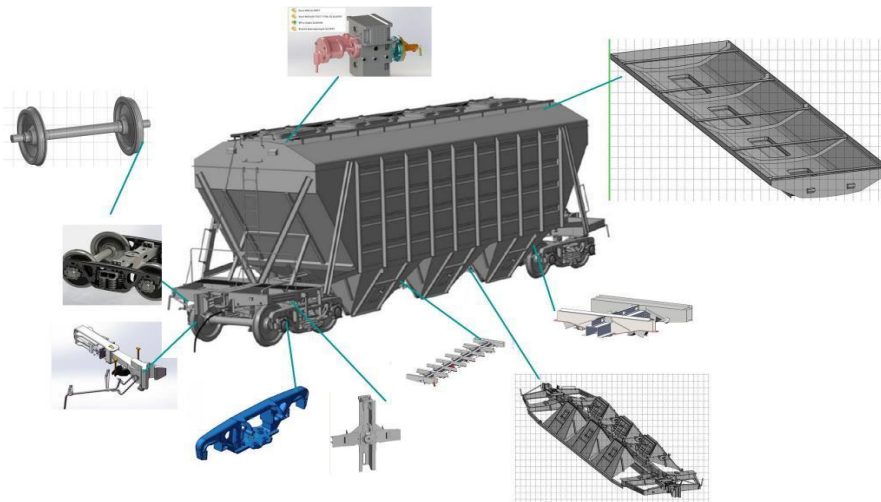


Fig.1 Digital twin of a mineral hoppers car

The applied value of digital twins lies in the ability to model the impact of various loads on the railcar structure. The introduction of this technology helps to increase the capacity of railways by reducing delays. Digital twins can be used to train personnel in the maintenance and operation of railcars. The practical use of virtual copies facilitates the certification and testing of new freight car models. The economic effect of the introduction of digital twins is manifested in the increase in the service life of railcars.

REFERENCE

1. Samsonkin VM The main aspects of the concept of digitalisation of railway transport in Ukraine / VM Samsonkin, OV Yurchak, VV Gaevskiy, VS Merkulov, IH Biziuk // Information and control systems in railway transport: abstracts of poster presentations and speeches of participants of the 33rd International Scientific and Practical Conference "Information and Control Systems in Railway Transport" (Kharkiv, 30 October 2020). - 2020.
2. Qi. Q., Tao F., Hu. T., Anwer N., Liu A., Wei Y., Wang L., Nee A. Enabling technologies and tools for digital twin // J. of Manufacturing Systems. 2019. DOI:10.1016/j.jmsy.2019.10.001.
3. Fomin O. V., Burlutskiy O. V., Analysis and classification of damages of universal gondola cars that occur during their life cycle, Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute. 2012., № 4., С. 163-167.

Fomin Oleksii Victorovich., Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Wagons and Wagon Management State University of Infrastructure and Technology, fominaleksejvictorovic@gmail.com

Burlutskiy Oleksii Victorovich, PhD, Assistant, Department of Mechanical Engineering and Machine Design Ukrainian State University of Railway Transport, leha2006181@gmail.com

Kulbovsky Ivan Ivanovich, PhD, Department of Automation and computer-integrated transportation technologies, University of Infrastructure and Technology,

Burlutskiy Danilo Oleksievich, higher education student in specialty 133 Industrial Mechanical Engineering, Ukrainian State University of Railway Transport, Bdana5878@gmail.com

КЛЮЧОВІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ

Анотація. Світова промисловість і транспорт стрімко переходять в епоху діджиталізації, яка докорінно змінює підходи до виробництва, експлуатації та обслуговування залізничного транспорту. Україна, як частина глобального ринку, також активно впроваджує інноваційні рішення. Впроваджено підхід до проектування на основі цифрового двійника, який забезпечить наскрізний робочий процес проектування в єдиному інформаційному просторі незалежно від програмних комплексів, що використовуються для розрахунку вузлів та систем вантажних вагонів, та побудовано блок-схему роботи цифрового двійника вантажного вагона. Моделювання різних сценаріїв експлуатації на віртуальних копіях дозволяє оптимізувати режими технічного обслуговування та ремонту. Науково обґрунтовані алгоритми, інтегровані в цифрових двійників, сприяють ранньому виявленню потенційних несправностей.

Ключові слова: транспорт, залізничний транспорт, вагони, цифрові двійники, комп'ютерні технології, штучний інтелект, транспортні технології.

Фомін Олексій Вікторович, доктор технічних наук, професор кафедри вагонів та вагонного господарства Державного університету інфраструктури та технологій, fominaleksejvictorovic@gmail.com

Бурлуцький Олексій Вікторович, кандидат технічних наук, асистент, кафедра технології машинобудування та конструювання машин, Український державний університет залізничного транспорту, leha2006181@gmail.com

Кульбовський Іван Іванович, к.т.н., кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих транспортних технологій, Університет інфраструктури та технологій,

Бурлуцький Данило Олексійович, здобувач вищої освіти за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування, Український державний університет залізничного транспорту, Bdana5878@gmail.com

А. Н. Аль-Амморі
О. В. Мозговий
Р. М. Іщенко

ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В АВТОМОБІЛЯХ

Національний транспортний університет

Анотація. Розглядається можливість використання сонячної енергії в автомобілях: переваги і недоліки такого використання. **Ключові слова:** сонячна енергія, сонячні елементи, теплові батареї.

Для переміщення людей, вантажів, сигналів та інформації з одного місця в друге як засіб використовується транспорт. Найпоширеніший вид – автомобільний транспорт. Він молодший залізничного чи водного, але через маневровість, гнучкість, швидкість автомобільний транспорт складає конкуренцію іншим видам транспорту. Серед існуючих автомобілів абсолютну більшість становлять автомобілі індивідуального користування, як правило легкові. Використовуються вони для поїздок на короткі і середні відстані. На великі відстані (більше тисячі кілометрів) автопотяги складають конкуренцію залізниці коли потрібно перевезти продукти, які швидко псуються тощо. Можливість доставки вантажів «від воріт до воріт» є ще однією перевагою автомобільних перевезень.

Підвищення комфортності салонів і додаткових зручностей автобусів на міжнародних рейсах і туристичних маршрутах склало успішну конкуренцію перевезень залізницею і авіацією.

Маючи переваги автомобільний транспорт має і недоліки. В першу чергу це вплив на довкілля і суспільство: виробництво, експлуатація та утилізація автомобілів, масел, покришок, палива, яке у автомобілях спалюється найбільша частина світового обсягу, що забруднює повітря. Оксиди азоту і сірки, які викидаються в атмосферу при цьому, викликають кислотні дощі. Забруднюються запаси прісної води токсичними зливами з доріг і парковок.

Враховуючи значні переваги автомобілів людство прагне не відмовлятися від такого виду транспорту, а зменшити його шкідливий вплив. Перше, це – відмовитися від двигунів, які потребують паливо. Наприклад, електромобілі або водневі двигуни. Кількість електромобілів у світі постійно зростає і гострою стає необхідність забезпечення їх достатньою кількістю сучасних зарядних станцій. Такі станції для електромобілів ще не мають спільного для всіх країн стандарту. Сучасні акумулятори не дозволяють без підзарядки долати великі віддалі. Допомогою тут може стати використання сонячних панелей на монокристалах, полікристалах чи тонкоплівкові. Такі панелі розміщуються на дахах автомобілів як легкових, так і вантажних. Це дає більший проміжок часу між зарядженням електромобіля, а також процес зарядження відбувається коли автомобіль знаходиться не на зарядній станції. Зрозуміло, що замінити зарядну станцію така батарея не може. Але в умовах не частого використання автомобіля дає змогу зменшити час перебування на зарядній станції. Прикладом може стати компанія Lamberet і Adri & Zoon [1], яка почала експлуатувати повністю електричний причіпрефрижератор у якого на даху розміщена сонячна панель. Причіп оснащений електричною холодильною установкою Carrier і віссю SAF, що генерує електроенергію для системи охолодження під час руху, а сонячна панель на даху підтримує заряд батареї. Причіп повністю електричний та без викидів і економитиме щороку понад 4000 євро на паливі.

Сучасні сонячні панелі виготовляються різних розмірів, потужностей і можуть мати можливість складатись-розкладатись і навіть скручуватись в циліндр [2]. Тому їх можна використовувати в автомобілях з двигунами внутрішнього згорання. Ефективним буде

використання додаткового акумулятора, який буде заряджатися коли автомобіль рухається і коли він буде стояти. Якщо сонячну панель, що може згинатися, розмістити в салоні автомобіля за лобовим чи заднім склом, вона збереже автомобіль від перегрівання на сонці і додатково ще надасть електричну енергію.

Використання сонячних панелей на відпочинку дає змогу не переживати коли використовувати освітлення місця відпочинку від акумулятора автомобіля, що він розрядиться. Потрібно використовувати додатковий акумулятор для цих цілей, який у світлу частину доби знову буде заряджатись.

При встановленні сонячної панелі на дах автомобіля потрібно враховувати додатковий опір повітряного потоку, що збільшує витрату палива чи електричної енергії в електромобілі. До недоліків потрібно віднести і додаткові матеріальні витрати, які будуть з часом компенсовані відновлювальною енергією сонця чи комфортним відпочинком.

Сонце дає змогу отримати теплу воду і можна обігрівати салон автомобіля чи палатку. Для цього потрібно виготовити теплову сонячну батарею розмірами під багажник свого автомобіля. Може бути зігнута змійкою одна темна трубка (металева чи пластмасова), яку краще помістити під прозору плівку. Мати ємність для води з підключеною до неї тепловою батареєю.

Використання сонячної енергії дозволяє мати стабільну роботу електричної частини автомобіля, особливо під час довгих стоянок, чи комфортне перебування в місцях без стаціонарного забезпечення електроенергією за рахунок електричної енергії з використанням сонячних панелей і додаткових акумуляторів та теплом завдяки тепловим сонячним батареям.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. «Реф» на напівпричепі отримує електрику з сонячної панелі на даху. URL: https://auto.24tv.ua/ref_na_napivprychepi_otrymuie_elektryku_z_soniachnoi_paneli_na_dakhu_n60864
2. Аль-Амморі А.Н., Іщенко Р.М., Дехтяр М.М. Підвищення ефективності використання відновлюваних джерел енергії та інформаційна безпека на транспорті : Монографія. К. : НТУ, 2023. 250с.

Аль-Амморі Алі Нурддинович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: ammourilion@ukr.net, тел. +380442846709, +380983556786, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 406, orcid.org/0000-0002-0375-6108.

Мозговий Олександр Васильович, кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, mavimfto@gmail.com, тел. +380632395227, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 414, orcid.org/0000-0002-0797-8779

Іщенко Руслан Миколайович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: rm_ischenko@ukr.net, тел. +380442846709, +380673187955, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 410, orcid.org/0000-0003-0158-4020.

UTILIZATION OF SOLAR ENERGY IN AUTOMOBILES

Abstract. The possibility of using solar energy in cars is considered: advantages and disadvantages of such use.

Keywords: solar energy, solar cells, thermal batteries.

Al-Ammouri Ali N., doctor of technical sciences, professor, National Transport University, head of department of Information analysis and information security, e-mail: ammourilion@ukr.net, tel. +380442846709, +380983556786, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 406, orcid.org/0000-00020375-6108.

Mozghovyi Oлександр V., candidate of Technical Science, Associate Professor, Department of Information and Analytical Activities and Information Security, National Transport University, e-mail: mavimfto@gmail.com, tel. +380442846709, +380632395227, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 414, orcid.org/0000-0002-0797-8779.

Ishchenko Ruslan M., candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, National Transport University, associate professor of department of Information analysis and information security, e-mail: rm_ischenko@ukr.net, tel. +380442846709, +380673187955, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 410, orcid.org/0000-0003-0158-4020.

ЛОГІСТИКА ЗБУТУ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ ОБОРОННОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут".

Анотація

У роботі розглянуто особливості організації логістики збуту високотехнологічної продукції оборонного призначення, зокрема безпілотних авіаційних комплексів. Акцент зроблено на ключових складових процесу збуту: складуванні, обробці замовлень, транспортуванні, прийманні продукції та організації зворотного логістичного потоку. Увагу приділено викликам, що виникають в умовах воєнного часу, та можливим шляхам їх подолання за рахунок впровадження сучасних технологій логістичного менеджменту. Окремо проаналізовано реверсивну логістику, зокрема процеси повернення БПЛА для ремонту, утилізації застарілих одиниць та повторного використання компонентів.

Ключові слова: логістика збуту, безпілотні авіаційні комплекси, військова логістика, реверсивна логістика, складування, транспортування, ремонт, утилізація.

У контексті забезпечення ефективного функціонування підприємства, що спеціалізується на виробництві високотехнологічної продукції оборонного призначення, важливе місце займає логістика збуту. Збутова логістика охоплює усі процеси, пов'язані з переміщенням готової продукції від місця виробництва до кінцевого споживача – у даному випадку, військових частин. Основною метою є забезпечення своєчасної, надійної та безпечної доставки продукції, зокрема модернізованих зразків високотехнологічного обладнання, таких як безпілотні авіаційні комплекси [1].

Першим етапом процесу є організація складування, яке може бути як централізованим на основному складі, так і децентралізованим – у логістичних пунктах ближче до споживача. Це підвищує оперативність доставки, скорочує час реагування на потреби замовника й знижує ризики транспортування у зоні бойових дій. Для ефективного зберігання необхідно дотримуватися відповідних умов (температура, волога, пил), забезпечити фізичну та інформаційну безпеку, охоронну інфраструктуру та підключення до логістичних ІТ-систем. Продукція має бути правильно маркована, упакована та збережена відповідно до технічних регламентів. Впровадження WMS-систем дозволяє вести точний облік, контролювати залишки та оптимізувати маршрути відвантаження [2].

Наступний етап – обробка замовлень: отримання заявок, перевірка наявності продукції, формування документів, перевірка комплектності та технічного стану. Цифрова обробка охоплює інтеграцію з системами електронного документообігу та логістичного контролю. Після цього виконується пакування з урахуванням характеристик техніки та підготовка до транспортування [3].

Ключовим є транспортування з урахуванням зони доставки, інфраструктури та безпекової ситуації. Найчастіше використовується автомобільний транспорт, але для об'ємних або віддалених вантажів – залізничний чи авіаційний. Необхідно передбачати альтернативні маршрути. Доставка здійснюється безпосередньо до військових частин або через логістичні хаби. За потреби залучають сторонніх логістичних операторів за умови належного контролю [4].

По прибуттю відбувається приймання продукції: перевірка цілісності, відповідності технічним вимогам і підписання акту. За потреби – тестування на місці. Завершальний етап – зворотний зв'язок: збір відгуків, виявлення недоліків, оновлення даних в ІТ-системах для оптимізації наступних циклів.

Реверсивна логістика охоплює повернення техніки: БПЛА – на ремонт, пошкожені – на утилізацію, придатні компоненти – на повторне використання. В умовах війни цей процес набуває критичного значення через високу частоту зносу техніки. Повернення включає

реєстрацію, транспортування, діагностику, ремонт або заміну компонентів і повторне введення в експлуатацію. Швидкість і ефективність ремонту напряду впливають на бойову спроможність.

Утилізація здійснюється щодо техніки, яка не підлягає ремонту. Вона передбачає транспортування до спеціалізованих пунктів, демонтаж та утилізацію згідно з екологічними стандартами. Компоненти, що підлягають повторному використанню, підлягають обліку та зберігаються.

Зворотна логістика у воєнний час стикається з труднощами: небезпека маршрутів, руйнування інфраструктури, нестача ресурсів і недостатня координація між учасниками. Це призводить до затримок та ускладнень ремонту і утилізації техніки.

Таким чином, загальна схема логістики збуту продукції містить такі типи об'єктів (пунктів): виробничі підприємства, склади (підприємства, оптові, волонтерські), пункти ремонту (підприємства, волонтерські, 3D-друку), пункти утилізації. Між вказаними об'єктами мають реалізовуватися як прямі зв'язки, так і зворотні (до пунктів ремонту).

В умовах бойових дій необхідна гнучкість та адаптивність логістичних процесів. Цифровізація – ключовий інструмент підвищення ефективності: відстеження вантажів у реальному часі, автоматизоване управління, обмін даними, прогнозування потреб. Використання дронів для доставки техніки до військових частин зменшує ризики для персоналу та покращує мобільність логістичних операцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. De Koster R., Le-Duc T., Roodbergen K. J. Design and control of warehouse order picking: A literature review [Текст] // *European Journal of Operational Research*. – 2007. – Vol. 182, No. 2. – С. 481–501. – DOI: 10.1016/j.ejor.2006.07.009.
2. Craighead C. W., Blackhurst J., Rungtusanatham M. J., Handfield R. B. The Severity of Supply Chain Disruptions: Design Characteristics and Mitigation Capabilities [Текст] // *Decision Sciences*. – 2007. – Vol. 38, No. 1. – С. 131–156. – DOI: 10.1111/j.1540-5915.2007.00151.x.
3. Díaz-Madroño M., Peidro D., Mula J. A review of tactical optimization models for integrated production and transport routing planning decisions [Текст] // *Computers & Industrial Engineering*. – 2015. – Vol. 88. – С. 134–145. – DOI: 10.1016/j.cie.2015.06.010.
4. Lange V., Daduna H. The Weber Problem in Logistic and Services Networks under Congestion [Текст] // *arXiv*. – 2022. – DOI: 10.48550/arXiv.2208.03314.

Полупан Юрій Володимирович – аспірант, кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет «ХАІ», м. Харків, Україна, e-mail: yuriypolupan6@gmail.com.

Малєєва Ольга Володимирівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет «ХАІ», м. Харків, Україна, e-mail: o.malyeyeva@khai.edu.

LOGISTICS OF SALES OF HIGH-TECH DEFENSE PRODUCTS

Abstract

The paper discusses the specifics of organizing the sales logistics of high-tech defense products, particularly unmanned aerial systems (UAS). The focus is on the key components of the sales process: warehousing, order processing, transportation, product acceptance, and the organization of reverse logistics flows. Attention is given to the challenges that arise in wartime conditions and potential solutions through the implementation of modern logistics management technologies. The reverse logistics process is analyzed separately, including the return of UAS for repairs, disposal of obsolete units, and the reuse of components.

Keywords: sales logistics, unmanned aerial systems (UAS), military logistics, reverse logistics, warehousing, transportation, repair, disposal.

Yuriy Polupan – Ph.D. Student at the Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: yuriypolupan6@gmail.com.

Olga Malyeyeva – Doctor of Sciences (Technical Sciences), Professor, Professor of the Department of Computer science and information technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: o.malyeyeva@khai.edu.

ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТУ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА БЕЗПЕКУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Національний університет водного господарства та природокористування

Анотація

У роботі розглянуто сутність автономного автомобільного транспорту як сучасного виду перевезень, що функціонує без участі водія завдяки поєднанню сенсорів, штучного інтелекту та навігаційних систем. Описано рівні автоматизації за класифікацією SAE, принципи роботи основних технологічних компонентів та їх роль у забезпеченні безпеки руху. Проаналізовано позитивний вплив автономного транспорту на зменшення аварійності, а також окреслено потенційні ризики, пов'язані з технічними відмовами, кібератаками та правовою невизначеністю. Зроблено висновок про необхідність комплексного підходу до впровадження автономних систем у транспортну інфраструктуру.

Ключові слова: автономний транспортний засіб, транспортна інфраструктура, конструкція, безпека дорожнього руху, безпека перевезень

Автономний автомобільний транспорт – це транспортний засіб, здатний переміщатися без безпосереднього втручання водія, завдяки поєднанню сенсорів, алгоритмів штучного інтелекту та високоточних систем навігації з дотриманням всіх заходів спрямованих на підвищення безпеки, ефективності та зниження людського фактору у процесі керування для прийняття рішень у режимі реального часу [1]. Найчастіше автономні транспортні засоби можна побачити у звичних дорожніх умовах.

Незважаючи на те, що вони можуть відтворювати поведінку людини за кермом без стільникового зв'язку, включення розширеного зв'язку в транспортну екосистему стане ключовим для розблокування повністю автономного майбутнього [2].

Стандартизація процесів керування автономними автомобілями базується на рівнях автоматизації, визначених SAE (Society of Automotive Engineers) – це глобальна професійна організація, що об'єднує інженерів та експертів у галузі транспортних засобів, займається розробкою стандартів для забезпечення безпеки, ефективності та сумісності технологічних рішень у автомобільній, авіаційній та суміжних галузях, а також сприяє професійному розвитку через освітні програми, конференції та дослідницькі ініціативи [3].

Перший рівень включає базові допоміжні системи, такі як адаптивний круїз-контроль або системи екстреного гальмування, до рівня 2 – часткова автоматизація дозволяє автомобілю виконувати декілька завдань одночасно (керування, гальмування, прискорення) за умови контролю водія, а для рівня 3, коли транспортний засіб може самостійно управлятися за певних умов, проте водій має бути готовий втрутитися, і до рівня 4-5, де висока автоматизація забезпечує автономну дію автомобіля у більшості або всіх умов без участі людини, – різні етапи розвитку технологій автономного управління відображають поступовий перехід від допоміжних систем до повністю автономного руху.

Автономність автомобіля досягається завдяки інтегрованій системі технологічних компонентів, які виконують різні функції та доповнюють один одного. Лідари та радары використовують випромінювання світлових та радіохвиль для точного визначення відстаней до об'єктів, швидкості їх руху та раннього виявлення потенційних перешкод, що дозволяє системі ефективно реагувати на змінні дорожні умови. Камери високої роздільної здатності забезпечують візуальне сприйняття навколишнього середовища, розпізнають дорожні знаки, розмітку, пішоходів та інші об'єкти, що є критично важливим для формування повної картини ситуації на дорозі. Системи GPS та інші технології навігації забезпечують точне позиціонування транспортного засобу на мапі, дозволяючи розраховувати оптимальні маршрути з урахуванням актуальних дорожніх умов та обмежень. Алгоритми штучного інтелекту, розроблені для обробки великого обсягу даних із усіх сенсорів, аналізують ситуацію в режимі реального часу,

прогнозують можливі загрози та приймають своєчасні рішення, що сприяє безпечному та ефективному управлінню транспортним засобом [4].

Попри численні переваги, автономний транспорт має і потенційні ризики для безпеки перевезень. Серед них – можливі відмови (збій) в роботі програмного забезпечення або сенсорів, що можуть призвести до неправильного реагування на дорожню ситуацію. Небезпеку також становить невизначена поведінка систем в умовах складного або непередбачуваного потоку, особливо за несприятливих погодних умов або при поганій розмітці. Крім того, автономні транспортні засоби вразливі до кібератак, що створює додаткову загрозу. Ще одним викликом є відсутність чітких юридичних механізмів [5, 6].

Таким чином. Автономний автомобільний транспорт є однією з найперспективніших технологій сучасності, що відкриває нові можливості для підвищення безпеки, ефективності та екологічності перевезень. Завдяки використанню сенсорних систем, алгоритмів штучного інтелекту та високоточної навігації, такі транспортні засоби здатні самостійно орієнтуватися у складному дорожньому середовищі та приймати рішення в режимі реального часу. Визначення рівнів автоматизації за класифікацією SAE дозволяє стандартизувати підходи до розробки та впровадження автономних функцій. Проте, впровадження автономного транспорту також супроводжується низкою викликів, зокрема – технічними відмовами, вразливістю до кібератак, складністю адаптації до нестандартних ситуацій та невизначеністю у правовому регулюванні. Тому подальший розвиток цієї галузі потребує комплексного підходу, який поєднує технологічне вдосконалення, нормативну підтримку та широке тестування в реальних умовах задля досягнення максимальної безпеки та надійності перевезень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Autonomous vehicles will make our roads safer, increase accessibility, and improve supply chains. Autonomous Vehicle Industry Association : веб-сайт. URL : <https://theavindustry.org/> (дата звернення 28.03.2025).
2. The road to autonomous transportation. Ericsson : веб-сайт. URL : <https://www.ericsson.com/en/about-us/new-world-of-possibilities/imagine-possible-perspectives/road-to-autonomous-transportation> (дата звернення 28.03.2025).
3. SAE International – Advancing Mobility Knowledge and Solutions. SAE International : веб-сайт. URL : <https://www.sae.org/> (дата звернення 28.03.2025).
4. The Functional Components of Autonomous Vehicles. Robson Forensic : веб-сайт. URL : <https://www.robsonforensic.com/articles/autonomous-vehicles-sensors-expert> (дата звернення 28.03.2025).
5. What are the Risks and Rewards of Autonomous Vehicles? College of Humanities and Social Sciences : веб-сайт. URL : <https://chass.ncsu.edu/news/2024/03/28/what-are-the-risks-and-rewards-of-autonomous-vehicles/> (дата звернення 02.04.2025).
6. Risk and Opportunity Governance of Autonomous Cars. Report the International Risk Governance Center. 2016. URL : https://irgc.org/wp-content/uploads/2018/09/IRGC-workshop-Autonomous-Cars_15-16June-Background-Paper-13June.pdf.

Хітров Ігор Олександрович – канд. техн. наук, доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua

IMPLEMENTATION OF AUTONOMOUS TRANSPORT AND ITS IMPACT ON TRANSPORTATION SAFETY

Abstract

The paper examines the concept of autonomous road transport as a modern mode of transportation that operates without driver intervention through the integration of sensors, artificial intelligence, and navigation systems. It outlines the levels of automation according to the SAE classification, explains the operating principles of key technological components, and highlights their role in ensuring road traffic safety. The positive impact of autonomous transport on reducing accident rates is analyzed, along with potential risks associated with technical failures, cyberattacks, and legal uncertainty. The study concludes that a comprehensive approach is required for the successful integration of autonomous systems into transport infrastructure.

Keywords: autonomous transport vehicle, transport infrastructure, structure, road traffic safety, transportation safety.

Khitrov Igor – Cand. tech. Sciences, Associate Professor of the Transport Technology and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО РУХУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ З АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З ЗУПИНКОЮ В НАСЕЛЕНОМУ ПУНКТІ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

В даній роботі показано, якого вигляду набуває функція Лагранжа у випадку, коли в задачі синтезу моделей оптимального руху електромобіля необхідно враховувати появу населеного пункту та зупинку в ньому, і синтезовано математичні моделі оптимального руху електромобіля з зупинкою в межах населеного пункту і з початком руху як в межах цього ж пункту, так і за його межами

Ключові слова: електромобіль, асинхронний електропривод, населений пункт, моделі оптимального руху, критерій мінімуму витрат заряду акумуляторної батареї, зупинка в пункті, врахування обмежень.

В роботах [1]–[3] розв’язано задачу синтезу математичних моделей оптимального руху електромобіля з асинхронним приводом, який має подолати відстань за заданий час із мінімальними витратами заряду акумулятора. Моделі описують залежності від відносного часу τ відносного струму силової акумуляторної батареї $i(\tau)$ та відносної швидкості руху $v(\tau)$, які мінімізують критерій відносних витрат енергії e_k акумуляторної батареї

$$e_k = \int_0^{\tau_k} (1 - ai)id\tau, \quad (1)$$

в умовах дії обмежень динаміки електромобіля, визначеної рівнянням

$$\frac{dv}{d\tau} = \ln\left(i + \sqrt{i^2 + 1}\right) \frac{a^2 + b^2}{a^2 + b^2 s_*^2} s_* - f_0 - f_1 v - f_2 v^2, \quad (2)$$

та необхідності подолання відносної відстані l_k за відносний час τ_k , зв’язаної з відотною швидкістю $v(\tau)$ функціоналом

$$l_k = \int_0^{\tau_k} v d\tau, \quad (3)$$

Але оскільки під час подолання електромобілем відстані від стартового пункту до кінцевого на цьому відрізку дороги можуть зустрітись як населені пункти, в яких правила дорожнього руху обмежують швидкість до 60, а то і до 50 кілометрів на годину, яку будемо позначати v_{01} , та дорожні знаки обмеження швидкості до рівня v_{02} , що не враховує функція Лагранжа у вигляді, використаному в роботах [1]–[3], то актуальною задачею є синтез математичних моделей оптимального руху електромобіля горизонтальним відрізком дороги шляхом мінімізації функціоналу (1), але з використанням не лише обмежень (2), (3), а і обмежень, встановлених правилами дорожнього руху для проїзду населеними пунктами та встановлених дорожніми знаками за межами населених пунктів.

В даній роботі задачу розв'язано для випадку, коли електромобіль з асинхронним електроприводом рухається горизонтальним відрізком дороги з врахуванням як обмежень (2),(3), так і за наявності на ньому населеного пункту і зупинкою у цьому пункті та без наявності інших обмежень.

Для цього випадку функція Лагранжа набуває вигляду

$$L(\tau, u, i, v, s_*, \psi, u', i', v', s_*', \psi') = (1 - \alpha i) i + \\ + \lambda_1 \left(v' - \ln(i + \sqrt{i^2 + 1}) \frac{a^2 + b^2}{a^2 + b^2 s_*'^2} s_*' + f_0 + f_1 v' + f_2 v'^2 \right) + \quad (4) \\ + \lambda_2 (\psi' - v) + \lambda_3 (v - v_{01})$$

де ψ' - похідна від інтегралу (3) з відпущеною верхньою границею, а λ_1, λ_2 - невизначені множники Лагранжа.

В роботі показано, як синтезувати систему рівнянь Ейлера-Лагранжа, використовуючи вираз (4), та як шляхом розв'язання отриманої системи рівнянь синтезувати моделі оптимального руху електромобіля горизонтальним відрізком дороги з зупинкою в межах населеного пункту і з початком його руху як в межах цього ж населеного пункту, так і за його межами.

Синтезовані математичні моделі після їх ідентифікації можуть бути використані в програмах навчання штучного інтелекту з цільовим призначенням для керування електричними транспортними засобами з асинхронним електроприводом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Б.І. Мокін, О.Б. Мокін, В.В. Горенюк. До питання оптимізації руху електромобіля з асинхронним електроприводом. Вісник Вінницького політехнічного інституту, №3, С.32-38, 2019.
2. Б.І. Мокін, О.Б. Мокін, В.В. Горенюк. Метод ідентифікації моделей оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом. Вісник Вінницького політехнічного інституту, №1, С.32-38, 2020
3. Б.І. Мокін, О.Б. Мокін, В.В. Горенюк. Системний аналіз оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом. Монографія. Вінниця: ВНТУ. – 2023., 114 с.

Мокін Борис Іванович — академік НАПН України, д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, e-mail: borys.mokin@gmail.com;

Мокін Олександр Борисович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, e-mail: abmokin@gmail.com;

Пасека Богдан Володимирович — аспірант кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, e-mail: bogdanpaseka2000@gmail.com.

Mathematical Models Of Optimal Movement Electric Car With Asynchronous Electric Drive A Horizontal Section Of The Road With The Presence Of A Population Point On It And A Stop At This Point

Abstract

This work shows what form the Lagrange function takes in the case when the problem of synthesizing models of optimal motion of an electric vehicle must take into account the appearance of a settlement and a stop in it, and mathematical models of optimal motion of an electric vehicle with a stop within the settlement and with the start of motion both within the same settlement and beyond it are synthesized.

Keywords: electric vehicle, asynchronous electric drive, settlement, optimal movement models, criterion of minimum battery charge costs, stop at the settlement, taking into account restrictions.

Mokin Borys I. — Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of System Analysis and Information Technologies, e-mail: borys.mokin@gmail.com;

Mokin Oleksandr B. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of System Analysis and Information Technologies, e-mail: abmokin@gmail.com;

Pasieka Bohdan V. — Post-Graduate Student of the Chair of System Analysis and Information Technologies, e-mail: bogdanpaseka2000@gmail.com.

ШВИДКІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ З ДВОМА ПОВІЛЬНИМИ АВТОМОБІЛЯМИ НА СМУЗІ РУХУ БЕЗ ОБГОНІВ ТА ВИПЕРЕДЖЕНЬ

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація

Презентовано дослідження швидкості потоку транспорту на ділянках доріг з однією доступною для руху смугою без можливості виконання маневрів обгону або випередження, коли наявний сильний вплив автомобілів один на одного. Виведена формула для розрахунку середньої швидкості пачки автомобілів з двома повільними автомобілями, які обмежують швидкість інших.

Ключові слова: транспортний потік, середня швидкість, умови руху, аналітичне моделювання, транспортна система.

Швидкість руху автомобілів займає особливе місце серед характеристик транспортних потоків (ТП) і є предметом вивчення у широкому колі питань безпеки і комфорту руху, впливу на довкілля і якість життя. Також швидкість є базовим параметром ТП у програмах для імітаційного моделювання дорожнього руху, при теоретичному аналізі характеристик ТП і при розробці заходів з організації дорожнього руху. Такі застосування часто вимагають знання середньої швидкості, закону розподілу цієї випадкової величини (ВВ) та значень його перцентилів [1]. Більшість досліджень, спрямованих на отримання цих характеристик, проведені на позаміських локаціях [2], в той час як досліджень ВВ швидкості у містах суттєво менше.

В міських умовах дорожнього простору, доступного водіям, менше у порівнянні із умовами за межами міст, що знижує швидкість руху. Найбільш розповсюдженими місцями, де спостерігається таке явище, є сильне ущільнення ТП і обмеження можливостей маневрування, викликане іншими користувачами проїжджої частини та заходами з організації дорожнього руху. Подібні умови створюють можливості для формалізації процесу руху, адже у них, на відміну від вільного ТП, спостерігається відчутний взаємний вплив автомобілів один на одного.

Для пошуку аналітичної залежності, яка дала би змогу визначити середню швидкість ТП на смузі руху без обгонів і випереджень за умови наявності у ТП двох повільних автомобілів (ПА), що обмежують швидкість інших, вирішувана задача була формалізована наступним чином: нехай N автомобілів, що рухаються щільним ТП, у випадковому порядку в'їжджають на смугу руху, де неможливі обгони та випередження; нехай нумерація автомобілів у пачці починається з 0 і при рівній ймовірності для кожного автомобіля зайняти будь-яке місце x у пачці кожен з них з ймовірністю $1/N$ може мати номер $x \in [0; N - 1]$; нехай усі водії, крім двох, бажають їхати зі максимально дозволеною швидкістю V_{\max} ; нехай водій першого повільного автомобіля (ПА1) їде зі швидкістю V_s , $0 < V_s < V_{\max}$, а другого ПА (ПА2) – зі швидкістю V_2 , $V_2 > V_s$; нехай $\Delta_s = (V_{\max} - V_s)$ – відхилення швидкості ПА1 від максимально дозволеної, а $\Delta_2 = (V_2 - V_s)$ – відхилення швидкості ПА2 від швидкості ПА1.

Оскільки обгони на смузі руху заборонені, то швидкість $(N - 2)$ автомобілів, водії яких бажають їхати зі швидкістю V_{\max} , залежатиме від того, за яким із ПА вони опинилися. Якщо за ПА1, то вони виїжджатимуть з ділянки зі швидкістю V_s , якщо тільки за ПА2 – то зі швидкістю V_2 , а автомобілі перед обома ПА – зі швидкістю V_{\max} . Якщо ПА1 зі швидкістю V_s опинився у потоці попереду ПА2 і зайняв у ньому позицію x , рис. 1а, то середня швидкість потоку на виїзді зі смуги руху буде такою самою, як і в найпростішому випадку з одним ПА у потоці, і дорівнюватиме $\bar{V} = V_s + (N - 1)\Delta_s / 2N$ [3]. Ймовірність такої події складає $1/N$. З такою ж ймовірністю на позиції x попереду ПА1 може опинитися і ПА2 зі швидкістю V_2 . Тоді всі автомобілі перед ним їхатимуть із швидкістю V_{\max} , він – зі швидкістю V_2 , а автомобілі за ним – або зі швидкістю V_2 , якщо перед ними немає ПА1, або зі швидкістю V_s , якщо він перед ними є, рис. 1б.

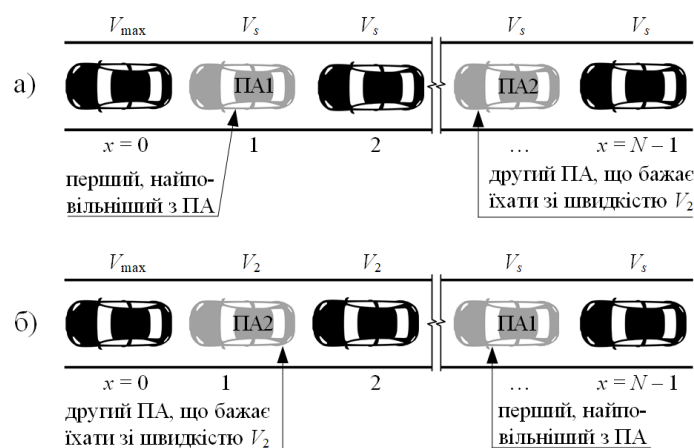


Рисунок 1 – Схема транспортного потоку з двома ПА: а) коли повільніший з них виявився поперед іншого ПА; б) коли швидший з них опинився поперед іншого ПА

Таким чином, для $(N - x - 1)$ автомобілів після позиції x у потоці виникає ситуація з одним ПА, описана у [37], тільки з максимальною швидкістю V_2 . Зроблені на викладених основах математичні перетворення дали можливість вивести формулу шуканої середньої швидкості:

$$\bar{V} = V_s + \frac{\Delta_s}{N} \cdot \frac{N-2}{3} + \frac{\Delta_2}{2N} \cdot \frac{N+1}{3}. \quad (1)$$

Отримана формула дає можливість прослідкувати вплив швидкостей обох ПА, що рухаються у ТП, а також загальної кількості автомобілів у потоці на середню швидкість автомобілів на виїзді з односмугової ділянки дороги без обгонів і випереджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Maghrouh Zefreh, M., & Török, A. (2020). Distribution of traffic speed in different traffic conditions: an empirical study in Budapest. *Transport*, 35(1), 68–86.
2. Hoogendoorn, S.P. (2005). Unified approach to estimating free speed distributions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 39(8), 709–727.
3. Horbachov, P., & Svichynskiy, S. (2024). The average speed of a dense traffic flow with one slow-moving vehicle on a road section with limited manoeuvring opportunities. *Advances in Mechanical Engineering and Transport*, 2(23). 57–64.

Горбачов Петро Федорович – д.т.н., професор, професор кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, e-mail: gorbachov.pf@gmail.com
Свічинський Станіслав Валерійович – к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, e-mail: stas_svichinsky@ukr.net

THE SPEED OF A TRAFFIC FLOW WITH TWO SLOW-MOVING VEHICLES ON A LANE WITH NO OVERTAKING OPPORTUNITIES

Abstract

The study of speed on one-lane road sections without the possibility of overtaking and the strong influence of vehicles on each other is presented. The formula for calculating the average speed of a vehicle platoon with two slow-moving vehicles, which limit the speed of the others, is derived.

Keywords: traffic flow, average speed, traffic conditions, analytical modelling, transport system.

Horbachov Peter – DSc, Professor at Transport Systems and Logistics Department, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: gorbachov.pf@gmail.com

Svichynskiy Stanislav – PhD, Associate Professor, Department of Transport Systems and Logistics, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: stas_svichinsky@ukr.net

ПЕРЕДУМОВИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ЗАВДАННЯХ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ АВТОМОБІЛІВ

¹ Вінницький національний технічний університет, Україна;

² Жилінський університет в Жиліні, Словаччина

Анотація

Розглядається проблема теоретичних передумов ефективності використання методології прийняття рішень у завданнях забезпечення працездатності автомобілів. Проблема формалізується у класі активних систем, мотивованих інтересами. Об'єкт інтересів схильний до випадкових процесів деградації. Вирішення зводиться до проблеми послідовного прийняття рішень теоретичного змісту за невизначеності результатів вибору. Методологія розвивається та з необхідними доповненнями поширюється на системи корпоративного типу.

***Ключові слова:** активна система, інтереси, об'єкт інтересів, деградація, корисність, стратегія, рівновага, компроміс, ефективність, алгоритм.*

Вступ

У процесі експлуатації агрегати та системи автомобілів деградують (старіють морально та фізично). Еволюція завершується у випадковий момент. На безлічі станів автомобіля настає момент щодо небезпеки катастрофи (поява відмови).

Формальним засобом вираження цього процесу служить функція корисності, що задає апіорні переваги суб'єкта на безлічі його альтернативних дій (рішень) з точки зору їх "корисності" для реалізації інтересів.

Рішення на вибір способу реалізації інтересів приймаються послідовно з кроком часу, який апіорі не заданий і підлягає вибору. Крок прийняття рішень є одночасно кроком моніторингу та прогнозування. Ефективність реалізації інтересів визначається рішеннями та діями суб'єкта в наступних конструктивних напрямках:

- вибір кроку моніторингу та прийняття рішень;
- класифікація станів об'єкта щодо ситуацій небезпеки катастрофи;
- управління еволюцією об'єкта;
- вибір структури (структурної конфігурації) об'єкта з урахуванням ситуацій середовища (зовнішнього впливу).

Інтереси розщеплюються на аспекти відповідно до напрямів конструктивних дій суб'єкта. Кожному виділеному аспекту інтересів зіставляється віртуальний агент, для якого задається індивідуальна безліч альтернатив (рішень, дій) і відповідна індивідуальна функція корисності.

Функції корисності віртуальних агентів взаємно залежні від вибору альтернатив. Кожному віртуальному агенту суб'єкт делегує право приймати рішення щодо вибору альтернатив з відповідної індивідуальної множини і при цьому вимагає, щоб у сукупності вибір представляв стійкий компроміс.

Проблема реалізації інтересів зводиться до вибору політики прийняття рішень, де досягається стійкий компроміс. "Вплив" середовища на ефективність прийнятих рішень (дії по обслуговуванню та ремонту) виражається залежністю функції корисності та закономірності еволюції об'єкта інтересів від умов середовища [1].

Результати дослідження

Функція корисності $d^g(\tau|s,y)$ кроку моніторингу задає апіорні переваги на множині T - альтернативних значень кроку за умовою:

$$d^g(\tau'|s,y) > d^g(\tau|s,y) \Rightarrow \tau' \succ \tau.$$

Змістовно вона має сенс очікуваного доходу з урахуванням ризику катастрофи на кроці $\tau \in T$ і задається у вигляді:

$$d^g(\tau|s,y) = \begin{cases} d^g(\tau|z), \\ z = (1 - \varepsilon^g(y)) \cdot s \end{cases}, \tau \in T \subset \mathbf{R}_+^1, s \in S, y \in Y, g \in \mathbf{G};$$

де $d^g(\tau|z)$ – очікуєий дохід на кроці $\tau \in T$ при фіксованому стані $z \in S$, $\varepsilon^g(y)$ – міра дієвості альтернативи $y \in Y$, $g \in \mathbf{G}$ – структурна альтернатива.

Очікуваний дохід на кроці визначається у вигляді:

$$d^g(\tau|z) = [c(z)\tau + \chi^g]e^{-\Lambda^g(z)\tau} - \chi^g,$$

де $c^g(z) > 0$ – інтенсивність доходу у стані $z \in S$; $\chi^g > 0$ – збитки від катастрофи; $\Lambda^g(z) =$

$\lambda(g) + [e^{\frac{\sigma(g)z}{1-z}} - 1]$ - небезпека катастрофи у стані $z \in S$; $\lambda(g) > 0$ – інтенсивність зовнішних катастроф; $\sigma(g) > 0$ – інтенсивність катастроф в силу деградації.

Функція користості $u^{(\tau,g)}(s,y)$ управляючої альтернативи $y \in Y$ має сенс очікуваного прибутку у стані $s \in S$ і задається у вигляді:

$$u^{(\tau,g)}(s,y) = d^g(\tau|s,y) - b^g(y), s \in S.$$

Тут $d^g(\tau|z)$ – очікуваний дохід на кроці $\tau \in T$; $b^g(y) > 0$ – плата за вплив $y \in Y$.

Функція користості $m^{(\tau,g)}(S \times X \times Y)$ альтернатив діагностики ситуацій небезпеки катастрофи задається до визначенням функції корисності $u^{(\tau,g)}(S \times Y)$ на множині X у вигляді:

$$m^{(\tau,g)}(s,x,y) = \begin{cases} u^{(\tau,g)}(s,y), \text{ якщо } y \in Y_x, \\ \text{не визначена, якщо } y \notin Y_x. \end{cases}$$

Перехідна функція $q^g(\tau, S/S \times Y)$ керуючого процесу задається у вигляді:

$$q^g(\tau, (a,b)|s,y) = \begin{cases} q^g(\tau, (a,b)|z, y), z < s, y \in Y, \\ z = (1 - \varepsilon^g(y)) \cdot s, 0 \leq \varepsilon^g(y) < 1 \end{cases}$$

$$q^g(\tau, s(t)=1|z) = 1 - e^{-\Lambda^g(z)\tau},$$

$$q^g(\tau, (a,b)|z) = \begin{cases} \left[\left(\frac{b}{1-z} \right)^{(e^{\mu(g)\tau}-1)} - \left(\frac{a}{1-z} \right)^{(e^{\mu(g)\tau}-1)} \right] \cdot e^{-\Lambda^g(z)\tau}, (1-z) \geq b > a \geq 0, \\ 0, (1-z) \leq b \leq a, a < z < 0. \end{cases}$$

Тут $\mu(g) > 0$ – інтенсивність деградації (наприклад, старіння).

Модель прийняття рішень. Відображення $\pi: X \rightarrow Y$ таке, що $y = \pi(x) \in Y_x$, $x \in X$, називається вирішальною функцією управління; послідовність $\{\pi_1^n = (\pi_n, \dots, \pi_1), n = 1, 2, \dots\}$ – стратегією управління.

Гомоморфізм $\delta: \langle S, \succ \rangle \rightarrow \langle X, \succ \rangle$ називається вирішальною функцією діагностики ситуацій небезпеки; послідовність $\delta_1^n = \{(\delta_n, \dots, \delta_1), n = 1, 2, \dots\}$ – стратегією діагностики.

Альтернатива $\tau \in T$ являється кроком моніторингу та прийняття рішень; послідовність $\tau_1^n = \{(\tau_n, \dots, \tau_1), n = 1, 2, \dots\}$ – стратегією моніторингу.

Вибрана альтернатива $g \in G$ називається структурним вибором; послідовність $\{g_1^n = (g_n, \dots, g_1), n = 1, 2, \dots\}$ – стратегією реструктуризації.

Четвірка стратегій $\langle \{\pi_1^n\}, \{\delta_1^n\}, \{\tau_1^n\}, \{g_1^n\} \rangle$ називається політикою прийняття рішень.

Якість стратегії управління π_1^n описується критерієм середньої ситуаційної користості виду:

$$\varphi_n(\pi_1^n | \delta_1^n, \tau_1^n, g_1^n)(x) = \frac{1}{n} M_x^{(\pi_1^n | \delta_1^n, \tau_1^n, g_1^n)} \sum_{t=0}^{n-1} w_{n-t}^{(\tau_{n-t}, g_{n-t})}(x_t, \pi_{n-t}(x_t | \delta_{n-t}^{-1}(x_t))),$$

де $n \geq 1$, $x \in X$ – початкова ситуація; математичне очікування береться за добутком ймовірнісних заходів, що породжуються ситуаційною перехідною функцією $p_n^{(\tau, \gamma)}(X | X \times Y)$.

Якість стратегії реструктуризації g_1^n описується очікуваною ситуаційною корисністю виду:

$$\phi_n(g_1^n | \pi_1^n, \delta_1^n, \tau_1^n) = \left\{ \sum_{x \in X} \varphi_n(\pi_1^n | \delta_1^n, \tau_1^n, g_1^n)(x) \cdot \alpha_n(x) - \kappa(g_n | g_{n-1}) \right\},$$

де $\kappa(g_n | g_{n-1})$ – функція інвестицій на реструктуризацію; $\alpha_n(x)$ – безумовний розподіл на безлічі ситуацій X .

Якість стратегії діагностики δ_1^n описується середньою корисністю виду:

$$\psi_n(\delta_1^n | \pi_1^n, \tau_1^n, g_1^n)(s) = \frac{1}{n} M_s^{(\delta_1^n | \pi_1^n, \tau_1^n, g_1^n)} \sum_{t=0}^{n-1} m^{(\tau_{n-t}, g_{n-t})}(s_t, \delta_{n-t}(s_t), \pi_{n-t}(\delta_{n-t}(s_t))),$$

де $s \in S$ – початковий стан; $m^{(\tau, g)}(\cdot)$ – функція корисності ситуацій небезпеки; математичне очікування береться за добутком ймовірнісних заходів, що породжуються перехідною функцією $q^{(\tau, g)}(S | S \times Y)$, заданої у базі I [2].

Якість стратегії моніторингу τ_1^n описується очікуваним доходом:

$$\rho_n(\tau_1^n | \delta_1^n, \pi_1^n, g_1^n) = \sum_{s \in S} r_n(\tau_1^n | \delta_1^n, \pi_1^n, g_1^n)(s) \cdot \beta_n(\tau_1^n, \delta_1^n, \pi_1^n, g_1^n)(s),$$

де $r_n(\tau_1^n | \delta_1^n, \pi_1^n, g_1^n)(s) = \frac{1}{n} M_s^{(\tau_1^n | \delta_1^n, \pi_1^n, g_1^n)} \sum_{t=0}^{n-1} d^{g_{n-t}}(\tau_{n-t} | s_t, \pi_{n-t}(\delta_{n-t}(s_t)))$, – середній дохід при стра-

тегії моніторингу τ_1^n ; $d^g(\tau | \cdot)$ – апіорний дохід на кроці τ , математичне очікування береться за добутком ймовірнісних заходів, що породжуються перехідною функцією $q^{(\tau, g)}(S | S \times Y)$; $\beta_n(\cdot)(S)$ – безумовний розподіл на S .

Висновки

В умовах кінцевих множин рівноважна політика існує на необмеженому горизонті прийняття рішень; рівноважна політика утворює сильно стійкий компроміс, що задовольняє умовам рівноваг Неша та парето-оптимальності; рівноважна політика визначає, у тому числі, момент реструктуризації; отримано алгоритм відшукування рівноважної політики. Представлені результати застосовуються до широкого класу транспортних систем зі структурою унітарного та корпоративного типів [3]. При цьому методологія дозволяє вирішувати завдання управління працездатністю автотранспортних засобів на основі діагностичних впливів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Баранов В.В., Кравченко О.П. Моделі і методи прийняття рішень у проблемі діагностики, ефективності та безпеки автотранспортних систем / Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, Науковий журнал. № 7(125), ч. 2. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2008. – С. 45–48
2. Баранов В.В., Кравченко О.П. Прийняття ефективних рішень у системах автомобільного транспорту / Матеріали третьої міжнародної науково-практичної конференції «Логістика промислових регіонів», (Донецьк – Святогірськ, 06 – 09 квітня 2011 р.). – Донецьк: ЛАНДОН – ХХІ, 2011. – С. 229 – 233.

3. Kravchenko O., Dizo Y., Gorbunov M., Kravchenko K. Methodology of increasing the efficiency of transport systems using decision-making methods / Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – Луцьк: ЛНТУ, 2019, №1 (12). – С. 9-13

Кравченко Олександр Петрович — д-р техн. наук, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ap_kravchenko@vntu.edu.ua

Діжо Ян Янович — PhD, доцент кафедри транспорту та під'ємнотранспортної техніки, Жилінський університет в Жиліні, м. Жиліна, Словаччина, e-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk

Prerequisites for efficiency use of decision-making methodology in vehicle servicing tasks

Abstract

The problem of theoretical prerequisites for the effectiveness of using the decision-making methodology in the tasks of ensuring the operability of cars is considered. The problem is formalized in the class of active systems motivated by interests. The object of interests is prone to random processes of degradation. The solution is reduced to the problem of consistent decision-making of theoretic content under uncertainty of the results of the choice. The methodology is developed and, with the necessary additions, is extended to corporate-type systems.

Keywords: active system, interests, object of interests, degradation, utility, strategy, equilibrium, compromise, efficiency, algorithm.

Kravchenko Oleksandr P. — Dr.SC.Tech., Professor Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ap_kravchenko@vntu.edu.ua

Dižo Ján J. — PhD, Docent Department of Transport and Handling Machines, University of Zilina, Zilina, Slovak republic, e-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk

МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ У ЦЕНТРАХ ГУМАНІТАРНОЇ ДОПОМОГИ

Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут".

Анотація

У роботі розглянуто особливості організації розподілу ресурсів у центрах гуманітарної допомоги з використанням математичних моделей та інформаційних технологій. Акцент зроблено на ключових аспектах управління: прогнозуванні потреб, обробці даних, оптимізації маршрутів доставки, координації між організаціями та звітності. Особливу увагу приділено викликам, пов'язаним із невизначеністю та обмеженістю ресурсів у кризових умовах, а також шляхом їх подолання через впровадження сучасних інформаційних систем. Окремо проаналізовано процеси управління інформаційними потоками, включаючи збір, обробку та аналіз даних для оперативного прийняття рішень.

Ключові слова: гуманітарна допомога, розподіл ресурсів, математичні моделі, інформаційні технології, логістика, аналітика даних, прогнозування, координація.

У контексті забезпечення ефективного функціонування центрів гуманітарної допомоги важливе місце займає оптимізація розподілу ресурсів. Процеси управління охоплюють прогнозування потреб, обробку даних, координацію між організаціями, маршрутизацію доставки та забезпечення звітності [1]. Основною метою є забезпечення своєчасного та ефективного надання допомоги за умов обмежених ресурсів та високого рівня невизначеності.

Першим етапом є прогнозування потреб у ресурсах, яке включає аналіз даних про кількість отримувачів допомоги, типи необхідних ресурсів (їжа, медикаменти, одяг) та їх обсяги. Для цього використовуються методи статистичного аналізу та машинного навчання, які дозволяють передбачати попит на основі історичних даних і поточної ситуації. Інтеграція з інформаційними системами забезпечує автоматизацію збору даних і підвищення точності прогнозів [2].

Наступний етап – обробка даних: збір інформації від партнерських організацій, волонтерів і державних установ, перевірка її достовірності та оновлення баз даних. Цифрові платформи дозволяють централізувати дані, забезпечуючи доступ до них у реальному часі. Для оптимізації розподілу ресурсів застосовується модель транспортної задачі, яка спрямована на мінімізацію витрат на доставку ресурсів від складів до пунктів призначення, таких як центри гуманітарної допомоги чи безпосередньо отримувачі. Ця модель враховує обсяги ресурсів на складах, потреби в пунктах призначення та витрати на транспортування, формуючи задачу лінійного програмування для знаходження оптимального розподілу. Реалізація моделі підтримується інформаційними технологіями, такими як геоінформаційні системи для побудови маршрутів з урахуванням географії та інфраструктури, системи управління логістикою для автоматизації планування доставки, а також інструменти обробки великих даних для аналізу потреб і транспортних витрат. Хмарні платформи забезпечують зберігання даних і обмін інформацією між учасниками, а алгоритми оптимізації, наприклад симплекс-метод, дозволяють швидко знаходити оптимальні рішення в умовах змін [3].

Координація між організаціями є ключовим елементом. Вона охоплює обмін інформацією, узгодження графіків доставки та розподіл обов'язків між учасниками. Впровадження хмарних технологій і систем управління логістикою дозволяє оптимізувати маршрути доставки, мінімізувати витрати часу та ресурсів, а також забезпечити прозорість процесів.

Оптимізація маршрутів доставки враховує географічні особливості, стан інфраструктури та безпекові ризики. Використання геоінформаційних систем і алгоритмів оптимізації дозволяє розробляти найкоротші та найбезпечніші маршрути. Доставка здійснюється до центрів

гуманітарної допомоги або безпосередньо до отримувачів через логістичні хаби. У разі потреби залучаються сторонні перевізники за умови належного контролю.

По завершенні доставки проводиться звітність: фіксація обсягів наданої допомоги, перевірка відповідності потребам і збір зворотного зв'язку. Цифрові системи забезпечують автоматизацію звітності, що знижує ризик помилок і підвищує прозорість. Зібрані дані використовуються для вдосконалення наступних циклів розподілу.

Управління інформаційними потоками у кризових умовах стикається з труднощами: нестача даних, обмежена координація, перевантаження інформаційних систем. Ці виклики призводять до затримок у прийнятті рішень і зниження ефективності. Для їх подолання необхідна гнучкість процесів і адаптивність систем.

Таким чином, загальна схема розподілу ресурсів включає такі об'єкти: центри гуманітарної допомоги, логістичні хаби, склади, пункти збору даних. Між ними реалізуються інформаційні та матеріальні потоки, які координуються через цифрові платформи. Цифровізація – ключовий інструмент підвищення ефективності: відстеження ресурсів у реальному часі, автоматизоване управління, прогнозування потреб. Використання аналітики великих даних і хмарних технологій зменшує ризики затримок і покращує якість надання допомоги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kovács G., Spens K. M. Relief Supply Chain Management for Disasters: Humanitarian Aid and Emergency Logistics [Текст] // International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. – 2007. – Vol. 37, No. 2. – С. 99–114. – DOI: 10.1108/09600030710734820.
2. Van der Laan E. A., De Brito M. P., Van Fenema P. C., Verma S. Managing information cycles for intra-organisational coordination of humanitarian logistics [Текст] // International Journal of Production Economics. – 2016. – Vol. 171. – С. 361–370. – DOI: 10.1016/j.ijpe.2015.10.008.
3. Abidi H., De Leeuw S., Klumpp M. Humanitarian supply chain performance management: a systematic literature review [Текст] // Supply Chain Management: An International Journal. – 2014. – Vol. 19, No. 5/6. – С. 592–608. – DOI: 10.1108/SCM-09-2013-0299.

Таранюк Максим Миколайович – аспірант, кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет «ХАІ», м. Харків, Україна, e-mail: maksim.taranyk@gmail.com.

Малєєва Юлія Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет «ХАІ», м. Харків, Україна, e-mail: juliabelokon84@gmail.com.

MODELS AND INFORMATION TECHNOLOGIES FOR OPTIMIZING RESOURCE DISTRIBUTION IN HUMANITARIAN AID CENTERS

Abstract

The paper examines the specifics of organizing resource distribution in humanitarian aid centers using mathematical models and information technologies. The focus is on key aspects of management: demand forecasting, data processing, coordination between organizations, delivery route optimization, and reporting. Particular attention is given to challenges related to uncertainty and resource constraints in crisis conditions, as well as solutions through the implementation of modern information systems. The processes of managing information flows, including data collection, processing, and analysis for operational decision-making, are analyzed separately.

Keywords: humanitarian aid, resource distribution, mathematical models, information technologies, logistics, data analytics, forecasting, coordination.

Maksym Taraniuk – Ph.D. Student at the Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: maksim.taranyk@gmail.com.

Yulia Malieieva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: juliabelokon84@gmail.com

ВПЛИВ ВІКОВОЇ СТРУКТУРИ АВТОМОБІЛЬНИХ ПАРКІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

¹Національний Транспортний Університет, м. Київ

Анотація

Наведено методи, які ЄС використовує для зменшення негативного впливу транспорту на навколишнє середовище. Проаналізовано та порівняно основні тенденції розвитку автомобільних парків України та ЄС на прикладі Польщі. Розглянути основні шляхи/дії для зменшення середнього віку автомобільних парків і, як наслідок, покращення стану екології.

Ключові слова: автомобіль, навколишнє середовище, вікова структура автомобільного парку, економіка.

Починаючи з середини 20 століття, автомобілі стали невід'ємною частиною людського життя. Зараз абсолютно неможливо уявити наш побут в усіх його проявах (інфраструктура, логістика, будівництво, туризм та інше) без автомобілів.

На кінець 2020р. у світі налічувалось більше 1 млрд 100 млн авто. Збільшення кількості автомобілів паралельно супроводжувалось розвитком різних галузей економіки, підвищенням рівня життя населення та комфортом. З іншого боку, розвиток транспорту привів до значного забруднення навколишнього середовища. Викиди шкідливих речовини, які містяться у відпрацьованих газах, стали причиною високої смертності. На жаль, в статистиці смертності спричиненої забрудненням атмосфери, Україна посідає одне з перших місць. Це напряму пов'язано з рівнем автомобілізації та середнім віком автомобільного парку в країні, які в свою чергу залежать від рівня економіки та добробуту населення.

Зараз середній вік автомобілів в Євросоюзі складає 10,8 років. Якщо в розвинутих країнах він знаходиться в межах від 4 до 9 років (Люксембург – 6,4 роки, Велика Британія – 8,0 років, Австрія – 8,2 роки, Ірландія – 8,4 роки, Данія – 8,5 роки, ФРН – 8,7 роки), то на пострадянському просторі, звідки до України доставляють автомобілі з європейською реєстрацією, в межах 16-18 років (Румунія, Болгарія – 16,3 роки, Естонія – 16,7 років, Литва – 16,9 років). В той же час в Україні середній вік автомобілів у 2018 році становив 21,5 року, зараз наближається до 25 років.

Оскільки перед Україною відкрилося вікно можливостей і сподіваюсь Україна найближчим часом стане країною-членом Європейського Союзу, цікаво буде ознайомитись з методами, які ЄС використовує для зменшення негативного впливу транспорту на навколишнє середовище. Статистика ввезення вживаних автомобілів до Польщі і її порівняння з аналогічною статистикою імпорту вживаних автомобілів в Україну дає можливість виявити тенденції, подібності та розбіжності і таким чином напрацьовувати рішення для зниження середнього віку автомобілів і зменшення транспортного забруднення атмосфери.

За попередніми оцінками експертів, через бойові дії в Україні безповоротно втрачено близько 500 тисяч авто. Ще близько 300 тисяч покинуло території України. Загалом близько мільйона машин вибуло з активної частини автопарку. В ситуації повномасштабної агресії росії і пов'язаними з цим негативними наслідками, лише комплексні рішення та об'єднанні зусилля держави, бізнесу і суспільства мають можливість переломити тенденцію подальшого старіння автомобільного парку України та погіршення екологічної ситуації в країні.

Зростання економіки, чіткі критерії планування своєчасної заміни транспортних засобів, вигідні умови кредитування, розширення лізингових програм, зміна підходу з боку держави до проведення техогляду, гнучка митна політика, податкове стимулювання, роз'яснювальна робота з населенням – шляхи до зменшення середнього віку автомобілів та зменшення негативного впливу транспорту на навколишнє середовище нашої держави.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гутаревич Ю. Ф. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник./ Ю. Ф. Гутаревич, Д. В. Зеркалов, А. Г. Говорун, А. О. Корпач, Л. П. Мержиєвська. К.: Арістей, 2006. 292 с.
2. Транспортна екологія: навчальний посібник / О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвєєва, С. Й. Шаманський, Т. І. Дмитруха, С. М. Маджд; за заг. редакцією С. В. Бойченка. – К.: НАУ, 2017. – 507 с.
3. Сайт Український авторинок. «Історія проблем та як їх розв'язати» С. Бучацький, В. Дубровський, О. Новицький, О. Оніщук, Л. Прокіпчук. – Режим доступу: <https://eauto.org.ua/news/130-ukrajinskiy-avtorinok-istoriya-problem-ta-yak-jih-rozv-yazati>

Зимовець Олександр Валентинович, аспірант кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний Транспортний Університет, м. Київ, azimovets@ukr.net

IMPACT OF THE AGE STRUCTURE OF VEHICLE FLEETS ON THE ENVIRONMENT

Abstract

The methods used by the EU to reduce the negative impact of transport on the environment are presented. The main trends in the development of car fleets in Ukraine and the EU are analyzed and compared using the example of Poland. The main ways/actions to reduce the average age of car fleets and, as a result, improve the state of the environment are considered.

Keywords: age structure of the car fleet, car, economy, environment.

Zymovets Oleksandr, PoD of the department of motor vehicle maintenance and service, National Transport University. Kyiv. azimovets@ukr.net

МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА АНАЛІЗУ РИЗИКІВ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ

Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут"

Анотація

У статті розглянуто сучасні підходи до управління ризиками в логістичних системах в умовах зовнішніх загроз. Запропоновано поетапну модель управління, що включає ідентифікацію, оцінку, моделювання та розробку стратегій реагування на ризики. Особливу увагу приділено впливу геополітичної нестабільності, кліматичних змін і кіберзагроз на функціонування логістичних ланцюгів. Обґрунтовано доцільність використання диверсифікації постачальників, інноваційних цифрових технологій та систем резервування для підвищення стійкості логістичних систем.

Ключові слова: логістичні системи, ризики, зовнішні загрози, управління, стійкість, цифрові технології.

Логістичні системи є фундаментальною складовою сучасних організаційно-технічних процесів, яка забезпечує ефективну координацію руху товарів, послуг та інформації між постачальниками і споживачами. Проте ці системи, будучи складними та інтегрованими, піддаються значному впливу зовнішніх загроз. Серед найбільш розповсюджених викликів — геополітична нестабільність, економічні кризи, природні катаклізми, пандемії та кіберзлочини.

Ефективне управління логістичними системами вимагає глибокого аналізу ризиків, їх ідентифікації та розробки адаптивних стратегій, спрямованих на мінімізацію їхнього впливу [1].

Для розробки ефективної системи управління ризиками пропонується розділити процес на кілька ключових етапів:

1. Ідентифікація загроз. На цьому етапі проводиться аналіз зовнішніх факторів, які потенційно можуть впливати на функціонування логістичної системи. До основних методів ідентифікації належать SWOT-аналіз, опитування експертів та метод дослідження попередніх випадків.

2. Оцінка ризиків. Дозволяє визначити ймовірність виникнення ризику, його вплив та можливість виявлення. Для кожного ризику розраховується індекс пріоритету ризику (RPN), що допомагає зосередитись на найбільш критичних загрозах.

3. Моделювання сценаріїв. Використання сценарного підходу дозволяє прогнозувати розвиток ситуацій за різних умов. Для цього застосовуються симуляційні моделі, що враховують змінність зовнішніх факторів.

4. Розробка стратегій управління. На основі отриманих результатів формуються адаптивні стратегії для мінімізації ризиків. Наприклад, створення резервних постачальників, диверсифікація ланцюгів постачання або впровадження інноваційних систем моніторингу.

Одним із найсерйозніших викликів для сучасних логістичних систем є геополітична нестабільність. Зміни в політичній ситуації можуть призвести до введення торгових санкцій, закриття кордонів або припинення поставок через військові конфлікти. Такі ситуації не тільки порушують логістичні ланцюги, але й можуть призвести до значних фінансових втрат через необхідність перенаправлення поставок або пошук нових постачальників [2].

Кліматичні зміни також становлять великий ризик для логістичних систем. Природні катаклізми, такі як повені, землетруси або посухи, можуть серйозно порушити транспортні шляхи, пошкодити інфраструктуру чи призвести до затримок в поставках. Зміни клімату також спричи-

няють зростання частоти таких подій, що робить планування більш складним і вимагає від компаній додаткових заходів для забезпечення стійкості їхніх логістичних операцій.

З розвитком цифрових технологій все більше логістичних компаній використовують автоматизовані системи управління ланцюгами постачання, що робить їх вразливими до кібератак. Порушення в інформаційних системах може призвести до припинення поставок, втрати даних або зниження ефективності роботи компанії [3].

Існують різні стратегії зменшення негативного впливу ризиків на логістичні системи. Однією з основних є диверсифікація постачальників та ланцюгів постачання. Вона дозволяє зменшити залежність від одного джерела чи ринку, що особливо важливо в умовах геополітичної нестабільності. Маючи кілька постачальників з різних регіонів або країн, можна значно знизити ймовірність серйозних збоїв у поставках через непередбачувані обставини.

Інформаційні технології також відіграють важливу роль у зменшенні ризиків. Системи автоматизації, що базуються на штучному інтелекті та Інтернеті речей (IoT), можуть допомогти в реальному часі виявляти загрози і швидко реагувати на них. Наприклад, автоматизовані моніторингові системи можуть сповіщати про збої в роботі транспортних засобів або складів, дозволяючи вчасно вжити заходів для уникнення серйозних наслідків.

Важливим методом управління ризиками є резервування та страхування. У випадку ризиків, що не можна повністю передбачити або контролювати, створення стратегічних резервів товарів або запчастин може допомогти зменшити час реакції на зміни в умовах постачання.

Висновок: проаналізовано актуальні ризики, що загрожують логістичним системам у сучасному глобалізованому середовищі. Визначено основні зовнішні загрози — геополітичні, природні та кібернетичні — та запропоновано структурований підхід до їх ідентифікації, оцінювання та моделювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Fedorovich O., Pronchakov Yu., Leshchenko Yu., Yelizieva A. Modeling the impact of threats and vulnerabilities in transport logistics of a developing enterprise. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2021. № 3, 29-36. <https://doi.org/10.32620/reks.2021.3.03>.
2. Федорович, О. С. Уруський О. С., Чепков І. Б., Луханін М. І., Прончаков Ю. Л., Рибка К. О., Лещенко Ю. О. Моделювання транспортної логістики військових вантажів з урахуванням збитків, які виникають у зоні бойових дій через запізнення у постачанні. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2022. № 2. С. 63–74. <https://doi.org/10.32620/reks.2022.2.05>.
3. Lytvynenko D., Malyeyeva O. Risk management in projects of restoration the regional transport structure on the basis of participants' communication. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. 2022. No. 2 (20). P. 44-51. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.20.044>.

Брагін Євген Вікторович – аспірант, кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет «ХАІ», м. Харків, Україна, e-mail: eugenebraginio@gmail.com

Methods for Identifying and Analyzing Risks in Logistics Systems under External Threats

Abstract

The article examines modern approaches to risk management in logistics systems under external threats. A step-by-step risk management model is proposed, including threat identification, risk assessment, scenario modeling, and the development of adaptive response strategies. Particular attention is given to the impact of geopolitical instability, climate change, and cyber threats on the functioning of supply chains. The use of supplier diversification, innovative digital technologies, and reserve systems is substantiated as effective methods for enhancing the resilience of logistics operations.

Keywords: logistics systems, risks, external threats, management, resilience, digital technologies.

Brahin Yevhen Viktorovych - Ph.D. Student at the Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: eugenebraginio@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПАРКУ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКІДІВ ПРИ ВИДОБУВАННІ ГІРНИЧИХ ПОРІД З РІЗНОЮ ЩІЛЬНІСТЮ

¹Криворізький національний університет

Анотація

При видобуванні відкритим способом корисних копалин що мають різну щільність виникає питання формування раціональної структури парку транспортних машин. Представлено аналіз переваг та недоліків гомогенного та гетерогенних варіацій парків кар'єрних автосамоскидів.

Ключові слова: автосамоскид, вантажопідйомність, місткість платформи, транспортування, кар'єр, гірничі породи.

В Україні налічується більше 400 кар'єрів в яких основним видом транспорту є автомобільний. Серед них можна виділити кар'єри, в яких одночасно видобувають гірничі породи що мають різну щільність. Також є автопідприємства, які забезпечують транспортування гірничих порід різної щільності на кількох поруч розташованих кар'єрах. Як приклад можна привести вапнякові, гіпсові та мергелеві кар'єри в Хмельницькій та Івано-Франківській областях де щільність порід відрізняється більше ніж у 2 раз, від 1,3 т/м³ у мергелю до 2,9 т/м³ у вапняку. Аналогічно, на залізрудних кар'єрах Дніпропетровської та Полтавської області, де щільність розкривних порід в 3,0-3,5 рази менше руди, 1,2-1,4 т/м³ для розкривних порід та 4,0-4,5 т/м³ для мартитових руд. В першому випадку на кар'єрах працюють кар'єрні автосамоскиди вантажопідйомністю 30-45 т, в другому 130-220 т, але незважаючи на різницю у вантажопідйомності та обсягах перевезень для автотранспортного підприємства чи підрозділу гірничо-збагачувального комбінату постає схоже питання: яким повинен бути парк кар'єрних автосамоскидів при перевезенні різних за щільністю гірничих порід за умов ефективного використання вантажопідйомності та об'єму платформи, гомогенним чи гетерогенним.

Варіант гомогенного парку з машинами однакової вантажопідйомності з платформами однакової місткості забезпечує мінімальну потрібну кількість машин, просте (без врахування вантажопідйомності чи об'єму платформи) перенаправлення машин від вибою з однією щільністю порід до вибою з іншою щільністю порід при зміні виробничої програми по перевезенням. При цьому варіанті спостерігається неповне використання вантажопідйомності або не повне наповнення платформи, що загалом знижує ефективність роботи окремої машини яка перевозить не відповідну кількість вантажу (менше номінальної вантажопідйомності) та парку в цілому, або може спостерігатися перевантаження автосамоскидів (повне наповнення платформи більшого розміру), що призведе до перевантаження несучої конструкції машини, зниження надійності роботи та ходимості шин. Розвитком даного варіанту, на одному з криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів, було встановлення на базову платформу автосамоскидів спеціальних надставних бортів які дозволяли збільшити геометричний об'єм платформи та підвищити до одиниці коефіцієнт використання вантажопідйомності, але при цьому збільшується загальна маса машини, що призводить до зменшення вантажопідйомності. Вирішення питання оптимального використання вантажопідйомності машин та обсягу платформи потребує досліджень.

Можливі два варіанти гетерогенних парків. У одному випадку парк складається з машин однакової вантажопідйомності, але з платформами різної місткості. В іншому випадку парк складається з машин різної вантажопідйомності та відповідно різного об'єму платформ. В обох випадках парк необхідно розділити на дві колони за вантажопідйомністю чи об'ємом платформи та використовувати їх виключно для перевезення певних гірничих порід. При цьому забезпечиться ефективне використання як вантажопідйомності так і об'єму платформи, але необхідно в кожній колоні мати додаткові резервні машини для управління кількістю машин при зміні завдань по обсягам перевезень, що збільшить загальну кількість машин в парку.

Таким чином існують певні переваги та недоліки використання, як гомогенного, так і гетерогенних варіантів парків кар'єрних автосамоскидів які слід комплексно враховувати при оптимізації формування парку кар'єрних автосамоскидів, які транспортують гірничі породи різної щільності на одному підприємстві.

Монастирський Юрій Анатолійович – д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту Криворізького національного університету, monastyrskiy@knu.edu.ua

П'ятниця Олексій Павлович – аспірант освітньо-наукової програми 133 Галузеве машинобудування Криворізького національного університету, oleksijpatnica@gmail.com

Сорока Сергій Миколайович – аспірант освітньо-наукової програми 133 Галузеве машинобудування Криворізького національного університету, Nicolaevich87150@gmail.com

FEATURES OF FORMING A FLEET OF QUARRY DUMP TRUCKS WHEN EXTRACTION OF MINING ROCKS WITH DIFFERENT DENSITIES

Abstract

When mining minerals with different densities by open-pit mining, the question of forming a rational structure of the fleet of transport vehicles arises. An analysis of the advantages and disadvantages of homogeneous and heterogeneous variations of the fleets of quarry dump trucks is presented.

Keywords: dump truck, load capacity, platform capacity, transportation, quarry, rocks.

Yurii Monastyrskiy – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Automobile Facilities Department, Kryvyi Rih National University, monastyrskiy@knu.edu.ua

Oleksii Piatnytsia – Graduate Student of Kryvyi Rih National University, oleksijpatnica@gmail.com

Serhii Soroka – Graduate Student of Kryvyi Rih National University, Nicolaevich87150@gmail.com

УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТУВАННЯМ ЗАЛІЗНИХ РУД В ШАХТІ ПІСЛЯ СВЕРДЛОВИННОЇ ГІДРОМОНІТОРНОЇ ВІДБІЙКИ

¹Криворізький національний університет

Анотація

Представлені важливість та методологічні засади управління транспортуванням суміші води з відбитою рудою від вибою до місця розділення при підземному видобутку залізних руд із застосуванням свердловинного гідромоніторного руйнування.

Ключові слова: гідравлічний транспорт, доставка, залізна руда, кругообіг води.

Свердловинний гідровидобуток багатих залізних руд на шахтах Криворізького басейну є перспективною технологією видобутку з отриманням в шахтних умовах високоякісних залізорудних концентратів які застосовуються в порошковій металургії та бездоменних технологіях отримання залізу. В технології видобутку підземна вода використовується як робочий орган в технологічних процесах руйнування руд та переміщення відбитої гірничої маси до пунктів зневоднення та відвантаження на поверхню і для забезпечення високих екологічних показників технології видобутку направляється для функціонування зворотного кругообігу. Для шахт зі зневоднюванням руди й освітленням води в підземних умовах технологічний ланцюжок кругообігу води включає: низько напірне водопостачання від ємності води до насосу що забезпечує високий (3,0 – 5,0 МПа) напір для руйнування руди у вибою, самопливний гідротранспорт пульпи (суміші води з відбитою гірничою масою) від вибою до місця зневоднювання і навантаження руди та підготовки води до повторного використання в технології видобутку. Все це виконується в межах очисного блоку чи крила шахти і включає вузол розділення пульпи на тверду та рідку фази, вузол навантаження зневодненої руди для подальшого транспортування, вузол підготовки та накопичення води.

Важливим елементом технології свердловинного гідровидобутку є процес транспортування руди від вибою до пункту зневоднення руди для реалізації якого необхідно вирішити питання управління процесом гідро транспортування пульпи від забою до вузла збору та зневоднювання руди. Для цього система гідротранспорту пульпи розділяється на окремі ланки. Кожна з ланок характеризується рядом основних і допоміжних технічних характеристик, частину з яких можна контролювати безупинно, деякі оцінюються середньостатистичними, а частина – має строго обмежену область можливих значень. Кожна з ланок містить як активні, так і пасивні пристрої. До активних пристроїв відносяться ті, котрі під впливом керуючих сигналів можуть приймати трохи (чи хоча б два) стани, наприклад машини, запірні арматура. До пасивного відносяться пристрої, що не сприймають керуючі сигнали і є технологічними сполучними елементами, наприклад, трубопроводи, жолоби, кабельні лінії, повітроводи. Як активні, так і пасивні пристрої визначають режим функціонування технологічного ланцюжка, характер перехідних процесів при запуску, зупинці і переході з одного режиму на інший. Їхні технічні характеристики визначають параметри керування гідро ділянкою як об'єктом керування системи в цілому.

Об'ємна частка твердого формується в прохідницьких і очисних вибоях, у пульпу додається дільничний приплив води, у результаті пульпа розріджується. Далі відбувається самопливне транспортування пульпи до пункту зневоднювання і навантаження руди, де відбувається поділ руди і води. Самопливний транспорт організується у вибої й у виробках, що акумулюють, де за рахунок перепаду рівнів і відповідного ухилу відбувається транспортування пульпи. Самопливний транспорт здійснюється по трубах, жолобах чи по ґрунті виробок, безпосередньо з гідромоніторного вибою пульпа доставляється по гідро видобувній свердловині, при цьому штанга гідромоніторного агрегату, яка обертається, виконує роль конусу в конусній дробарці і додатково подрібнює відбиту гірничу масу. Керуючі впливи на самопливний транспорт здійснюється тільки за допомогою впливу на пульпу формування у вибої. В окремих випадках, при зміні перепаду рівнів уздовж траси, застосовується додаткове стимулювання транспорту шляхом подачі води або повітря в систему, це вплив одностороннього характеру. Зворотний вплив по зменшенню змісту води в пульпі по ходу гідротранспорту є досить складним і може здійснюватися у виняткових випадках.

Технологічна схема гідротранспорту, розглянута з позицій керованості, є складною системою зі

своїми внутрішніми зворотними зв'язками, із властивостями адаптації, стійкими діями, детермінованими і вірогідними залежностями з тимчасовими затримками, тривалими перехідними процесами, і звичайно, з реальним рівнем надійності всіх ланок.

Аналіз показує, що об'єкти керування не завжди можуть бути описані системою диференціальних рівнянь. В окремих випадках для опису необхідно прибгати до не диференційних функцій (імпульсним, функціям з розривом першого і другого ряду). Ці функції ускладнюються вірогідносним законом їхнього прояву. Тому для гідро транспортних систем ставляться питання про керованість, що полягають у встановленні: стійкості системи (властивості повертаються у вихідний стан); керування надійністю технологічного ланцюга і ланок; динамічної збалансованості технологічного ланцюга. Функціонування будь-якого технологічного процесу можна представити як рух його елементів, пристроїв і характеристик продуктів, як остаточних, так і проміжних, іншими словами, це зміна технологічних чи характеристик станів. Формалізацією даного процесу з позицій керування є логічний вектор руху.

При розгляді технологічного процесу постійно уточняється параметр керування. Наприклад, засувки для подачі води в пульпу – об'єкт, керований з погляду положення його запірного елемента, тому що він сприймає впливи на відкриття і закриття. Якщо як параметр керування розглядати об'ємну частку твердого в пульпі, і крім засувки, через яку подають воду, не існує пристрою, що додає тверде в пульпу, чи пристрою, який відбирає її з пульпи, то такий параметр – напівкерований.

Запропонований опис процесу керування рухом пульпи при гідротранспорті з позицій керування самопливний транспорт є частково керованою ланкою системи. Запропонований комплексний опис процесу керування рухом напірної технологічної води та рудною пульпою при свердловинній гідромоніторній відбійці та обгрунтована необхідність визначення водних властивостей руди після свердловинної гідромоніторної відбійки для вибору технологічних рішень для забезпечення кругообігу води.

Монастирський Юрій Анатолійович – д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту Криворізького національного університету, monastyrskiy@knu.edu.ua

Борис Даниїл Сергійович – аспірант освітньо-наукової програми 133 Галузеве машинобудування Криворізького національного університету, borys.kr@ukr.net

MANAGEMENT OF IRON ORE TRANSPORTATION IN A MINE AFTER BOREHOLE HYDROMONITOR BREAKING

Abstract

The importance and methodological principles of managing the transportation of a mixture of water with broken ore from the face to the separation site during underground mining of iron ores using hydromonitor borehole destruction are presented.

Keywords: hydraulic transport, delivery, iron ore, water cycle.

Yurii Monastyrskiy – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Automobile Facilities Department, Kryvyi Rih National University, monastyrskiy@knu.edu.ua

Daniil Boris – Graduate Student of Kryvyi Rih National University, borys.kr@ukr.net

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ ВІД БОРТОВОЇ ДІАГНОСТИКИ

Національний транспортний університет, Київ

Анотація

Організувати оптимальний процес обслуговування автомобіля можна лише на базі діагностичної інформації та прогнозування її змінення в часі. Структура парку вантажних транспортних підприємств України вказує на необхідність пошуку ефективних шляхів для діагностування, контролю та прогнозування технічного стану транспортних засобів. Відіграють свою роль середній вік автомобілів, умови експлуатації, обмеженість ресурсів виробничої бази типового автотранспортного підприємства. Використання даних з бортової діагностики автомобіля дає можливість фіксувати розвиток проблеми. При аналізі масиву інформації від фахівців різних підприємств можна відслідкувати закономірності, що є спільними для розповсюджених моделей вантажних автомобілів. Це дозволяє експертам робити висновки про необхідність виконання майбутнього технічного впливу та здійснювати підготовку до нього.

Ключові слова: діагностування технічного стану, прогнозування технічного стану, поступова відмова, параметр діагностики, бортова діагностика, вантажний автомобіль.

Переважає кількість вантажних автотранспортних підприємств України мають автопарк складений з 5-15 автомобілів. Середній вік рухомого складу коливається в межах 9-11 років та має тенденцію до збільшення. Для більшості марок автомобілів це стан між передвідмовним та граничним терміном експлуатації. Оновлення рухомого складу в багатьох підприємствах означає не придбання нового автомобіля з нульовим пробігом, а заміну на автомобіль з напрацюванням меншим від наявних транспортних засобів. Автотранспортні підприємства мають потребу в регулярному діагностуванні рухомого складу для прогнозування поступових та умовно-поступових відмов між рейсами, особливо міжнародними. В умовах зростання вартості палива менеджерам АТП потрібно враховувати економічно доцільні відстані на виконання робіт за кооперацією [1].

Технічне діагностування спрямоване на розв'язування задачі прийняття рішень щодо технічних впливів на конкретний вузол та агрегат конкретного автомобіля і підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів [2]. Діагностування розглядається як елемент системи управління. Організація ефективних процесів діагностування автомобіля в цілому і окремих його елементів – головна мета технічної діагностики автомобілів [3]. Прогнозування дає можливість якнайповніше використати ресурс автомобіля та оптимізувати його обслуговування. Відсутність врахування індивідуальних особливостей експлуатаційного автомобіля знижує можливості оптимізації процесу визначення строку справної роботи автомобіля [3].

Дані від бортової діагностики сучасних вантажних автомобілів дають можливість фіксувати до 360 параметрів роботи різних систем та вузлів. Контролюється стан роботи двигуна, коробки перемикачів, передачі, гальмівної системи, підвіски, трансмісії, системи відпрацьованих газів. Завдяки чому фіксуються відхилення у роботі систем та виявляються передумови розвитку поступових та умовно-поступових відмов. Найважливішими параметрами фахівці з діагностування вважають ті що сигналізують про стан двигуна, системи живлення, турбонагнітача. Ці дані інформують про можливість автомобіля розвивати необхідну потужність та швидкість руху для виконання транспортної роботи. Дані від фахівців-діагностів, що працюють в різних обслуговуючих та автотранспортних підприємствах, вказують на схожість розвитку проблем, тобто прослідковуються певні закономірності. Це означає, що експерти можуть накопичувати дані та робити висновки про високу вірогідність виконання технічного впливу для певної деталі або вузла при фіксуванні схожих відхилень та помилок. Запровадження такого діагностування дає можливість заощадити до 50% коштів на виконання ремонтів за рахунок мінімізації втрат на простій та меншій витраті нормо-годин механіків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савін Ю.Х. Визначення економічно доцільних відстаней доставки автомобілів на підприємства автосервісу / Ю.Х. Савін, М.В. Митко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. Науковий журнал. Вінниця: ВНТУ, 2019. – Вип. 2 (143). – С. 99-104.
2. Форнальчик Є.Ю. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: навч. посіб. / Є. Ю. Форнальчик, М. С. Оліскевич, О. Л. Мاستикаш, Р. А. Пельо. – Львів: Афіша, 2004. – 492 с.
3. Біліченко В.В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів: навч. посіб. / В.В. Біліченко, В.Л. Крещенецький, Ю.Ю. Кукурудзяк, С.В. Цимбал – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 118 с.
4. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: Підручник. – К.: Вища шк., 2007. – 527 с.
5. Мігаль В.Д. – Технічна діагностика автомобілів. Теоретичні основи: навчальний посібник / Мігаль В.Д., Щепкін А.В. Харків 2014. – 516 с.
6. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Міністерство транспорту України, 1998. – 16 с. (Нормативний документ Мінтранспорту України. Положення).
7. Правила експлуатації колісних транспортних засобів. Про затвердження Правил експлуатації колісних транспортних засобів. Наказ Міністерства інфраструктури України від 26.07.2013 №550.

Савін Юрій Хомич – професор кафедри, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Технічна експлуатація автомобілів та автосервіс», e-mail: ghsavin@gmail.com, тел. +380684504526, Україна, 01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/00000003-4329-665X.

Соколенко Олександр Вікторович - Національний транспортний університет, аспірант кафедри «Технічна експлуатація автомобілів та автосервіс», e-mail: ovsl2022@gmail.com, тел. +380674074893, Україна, 01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, <https://orcid.org/0009-0007-6085-5843>.

PREDICTION OF THE TECHNICAL CONDITION OF VEHICLES BASED ON STATISTICAL DATA FROM ON-BOARD DIAGNOSTICS

National Transport University, Kyiv

Abstract

It is possible to organize the optimal vehicle maintenance process based on diagnostic information and forecast its changes over time. The structure of the fleet of Ukrainian freight transport enterprises indicates the need to find effective ways to diagnose, monitor, and predict the technical condition of vehicles. The average age of vehicles, operating conditions, and limited resources of the production base of a typical motor transport enterprise play a role. The use of data from on-board diagnostics of a vehicle makes it possible to record the development of the problem. When analyzing the array of information from specialists from different enterprises, it is possible to trace patterns that are common to common truck models. This allows experts to draw conclusions about the need for future technical impact and to prepare for it.

Keywords: diagnostics of technical condition, prediction of technical condition, gradual failure, diagnostic parameter, on-board diagnostics, truck.

Savin Yuri Fomich. – Professor, Ph.D., Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of department "Technical operation of cars and car services", e-mail: ghsavin@gmail.com, tel. +380684504526, Ukraine, 01010, m. Kyiv, str. Mikhail Omelyanovich-Pavlenko, 1, k. 410, orcid.org/0000-0003-4329-665X.

Oleksandr Viktorovych Sokolenko - National Transport University, Post graduate student of the "Technical operation of cars and car service" department, e-mail: ovsl2022@gmail.com, tel. +380674074893, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Mykhailo Omelyanovich-Pavlenka, 1, k 410. orcid.org/0009-0007-6085-5843.

О. В. Гаврюков¹
М. Ю. Колесніков¹
В. Ю. Луценко¹

РОТОРНИЙ ЕКСКАВАТОР ПОПЕРЕЧНОГО КОПАННЯ З ТЕЛЕСКОПІЧНОЇ СТІЛОЮ

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури

Анотація

У статті розглядається конструкція екскаватора поперечного копання, оснащеного телескопічною стрілою з конвеєром зі змінною довжиною транспортування і його переваги в порівнянні з існуючими машинами подібного типу.

Ключові слова: роторний екскаватор, конвеєр зі змінною довжиною транспортування, продуктивність, стійкість

Вступ

За своїми експлуатаційними можливостями роторний екскаватор з висувною стрілою (рис.1 б) у порівнянні з роторним екскаватором з не висувною стрілою (рис.1 а) має переваги, а саме більш продуктивний, застосуємо при роботі по слабких ґрунтах і при селективній розробці пропластків.

Конструктивно роторного екскаватора з не висувною стрілою має один стрічковий конвеєр менше, ніж роторний екскаватор із висувною стрілою.

Експлуатаційні переваги роторного екскаватора з висувною стрілою привели до того, що в минулому столітті заводи Чехії, де ці машини працюють на будівництві та в м'яких ґрунтах, випускали моделі тільки з висувними стрілами.

Головна відмінність вибою екскаватора з не висувною стрілою полягає в серповидної форми поздовжнього перерізу всіх стружок, викликаної тим, що після кожного різання весь екскаватор пересувається на таку ж відстань, на яку висувається ротор у машини з висувною стрілою (на 15-100 см). Внаслідок цього товщина стружки в кожному різі при видаленні осі від екскаватора зменшується.

Щоб компенсувати це, роторні екскаватори середньої та великої потужності забезпечуються автоматичним пристроєм підвищення швидкості повороту зі збільшенням кута повороту з метою зберегти задане наповнення ковша.

Зазвичай швидкість повороту не може зростати більш ніж до 30 м/хв. За досвідом використання роторних екскаваторів подальше підвищення швидкості повороту є неприпустимим.

Створення роторного екскаватора поперечного копання з експлуатаційними можливостями роторного екскаватора з висувною стрілою та обладнаного таким же кількістю стрічкових конвеєрів як і роторний екскаватор з не висувною стрілою є актуальним науково-практичним завданням.

Результати дослідження

Дослідження зі створення стрічкового конвеєра працюючого при змінній довжині транспортування [1] дозволили розглянути можливість створення роторного екскаватора з телескопічною стрілою [2] (рис. 1), який за своїми експлуатаційними можливостями здатний підмінити роторний екскаватор із висувною стрілою (рис.2).

У першому випадку (рис.1) радіус захоплення екскаватора змінюється за рахунок телескопічної стріли 1.

Транспортований матеріал від робочого органу надходить на стрічковий конвеєр, що працює при довжині, що змінюється 2 перевантажується на проміжний конвеєр 3 і далі на розвантажувальний конвеєр 4.

У другий випадок (рис.2) радіус захоплення екскаватора змінюється з допомогою втягування стріли 1. Транспортований матеріал від робочого органу надходить на стрічковий конвеєр 2, перевантажується на конвеєр консолі протизваги 3, далі на проміжний конвеєр 4 і конвеєр розвантажувальної консолі 5.

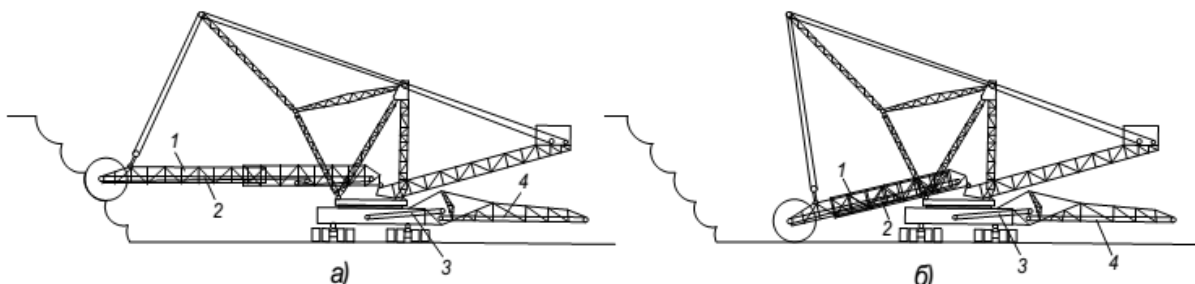


Рис. 1. Роторний екскаватор поперечного копання з телескопічною стрілою: а) при висунутій стрілі, б) при втягнутій стрілі

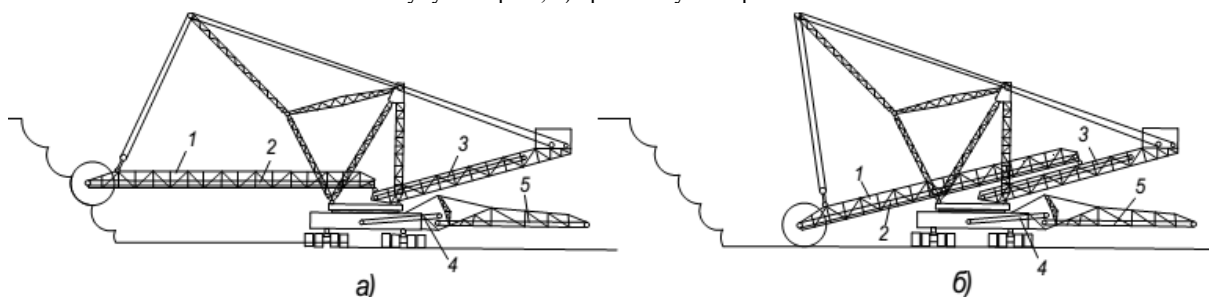


Рис. 2. Роторний екскаватор поперечного копання з висувною стрілою: а) при висунутій стрілі, б) при втягнутій стрілі

Не важко помітити, що у першому у випадку з транспортного ланцюжка виключається один конвеєр у порівнянні з другим випадком.

Під час проведення досліджень зі створення роторного екскаватора з телескопічною стрілою був здійснений порівняльний аналіз стійкості роторного екскаватора поперечного копання з висувною стрілою та телескопічною стрілою.

Положення рівнодіючої всіх сил ΣP при зміні радіусу захоплення роторного екскаватора з телескопічною та з висувною стрілою виконаний методом розрахунку мотузкового багатокутника.

Положення рівнодіючої всіх сил у екскаватора з телескопічною стрілою знаходиться ближче до осі опорно-поворотного кола, а це означає, що коефіцієнт стійкості буде вище, ніж у екскаватора з висувною стрілою.

При виконанні конструкторських досліджень зі створення роторного екскаватора з телескопічною стрілою за базу машину було прийнято роторний екскаватор EP – 1250 – 17/1,5A, що випускаються заводом "Донецькміськмаш" рис 3.

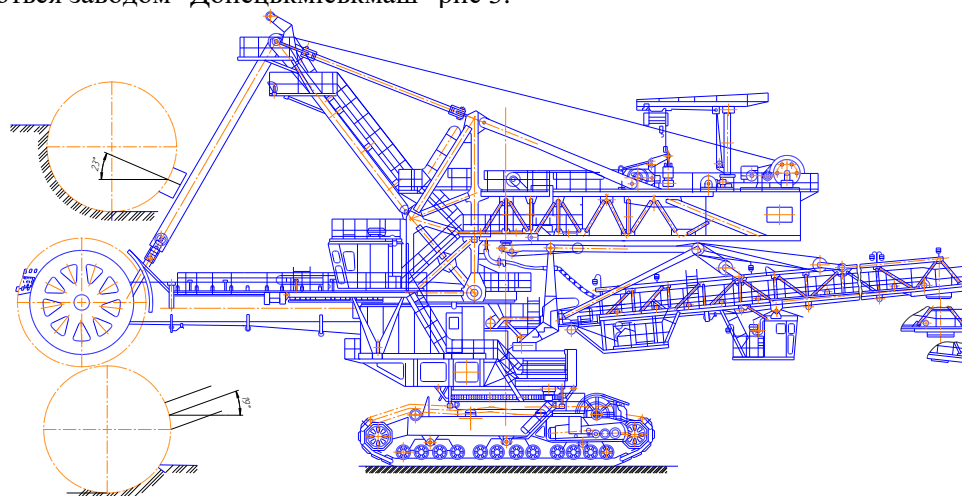


Рис. 3. Роторний екскаватор з телескопічною стрілою на базі екскаватора EP – 1250 – 17/1,5A

Замість стріли встановленої на роторному екскаватор ЕР – 1250 – 17/1,5А була встановлена телескопічна стріла з розташованим на ній стрічковим конвеєром із змінною довжиною транспортування.

Пропонована роторна стріла складається з двох секцій: основної та висувної. На висувній секції встановлено роторне колесо з приводом та перевантажувальним пристроєм. На основній частині роторної стріли розміщені вузли приймального конвеєра, а в ній розташовані гідроциліндри висування телескопічної вставки.

Розрахункові положення телескопічної роторної стріли розглядалися у горизонтальній площині такими:

- горизонтальне положення висунутої стріли;
- стріла ротора піднята на повну висоту вибою 8920 мм від горизонтального положення (прототип)
- роторна стріла опущена в крайнє нижнє положення на 8180 мм від горизонтального положення (прототип).

Також були виконані розрахунки гідроциліндрів стріли. Параметри гідроциліндрів визначалися виходячи із зусиль, які повинен забезпечувати кожен з них.

Висновки

1. Спроекований роторний екскаватор з телескопічною стрілою дозволяє:
 - при переході до розробки нового блоку, переході від підступу до підступу витратити на 3% часу менше, ніж його прототип;
 - застосовувати його при селективній розробці пропластків або в умовах пересування машини відносно слабкими ґрунтами;
 - за рахунок розробки вибою стружкою рівної товщини (меншого питомого зусилля різання) мати менший питомий показник витрат енергії на одиницю виробленої продукції, ніж роторний екскаватор з не висувною стрілою ЕР – 1250 – 17/1,5А.
2. Замінюючи роторний екскаватор із висувною стрілою на спроекований роторний екскаватор із телескопічною стрілою, має на один стрічковий конвеєр (консолі противаги) менше.
3. Створення та випробування дослідного зразка або діючого макету роторного екскаватора з телескопічною стрілою дозволить виявити конструктивні недоліки та вдосконалити пропонувану конструкцію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О.В. Гаврюков, М.Ю. Колесніков, А.В. Запривода, В.Ю. Луценко О.В. Бондарчук. Визначення механізму розрахунку натягнень стрічки конвеєра працюючого під час зміни довжини транспортування. Східно - Європейського журналу передових технологій № 2/7 (128) 2024. - Харків: ПП "Технологічний Центр", 2023. С.56 – 66. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300648
2. Патент на винахід. №88392 МПК (2009) E02F 5/16 (2009.01), E02F 9/14, E02F 3/18 E21C 47/00, E21C 49/00 Роторний екскаватор поперечного копання з телескопічною стрілою, / Гаврюков О.В. № а 2008 01569; Заявл. 07.02.08., Опубл. 12.10.09., Бюл. № 19. (Україна). -3с.

Гаврюков Олександр Володимирович — д.т.н. професор кафедри автоматизації технологічних процесів, Київського національного університету будівництва і архітектури, e-mail: gavyukjv@ukr.net

Колесніков Михайло Юрійович - студент магістратури кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського, e-mail: kolesnikov_m_u@ukr.net

Луценко Вадим Юрійович — канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації технологічних процесів, Київського національного університету будівництва і архітектури, e-mail: vadlutsenko@gmail.com

Rotary excavator for cross-digging with a telescopic boom

Abstract

The article discusses the design of a cross-cut excavator equipped with a telescopic boom with a conveyor with variable transport length and its advantages compared to existing machines of a similar type.

Keywords: rotary excavator, variable length conveyor, productivity, stability.

Gavryukov Alexandr V. — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automation of Technological Processes, Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, e-mail: gavryukjv@ukr.net

Kolesnikov Mykhailo Y. - Master's student at the Department of Automation of Electrical and Mechatronic Complexes of the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, e-mail: kolesnikov_m_u@ukr.net

Lutsenko Vadym Yu. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Department of Automation of Technological Processes, Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, e-mail: vadlutsenko@gmail.com

ШВИДКІСТЬ ЯК ОСНОВНИЙ КРИТЕРІЙ БЕЗПЕКИ ПЛАНУВАЛЬНИХ РІШЕНЬ.

Вінницький національний технічний університет.

Анотація

В статті розглядається питання впливу швидкості руху транспорту на безпеку дорожнього руху. Наведено статистику аварійності за 2024 рік в Україні. Проаналізовано основні підходи шведського підходу Vision Zero. Запропоновано рекомендації до проєктування безпечної дорожньої інфраструктури.

Ключові слова: швидкість, ДТП, безпека руху.

Порушення правил дорожнього руху є основною причиною дорожньо-транспортних пригод (ДТП) в Україні. За інформацією Патрульної поліції України [1] через перевищення швидкості в 2024 році: сталося 10163 ДТП, в яких загинуло 1770 та травмовано 12624. Це складає 39,4% від загальної кількості ДТП, 55,3% від кількості загиблих та 39,4% від кількості травмованих.

Швидкість є ключовим параметром, що визначає як динаміку транспортного потоку, так і тяжкість наслідків ДТП. Саме вона є ланкою між планувальними рішеннями та рівнем безпеки руху в містах і на міжміських дорогах.

Визначення швидкості як основного критерію безпеки

Усі планувальні та проєктні рішення повинні виходити з цільової (допустимої) швидкості руху, яка базується на:

- фізичних можливостях людини (реакція, поле зору, час прийняття рішень);
- рівні травматизму при наїзді на пішохода або зіткненні з іншими ТЗ;
- типі середовища (міське, приміське, сільське, автомагістральне).

Цільова швидкість має визначати всі геометричні параметри вулиць і доріг:

- ширину смуг, радіуси кривих, ухили, оглядовість, розміщення перешкод;
- вибір типу перехрестя (кільцева розв'язка, Т-подібне тощо);
- допустимість використання островців безпеки, звужень, «подушок» тощо.

Ймовірність наїзду на пішохода з летальним результатом при 30 км/год складає близько 10%, при 50 км/год – більше 80% [2].

Швидкість має значний вплив на довжину гальмівного шляху (експоненційне зростання). Час ухвалення рішень водієм залишається сталим, але шлях реакції зростає лінійно зі швидкістю.

Швидкість як основа системного підходу Vision Zero

Шведська модель Vision Zero визначає швидкість не лише як фактор, що піддається регулюванню, а як планувальний імператив – інфраструктура повинна примушувати до безпечної швидкості, а не лише обмежуватись знаками [3].

Основними принципами підходу Vision Zero є:

- люди роблять помилки.
- система має бути побудована так, щоб помилки не призводили до фатальних наслідків.
- відповідальність поділяється між учасниками руху і проєктувальниками системи.

Таким чином безпека втілених планувальних рішень у царині транспорту закладається ще на стадії проєктування, а відповідальність покладається не лише на учасників руху.

Найпоширеніші помилки проєктування, коли швидкість не врахована [4]:

- "Проектна пастка": дорога сприймається як високошвидкісна, але має значний пішохідний трафік.

- Конфлікти на перехрестях без геометричних засобів заспокоєння руху.
- Надмірна ширина смуг у міських умовах призводить до прискорення руху та зниження безпеки.

Практичні рекомендації

- Усі проекти повинні починатися з визначення цільової швидкості для заданої категорії дороги.
- Необхідна адаптація українських норм і стандартів до принципів Safe System і Vision Zero.
- Варто впроваджувати обов'язкову перевірку на сумісність швидкості та геометрії дороги.
- Після запровадження змін до організації дорожнього руху необхідно проводити моніторинг зміни швидкості транспортного потоку на ділянці проведення робіт та прилеглих ділянках.

Висновки

Швидкість є не лише фактором ризику, а й основним критерієм, навколо якого має будуватися вся логіка планувальних і проектних рішень у дорожньому будівництві. Перехід до системного обґрунтування швидкості як первинного параметра дозволить радикально підвищити рівень безпеки на дорогах України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Офіційний сайт Департаменту Патрульної поліції України: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/>
2. Rosen, E., & Sander, U. (2009). "Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed." *Accident Analysis & Prevention*, Volume 41, Issue 3, Pages 536–542.
3. Vision Zero. *Trafikverket: Vision Zero – the Swedish approach to road safety*.
4. World Health Organization (WHO) – *Managing Speed* (2017)

Перлов Віктор Євгенійович, к.т.н., доцент, доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: perlov@vntu.edu.ua

SPEED AS THE MAIN SAFETY CRITERION PLANNING DECISIONS.

Abstract

The article deals with the issue of the impact of vehicle speed on road safety. The accident statistics for 2024 in Ukraine are presented. The main approaches of the Swedish Vision Zero approach are analyzed. Recommendations for the design of safe road infrastructure are proposed.

Keywords: speed, road accidents, traffic safety.

Perlov Viktor, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Materials Resistance, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: perlov@vntu.edu.ua

ВПЛИВ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ

Національний транспортний університет

Анотація

Досліджено вплив показників ефективності діяльності транспортних підприємств на виконання зовнішньоторговельних операцій. Проаналізовано бізнес-процеси, які виконуються транспортними підприємствами при доставці товарів у міжнародному сполученні автомобільним транспортом.

Ключові слова: логістичний ланцюг, транспортне підприємство, оптимізація, управління, бізнес-процеси, зовнішньоторговельна операція.

Процес організації зовнішньоторговельної операції передбачає залучення посередницьких організацій, здатних забезпечити високий рівень ефективності її виконання. З цією метою на першому етапі відбувається планування структури логістичного ланцюга, а на другому етапі – вибір на ринку посередницьких організацій, які за своїм профілем діяльності максимально задовільняють вимоги замовника до даного виду послуг.

Основна концепція вибору суб'єкта господарювання для співпраці полягає у досягненні мінімальних фінансових та часових витрат на обслуговування з дотриманням високих показників якості та надійності виконання усіх робіт. При організації перевезення досягнути оптимізації тривалості обслуговування можливо за рахунок контролю за термінами виконання фахівцями кожного етапу обробки замовлення і вивчення основних «вузьких місць» з метою подальшого усунення недоліків у роботі [1,2].

Етапи обслуговування замовників, що виконуються транспортним підприємством при доставці товарів у міжнародному сполученні

1. Прийняття заявки від Замовника. Уточнення параметрів вантажу (розміри, вага, тип упаковки, особливі вимоги).
2. Перевірка наявності відповідного транспорту для перевезення. Попередній розрахунок вартості перевезення. Узгодження попередніх умов перевезення із Замовником.
3. Складання детального маршруту з урахуванням дорожньої інфраструктури. Узгодження часу виїзду із Замовником.
4. Перевірка відповідності автомобіля вимогам вантажу (вантажопідйомність, об'єм). Підготовка обладнання для завантаження/розвантаження (за необхідності).
5. Оформлення документів на виконання міжнародного пейсу
6. Завантаження автомобіля відповідно до вимог. Кріплення вантажу відповідно до стандартів безпеки. Проведення остаточного огляду транспортного засобу та вантажу.
7. Передача водію документів на перевезення вантажу (CMR, рахунки, маршрут).
8. Виконання міжнародного рейсу. Проходження митних формальностей.
9. Завершення перевезення у пункті призначення. Розвантаження вантажу у пункті призначення. Передача документів власнику вантажу (рахунок-фактура, оригінал CMR).
10. Повернення транспортного засобу на стоянку транспортного підприємства.
11. Передача документів у бухгалтерію компанії (реєстр CMR, звіти водія). Підготовка рахунку на оплату для клієнта. Надання клієнту оригіналів документів. Отримання підтвердження від клієнта про оплату. Перевірка зарахування коштів на рахунок компанії та закриття заявки.
12. Надання клієнту оригіналів документів (рахунок, CMR, акти). Отримання підтвердження

від клієнта про оплату. Перевірка зарахування коштів на рахунок компанії та закриття заявки.

До основних вимог, які висуваються до перевізника можна віднести:

1) наявність у власності підприємства транспортного засобу відповідної спеціалізації для перевезення вантажу з урахуванням його фізико-хімічних та об'ємно-масових характеристик;

2) відповідність автотранспортних засобів стандартам екологічної безпеки, встановленим у Європі;

3) тривалість та вартість обслуговування є оптимальною за усередненими ринковими показниками;

4) забезпечення високого рівня якості та надійності обслуговування;

5) задоволення індивідуальних потреб покупця та продавця щодо виконання зовнішньоторговельного контракту з урахуванням умов поставки Інкотермс, які застосовуються;

6) повне та своєчасне виконання умов договору транспортного обслуговування між замовником та виконавцем;

7) раціональне планування витрат на паливно-мастильні матеріали з метою мінімізації фінансової складової у загальних витратах на виконання міжнародного рейсу [3,4].

Вибір транспортного підприємства, яке здатне забезпечити оптимальну тривалість та вартість виконання транспортного обслуговування дозволить забезпечити ефективність виконання зовнішньоторговельної операції і конкурентоздатність товару на міжнародному ринку при реалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Łukasik, Z., Kuśmińska-Fijałkowska, A., & Olszańska, S. (2021). The impact of the organisation of transport processes on the efficient use of a fleet of vehicles. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.110.7>.
2. Layeb, S., Jaoua, A., Jbira, A., & Makhlof, Y. (2018). A simulation-optimization approach for scheduling in stochastic freight transportation. *Comput. Ind. Eng.*, 126, 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.09.021>.
3. Lebid, I., Luzhanska, N., Lebid, I., Mazurenko, A., Roi, M., Medvediev, I., Sotnikova, T., & Hrevtsov, S. (2023). Development of a simulation model of the activities of a transport and forwarding enterprise in the organization of international road cargo transportation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(3 (126)), 6–17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.291039>.
4. Lebid, I., Luzhanska, N., Lebid, I., Mazurenko, A., Halona, I., Kovtsur, K., Yarmak, T., Sotnikova, T., & Medvediev, I. (2024). Selecting a transport and forwarding company for meeting a customer's needs when organizing international road cargo transportation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(3 (129)), 55–66. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.305238>.

Лебідь Євгеній Михайлович – к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: eugene.lebed@gmail.com.

Лужанська Наталія Олександрівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: Natali.Luzhanska@gmail.com.

Лебідь Ірина Георгіївна – к.т.н., професор, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: i.h.lebed@gmail.com.

The influence of transport companies performance on the operation of logistics chains

Abstract

The influence of efficiency indicators of transport companies on the execution of export-import trade operations has been studied. The business processes performed by transport enterprises during the delivery of goods in international road transportation have been analyzed.

Keywords: *logistics chain, transport companies, optimization, management, business processes, export-import trade operation.*

Lebid Ievgenii – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Law and Logistics, National Transport University, Kyiv, e-mail: eugene.lebed@gmail.com.

Luzhanska Nataliia – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: Natali.Luzhanska@gmail.com.

Lebid Iryna – Ph.D. (Eng.), Professor, Professor of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University, Kyiv, e-mail: i.h.lebed@gmail.com.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНО-СЕРВІСНОЇ ЛОГІСТИКИ ДЛЯ ТЕХНІКИ ЛІСОВОГО КОМПЛЕКСУ В ДИЛЕРСЬКИХ СТРУКТУРАХ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто шляхи підвищення ефективності технічного обслуговування машин і обладнання лісового комплексу в дилерській системі із застосуванням автомобільного транспорту як засобу доставки та мобільного сервісу. Розроблено функціональну та математичну моделі обслуговування, структуру інформаційної системи для замовлення запасних частин і гідроманіпуляторів, а також методику розрахунку логістичних витрат. На прикладі продукції ТОВ «Турбівмашбуд» (маніпулятор SG–88) проаналізовано сучасні проблеми сервісу та надано практичні рекомендації щодо його оптимізації з урахуванням географічних особливостей України.

Ключові слова: лісотехніка, дилерська система, технічне обслуговування, математична модель, гідроманіпулятор, автомобільний транспорт.

Лісовий комплекс України активно використовує мобільну техніку – автотранспорт, гідроманіпулятори, спеціалізовані машини. Їх ефективність значною мірою залежить від якості технічного обслуговування, зокрема в межах дилерських систем, що поєднують сервіс, логістику та постачання запасних частин [1, 2].

Актуальність підвищується через складні умови експлуатації: віддаленість лісових ділянок, сезонність робіт, обмежений доступ до сервісних центрів. Важливу роль у цих умовах відіграє автомобільний транспорт – як мобільний сервісний засіб і логістичний компонент.

Проблеми, пов'язані з імпоротною технікою (харвестери, форвардери, лісовози), включають дефіцит запчастин, нестачу фахівців і слабку інфраструктуру ремонту [2]. Це зумовлює простой, зниження продуктивності та зростання витрат.

Оптимізація дилерської системи, зокрема логістичних процесів і сервісного обслуговування, є перспективним шляхом підвищення ефективності експлуатації техніки та сталого розвитку лісового господарства [3].

Застарілий технічний парк, віддаленість лісових ділянок, нестача сервісних центрів у сільській місцевості та дефіцит кваліфікованого персоналу ускладнюють своєчасне технічне обслуговування лісгосподарської техніки. Це зумовлює потребу у мобільних сервісних бригадах, здатних оперативно реагувати на поломки безпосередньо в польових умовах.

Дилерські системи, як організовані мережі сервісної підтримки, забезпечують стандартизацію обслуговування, постачання запчастин та навчання персоналу. Вони сприяють підвищенню якості сервісу, скороченню часу ремонту та покращенню логістичних процесів.

Прикладом є компанія «Техносервіс Ліс» — дилер техніки Ponsse, що має п'ять сервісних центрів у ключових лісозаготівельних регіонах України. Їхні мобільні бригади забезпечують виїзне обслуговування техніки. Подібну модель реалізує й «Лісмаш Груп», партнер John Deere Forestry. На графіку (рис. 1) зображено обслуговування та порівняння часу простою техніки при різних типах сервісу, що підтверджує ефективність мобільного підходу.

Функціональна модель дилерської системи технічного сервісу.

Моделювання процесів технічного обслуговування в дилерській системі за методологією **IDEF0** дає змогу проаналізувати поточний технологічний процес замовлення та виявити можливості для його оптимізації або впровадження нових рішень [7].

Основні завдання дилерських центрів:

- замовлення техніки та запасних частин для лісового комплексу;
- технічне обслуговування;
- ремонт машин і обладнання.

Ці процеси зображено у вигляді дворівневої **функціональної моделі A0** (рис. 2) [7].

Всі послуги надаються на основі клієнтських заявок. При цьому для виконання технічного обслуговування чи ремонту часто потрібне додаткове замовлення запасних частин, без яких подальші роботи неможливі.

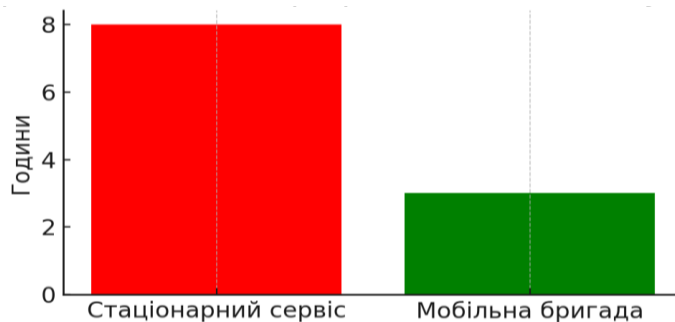


Рисунок 1 – Час простою техніки при різних типах обслуговування



Рисунок 2 – Дворівнева діаграма дерева вузлів функціональної моделі процесів дилерської системи технічного сервісу A0

1. Математична модель мережевої структури дилерської системи:

На основі математичної моделі мережевої структури дилерської системи технічного сервісу розробляється структура інформаційної системи, яка автоматизує процес замовлення продукції дилерськими центрами у підприємства-виробника.

Розробка узагальненої математичної моделі мережевої структури дилерської системи технічного сервісу:

У сучасних ринкових умовах дедалі більше виробників виходять на внутрішній і світовий ринки, що дає дилерським центрам можливість працювати з різними підприємствами (рис. 3). Часто дилери взаємодіють одночасно з кількома виробниками.

Дилерська система технічного сервісу, яка включає дилерські центри та постачальників-продуктів, моделюється у вигляді мережевої графічної структури:

$$G = (PT), \tag{1}$$

де P – підприємства-виробники та дилерські центри, T – транспортні зв'язки між ними.

Дилерські центри та підприємства-виробники можуть бути розташовані в різних регіонах і країнах, тому при організації сервісного обслуговування дилерські центри вибирають найбільш зручний варіант. Критерії вибору включають:

- вартість продукції;
- способи доставки продукції (транспортні зв'язки).

Для моделювання мережевої структури з урахуванням критеріїв вибору використовується поліхроматичний мультиграф:

$$PMG = (MG, F(G), PIS_p, PIS_T), \tag{2}$$

де F(G) – унітарне розфарбування мультиграфа.

2. Математичне моделювання логістики сервісу:

Середню дальність обслуговування можна оцінити за формулою:

$$D = (\sum d_i \times n_i) / \sum n_i \quad (3)$$

де D – середня дальність виїзду сервісної бригади, км; d_i – відстань до i -точки обслуговування; n_i – кількість виїздів у цей пункт за період.

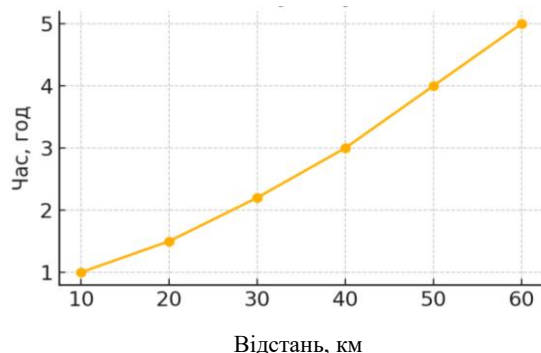


Рисунок 6 – Графік залежності часу технічного обслуговування від дальності, км

Систему дилерського обслуговування можна подати логічним виразом:

$$PSD = P_1 \vee (P_2 \vee P_3 \vee P_4 \vee P_5 \vee P_6 \vee P_7 \vee P_8) \quad (4)$$

де PSD – система дилерського постачання, P_1 – виробник, $P_2 \dots P_8$ – дилери.

Математично структуру моделюють за допомогою поліхроматичного графоміру:

$$PMGSD = (MGSD, F(GSD), PIS_PSD, PIS_TSD) \quad (5)$$

де MGSD – множина вузлів мережі;

$F(GSD)$ – функція розподілу заявок;

PIS_PSD – підсистема постачання;

PIS_TSD – підсистема технічного обслуговування.

Проаналізовано процеси дилерської системи технічного сервісу машин і обладнання лісового комплексу та взаємозв'язок дилерського центру з підприємством-виробником. Виявлено процес, автоматизація якого прискорює замовлення продукції.

Розроблено функціональну модель замовлення, що враховує зв'язок сервісного обслуговування і вибір оптимального виробника за критеріями. Запропоновано методика моделювання структури інформаційної системи замовлення з описом інформаційних потоків.

Інформаційну систему протестовано на підприємстві-виробнику крана-гідроманіпуляторів SG-88, що дозволило скоротити час формування замовлення в 3 рази та усунути проблему затримок.

Запропоновані рішення сприяють підвищенню ефективності підприємств галузі в умовах обмежених ресурсів і високих вимог до продуктивності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шокарев О.М. та ін. Організація та технологія технічного сервісу машин: навч. посібник. – Мелітополь: ТОВ «ФОРВАРДПРЕСС», 2019. – 307 с.
2. Замкова Н., Поліщук І., Довгань Ю. та ін. Підготовка майбутніх менеджерів із логістики та управління ланцюгами поставок: компетентнісний підхід // *Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії і практики*. – 2023. – №1 (48). – С. 427–440.
3. Поліщук І.І., Довгань Ю.В. Логістична компетентність як складова ефективності логістики // *Modern Economics*. – 2021. – №25.
4. Офіційний сайт «Komatsu». https://komatsu.in.ua/?utm_source=chatgpt.com.
5. Мачуга О.С. Особливості проектування лісозаготівельної техніки для роботи на територіях з ухилом. Частина 1. Математична модель. Вісник НТУ «ХП». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХП», 2014. – №6 (1049). – С. 130-144.

6. Митко М. В. Підвищення ефективності роботи автотранспортних підприємств удосконаленням структури виробничих підрозділів: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. Київ, 2019. – 251 с.

7. Методичні вказівки для виконання практичних робіт з дисципліни «Виробничі процеси та процедури надання послуг в автосервісі» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт». [Електронний ресурс] / уклад. М. В. Митко – Вінниця : ВНТУ, 2024. – (PDF, 33 с.).

Анусін Денис Сергійович – студент групи ІАТ-226, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: vakoliykdenis3@gmail.com

Митко Микола Васильович – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mytko@vntu.edu.ua

INCREASING THE EFFICIENCY OF TRANSPORT AND SERVICE LOGISTICS FOR FORESTRY EQUIPMENT IN DEALER STRUCTURES

Abstract

The ways of increasing the efficiency of technical maintenance of machines and equipment of the forestry complex in the dealer system using motor transport as a means of delivery and mobile service are considered. A functional and mathematical model of service, the structure of the information system for ordering spare parts and hydraulic manipulators, as well as a methodology for calculating logistics costs are developed. Using the example of the products of LLC "Turbivmashbud" (manipulator SG-88), modern problems of service are analyzed and practical recommendations are provided for its optimization, taking into account the geographical features of Ukraine.

Key words: forestry, dealer system, maintenance, mathematical model, hydraulic manipulator, road transport.

Anusin Denys S - Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. email: vakoliykdenis3@gmail.com

Mytko Mykola V - Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mytko@vntu.edu.ua

ЦІЛЬОВА ФУНКЦІЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ ЗУПИНОК ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ПЕРЕХРЕСТЯХ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто підхід до оптимального розміщення зупинок громадського транспорту на перехрестях з урахуванням пересадкових потоків. Запропоновано цільову функцію, яка мінімізує сумарну вагову відстань між зупинками різних видів транспорту, що забезпечує зручніші пересадки для пасажирів.

Ключові слова: зупинка громадського транспорту, перехрестя, транспорт, цільова функція.

За останні роки попит на міський транспорт у країнах Європи різко зріс унаслідок стрімкого економічного розвитку, урбанізації та зростання автомобілізації протягом останніх десятиліть. Крім того, серйозні затори на дорогах створюють значні труднощі в експлуатації та управлінні міським транспортом. Все більше людей усвідомлюють, що громадський транспорт є ефективним засобом зменшення заторів і сприяє сталому розвитку транспортної системи.

Міський громадський транспорт є надзвичайно складною системою, де ключову роль у забезпеченні сталого соціального розвитку відіграють міські трамвайні лінії, тролейбуси, електробуси та автобуси. Завдяки стабільному графіку, ефективному обслуговуванню та окремим виділеним смугам руху, багатосекційному рухомому складу міський трамвай здатний перевозити великі обсяги пасажирів, та при цьому виконує функцію основного каркасу міської транспортної інфраструктури.

Зупинки громадського транспорту виконують роль вузлів з'єднання між автобусами та міським залізничним транспортом, є ключовими точками для посадки й висадки пасажирів. Враховуючи реальну структуру міських доріг, території поблизу перехресть є зручними для розташування подібних об'єктів. Тому автобусно-тролейбусні та трамвайні зупинки, розташовані неподалік перехресть, часто мають важливе значення для пасажирів, які здійснюють пересадку між різними видами транспорту. Це безпосередньо впливає на рівень обслуговування пасажирів і привабливість громадського транспорту загалом [1].

Вибір розташування автобусних зупинок насамперед впливає на відстань, яку проходять пасажирі пішки, а також на швидкість руху автомобілів і автобусів у зонах впливу. Визначення оптимального місця розташування зупинок потребує врахування загальної довжини пішохідного шляху пасажирів, часу затримок автотранспорту на перехрестях і тривалості руху автобусів. Оптимізація цих параметрів є ключовим чинником для обґрунтованого вибору місць зупинок, оскільки вона безпосередньо впливає на зручність пересування пасажирів, ефективність транспортної мережі та загальну привабливість громадського транспорту.

Правильно сплановане розташування зупинок сприяє зменшенню часу в дорозі, полегшенню пересадок між видами транспорту, а також знижує навантаження на дорожню інфраструктуру. Таким чином, оптимізація розміщення зупинок не лише підвищує якість обслуговування пасажирів, а й сприяє формуванню більш стійкої, доступної та ефективної системи міського транспорту. Неefективне або випадкове розміщення зупинок у таких місцях призводить до збільшення часу пересадки, перевантаження пішохідної інфраструктури та погіршення якості транспортного обслуговування.

Для вирішення цієї проблеми доцільно використати формальний підхід – побудову цільової функції, яка кількісно оцінює ефективність конфігурації зупинок. Така функція дозволяє не лише порівнювати варіанти розміщення, але й знайти оптимальне рішення, що мінімізує витрати часу і зусиль для пасажирів при пересадках.

Одним із методів, що може бути використаний для вивчення цього питання, є застосування діаграми Вороного [2]. Цей метод дозволяє розділити територію на області обслуговування, де кожна зупинка обслуговує найближчі до неї точки, що може допомогти в оптимальному розміщенні зупинок для забезпечення рівномірного покриття території та зручних пересадок.

У даному описі розглянуто математичну модель цільової функції, яка враховує відстані між зупинками та інтенсивність пересадкових потоків. Функція належить до класу задач оптимального розміщення

об'єктів (Facility Location Problems) та адаптована під потреби міського громадського транспорту [3]. Ця цільова функція оптимального розміщення зупинок громадського транспорту на перехрестях мінімізує загальну вартість пересадок, де вартість – це добуток відстані між зупинками та кількості пасажирів, які роблять цю пересадку. Формулювання цільової функції зображено у вигляді формули 1.

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \omega_{ij} d(s_i, s_j) \quad (1)$$

Де,

- N - Кількість зупинок одного виду транспорту (наприклад, трамвай);
- M – Кількість зупинок іншого виду транспорту (наприклад, автобус).
- s_i – Координати зупинки i і-го типу (напр., трамвайної).
- s_j – Координати зупинки j j-го типу (напр., автобусної).
- $d(s_i, s_j)$ – Відстань між зупинками s_i і s_j .
- ω_{ij} – Вага: інтенсивність пересадки з i і на j (часто — кількість пасажирів).

Оптимальне розміщення зупинок громадського транспорту на перехрестях є важливим елементом підвищення ефективності міської транспортної мережі. Застосування цільових функцій, що враховують відстані та пасажиропотоки, дозволяє формалізувати процес прийняття рішень і знайти розташування зупинок, яке мінімізує втрати часу на пересадки. Додаткове використання просторових моделей, таких як діаграми Вороного, поглиблює аналіз і сприяє збалансованому територіальному покриттю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Optimal Locations of Bus Stops Connecting Subways near Urban Intersections / Y. Cui et al. *Mathematical Problems in Engineering*. 2015. Vol. 2015. P. 1–9. URL: <https://doi.org/10.1155/2015/537049> (дата звернення: 22.05.2025).
2. Optimization Method for Conventional Bus Stop Placement and the Bus Line Network Based on the Voronoi Diagram / F. Wang et al. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, no. 13. P. 7918. URL: <https://doi.org/10.3390/su14137918> (дата звернення: 22.05.2025).
3. Facility location problem - Cornell University Computational Optimization Open Textbook - Optimization Wiki. *Cornell University Computational Optimization Open Textbook - Optimization Wiki*. URL: https://optimization.cbe.cornell.edu/index.php?title=Facility_location_problem (дата звернення: 22.05.2025).
4. В.Ю. Старжинський, М.В. Митко. Оптимізація розташування зупинок громадського транспорту визначеного перехрестя. [Електронний ресурс] / В.Ю. Старжинський, М. В. Митко // Матеріали LIV Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2025). Вінниця, ВНТУ. 2025. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2025/paper/view/23568>

Старжинський Валерій Юрійович – студент групи 1ТТ-23мз, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 3372292@gmail.com

Митко Микола Васильович – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mytko@vntu.edu.ua

OBJECTIVE FUNCTION FOR THE OPTIMAL PLACEMENT OF PUBLIC TRANSPORT STOPS AT INTERSECTIONS

Abstract

The paper presents an approach to the optimal placement of public transport stops at intersections, taking into account passenger transfer flows. An objective function is proposed that minimizes the total weighted distance between stops of different transport modes, thereby improving transfer convenience for passengers.

Key words: public transport stop, intersection, transport, objective function

Valeriy Starzhinskii Yu — student of group 1ТТ-23mz, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 3372292@gmail.com

Mytko Mykola V - Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mytko@vntu.edu.ua

ЗЕРНОВА ЛОГІСТИКА АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ В СУЧАСНИХ УМОВАХ РОЗВИТКУ АГРАРНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Наведено аналіз стану та проблем перевезення зернових культур автомобільним транспортом в Україні в умовах воєнного стану. Визначено ключові фактори, що впливають на ефективність доставки, та запропоновано рекомендації щодо оптимізації логістичних процесів за допомогою цифрових технологій.

Ключові слова: зернова логістика, автомобільний транспорт, ефективність перевезень, TMS, воєнний стан.

Зернова продукція є стратегічно важливою для економіки України. В умовах обмеженого доступу до морських шляхів та активних бойових дій роль автомобільного транспорту в ланцюгах постачання різко зростає. Логістичні витрати сягають 30–50% собівартості продукції, що зумовлює необхідність пошуку інноваційних рішень для їх оптимізації.

Аналіз статистичних даних та індексу Logistics Performance Index (LPI) [1] показав, що за 2023 рік Україна посіла 79 місце зі 160 країн, зокрема за критеріями інфраструктури (2,4) та своєчасності доставки (3,1). Це свідчить про потребу покращення доріг та терміналів.

Основні проблемні питання організаційно-технічного розвитку перевезень зернових автомобільним транспортом [2, 3, 4]:

1. Обмежені можливості морських портів у воєнний час та переорієнтація на автомобільні маршрути, що призводить до перевантаження мережі доріг.

2. Стохастичність прибуття транспортних засобів на елеватори через децентралізацію перевезень, викликана відсутністю єдиної системи управління чергами.

3. Пошкоджена та зношена дорожня інфраструктура, що збільшує витрати часу та палива.

4. Високий рівень логістичних витрат (30–50% собівартості), обумовлений дефіцитом ефективних провайдерів та низьким рівнем автоматизації.

Фактори, що сприяють розвитку логістики зернових перевезень в Україні [5, 6, 7]:

– вигідне географічне розташування країни як транзитного хабу між ЄС та Азією.
– зростання обсягів логістичного аутсорсингу (3PL/4PL) та інтеграція провайдерів у єдині ланцюги.

– активне впровадження цифрових рішень: TMS (Transport Management System), GPS-моніторинг, електронні черги на терміналах (табл. 1).

В якості критеріїв оцінки маршрутів перевезень можна рекомендувати: вартість транспортування (K_1); витрати, пов'язані із завантаженням і розвантаженням вантажу, включаючи простой у чергах (K_2); можливі додаткові витрати через неточність планування (наприклад, збільшення пробігу, зношення транспорту тощо) (K_3).

Таблиця 1 – Порівняння витрат традиційних та автоматизованих перевезень

Показник	Традиційно	З TMS
Витрати на паливо	Високі	–15%
Час доставки	Довгий	–25%
Точність маршруту	Середня	Висока

Визначення загальних витрат на перевезення на основі запропонованих критеріїв можна здійснити за формулою

$$C = (K1 + K2 + K3) \rightarrow \min.$$

Базуючись на даних таблиці 1 та результатах аналізу формули загальних витрат на перевезення на основі запропонованих критеріїв, можна рекомендувати такі першочергові заходи:

1. Впровадження TMS та електронних черг для управління потоками вантажів.
2. Розвиток інфраструктури: ремонт доріг, будівництво елеваторів.
3. Залучення 3PL/4PL-провайдерів.
4. Підвищення кваліфікації персоналу.

Таким чином, розширена організація та цифровізація логістичних процесів дозволяє значно покращити ефективність перевезень зернових культур автомобільним транспортом в умовах воєнного стану. Запровадження багатокритеріальної оцінки маршрутів та інтеграція провайдерів сприятимуть зниженню витрат та часу доставки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кашканов А. А., Буряк В. В., Москалюк М. Л. Аспекти логістичного забезпечення виробничих процесів підприємств автомобільного транспорту України. Матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 154-156.
2. Yanovska V., Król M., Pittman R. The logistics of grain exports from wartime Ukraine: What are the highest priority areas to Address? Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 2025. 30, 101363. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.101363>.
3. Іванов Ю.В., Нагай Д.Р., Сохань Т.Д. Логістика в сучасних умовах розвитку економіки України. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління. 2025. Том 36 (75), № 1, С. 72-77. <https://doi.org/10.32782/2523-4803/75-1-11>.
4. Кашканов А.А., Буряк В.В. Проблемні питання організаційно-технічного розвитку перевезень зернових культур автомобільним транспортом в Україні. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2024. Том1. №22. С. 163-169. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1357>.
5. Кашканов А.А., Буряк В.В. Управління ефективністю перевезення зернових культур автомобільним транспортом на основі критеріального підходу. Автошляховик України. 2025. №1. <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2025-1-282-56-62>.
6. Кашканов А.А., Буряк В.В. Використання логістичних методів управління транспортними процесами в секторі аграрного виробництва. Матеріали міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи» 20-21 березня 2025 року. Полтава: Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», 2025. С. 323-326.
7. Кашканов А.А., Буряк В.В. Цифрові технології як засіб підвищення ефективності логістики зернових культур. LIV Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2025), 24-27 березня 2025 року, Вінниця: ВНТУ. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2025/paper/view/24029/19884>.

Кашканов Андрій Альбертович, д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

Буряк Валерій Володимирович – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: 00-23-142.stud@vntu.edu.ua.

GRAIN LOGISTICS BY ROAD TRANSPORT IN THE CURRENT CONDITIONS OF DEVELOPMENT OF THE AGRICULTURAL SECTOR OF UKRAINE

Abstract

The article analyses the status and problems of grain crops transportation by road in Ukraine under martial law. The key factors affecting the efficiency of delivery are identified and recommendations for optimising logistics processes using digital technologies are proposed.

Key words: grain logistics, road transport, transportation efficiency, TMS, martial law.

Kashkanov Andrii – Dr.Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

Buriak Valerii – PhD student, Vinnytsia National Technical University, e-mail: 00-23-142.stud@vntu.edu.ua

ГНУЧКІСТЬ ТА АДАПТИВНІСТЬ ЯК ІНСТРУМЕНТИ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто сучасні підходи до управління запасами запасних частин на автотранспортних підприємствах в умовах невизначеності попиту та поставок. Запропоновано адаптацію класичних систем управління запасами, таких як системи з фіксованим розміром замовлення, фіксованим інтервалом між замовленнями, та системи "Мінімум-Максимум", з урахуванням особливостей транспортної галузі. Виконано аналіз впливу факторів сезонності, географічного розташування постачальників і нестабільності ринку на формування запасів. Показано, що оптимізація запасів з урахуванням страхового запасу та норм витрат дозволяє підвищити надійність забезпечення запасними частинами, знизити витрати на зберігання та уникнути дефіциту, що позитивно впливає на ефективність транспортних процесів.

Ключові слова: управління запасами, запасні частини, автотранспортне підприємство, система «Мінімум-Максимум», страхові запаси, оптимізація, транспортні процеси, невизначеність.

Ефективність управління запасами запасних частин є критичною складовою забезпечення безперебійної роботи автотранспортних підприємств [1, 2]. У сучасних умовах невизначеності попиту і поставок виникає необхідність застосування гнучких і адаптивних систем управління запасами, що мінімізують сумарні витрати і ризики дефіциту [3, 4].

Розглянемо основні системи управління запасами [5, 6, 7] (табл. 1):

1. Система з фіксованим розміром замовлення, де розмір замовлення q є постійним, а періодичність замовлень змінюється. Метою є мінімізація сумарних витрат на зберігання запасів та оформлення замовлень.

2. Система з фіксованим інтервалом часу між замовленнями, коли замовлення відбуваються через встановлені інтервали часу, а розмір замовлення варіюється залежно від потреб.

3. Система «Мінімум-Максимум», яка комбінує підходи і орієнтована на утримання запасів у межах від мінімального до максимального рівня, оформляючи замовлення лише за умови досягнення мінімального рівня запасів.

Таблиця 1. – Основні параметри систем управління запасами

Параметр	Опис	Формула
Максимальний запас Z_{\max}	Максимальна кількість запасу для періоду поставки	$Z_{\max} = R_m \cdot T$
Середній запас Z_{cp}	Середній рівень запасу при рівномірному споживанні	$Z_{cp} = 0,5 \cdot R_m \cdot T$
Страховий запас Z_{str}	Запас на випадок затримок і коливань	$Z_{str} = R_m \cdot (T_1 + T_2 + T_3 + T_4)$
Загальний запас Z_{zag}	Виробничий запас з урахуванням страхового	$Z_{zag} = R_m \cdot (T_{pz} + T_{str})$

Для визначення максимального рівня запасів використовується формула

$$Z_{\max} = R_m \cdot T,$$

де R_m – середньодобова витрата матеріалів; T – періодичність поставок (дні).

Середній поточний запас за рівномірного споживання розраховується як

$$Z_{cp} = 0,5 \cdot R_m \cdot T.$$

Для покриття невизначеності в строках поставки і споживанні матеріалів запроваджується страховий запас

$$Z_{str} = R_m \cdot (T_1 + T_2 + T_3 + T_4),$$

де T_1 – час на термінове оформлення замовлення, T_2 – час виробництва та оформлення постачальником, T_3 – час доставки матеріалів, T_4 – час прийому та оприбуткування на складі споживача.

Загальний розмір запасів визначається як

$$Z_{zag} = R_m \cdot (T_{pz} + T_{str}),$$

де T_{pz} – норматив поточного запасу, T_{str} – норматив страхового запасу.

Оптимізація управління запасами запасних частин з урахуванням специфіки автотранспортних підприємств, особливо в умовах невизначеності поставок і попиту, дозволяє значно підвищити ефективність транспортних процесів. Використання систем з фіксованим розміром замовлення, фіксованим інтервалом та системи «Мінімум-Максимум» з урахуванням страхових запасів є дієвими інструментами для досягнення балансу між рівнем сервісу та витратами на зберігання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кашканов А. А., Буряк В. В., Москалюк М. Л. Аспекти логістичного забезпечення виробничих процесів підприємств автомобільного транспорту України. Матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 154-156.
2. Bondarenko, E., Dryuchin, D., Goncharov, A., Bulatov, S., Feklin, E. Improving the Efficiency of Vehicle Operation by Defining the Organizational and Methodological Parameters of the Spare Parts Incoming Inspection System. In: Guda, A. (eds) Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. NN 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, 2023, vol 509. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0_110.
3. Kashkanov A., Moskaliuk M. Uncertainty and its impact on the formation of spare parts inventories to ensuring the efficiency of transport processes. Journal of Mechanical Engineering and Transport, 2024. 10(2), 74-80. <https://doi.org/10.63341/vjmet/2.2024.74>.
4. Антонюк О. П. Покращення процесу забезпечення запасними частинами рухомого складу автотранспортного підприємства: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.22.20. Житомир, 2021. 24 с.
5. Кашканов А.А., Москалюк М.Л. Методи обґрунтування запасів запасних частин у системі управління транспортним процесом. Вісник машинобудування та транспорту, 2024. №1(19), С. 68-74. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2024-19-1-68-74>.
6. Strelnikov V.P., Strelnikov P.V. Defining the nomenclature of the spare parts sets and calculating the number of single sets of spare parts. Mathematical machines and systems, 2022. 2, С. 83-90. <https://doi.org/10.34121/1028-9763-2022-2-83-90>.
7. Субочев О. І., Завалій Т. А., Погорелов М. Г. Удосконалення забезпечення запасними частинами сервісних підприємств. Центральноросійський науковий вісник. Технічні науки. 2019. Вип. 1(32). С. 58-67.

Кашканов Андрій Альбертович, д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

Москалюк Микола Леонідович – аспірант, група 275-23а, Вінницький національний технічний університет, e-mail: 00-23-145.stud@vntu.edu.ua

FLEXIBILITY AND ADAPTABILITY AS TOOLS FOR OPTIMISING THE MANAGEMENT OF SPARE PARTS INVENTORY OF MOTOR TRANSPORT ENTERPRISES

Abstract

The article examines modern approaches to spare parts inventory management in motor transport enterprises under conditions of demand and supply uncertainty. The adaptation of classical inventory management systems, such as fixed-order quantity systems, fixed-interval systems, and the "Minimum-Maximum" system, is proposed with consideration of the specific characteristics of the transportation industry. An analysis is conducted on the influence of factors such as seasonality, the geographic location of suppliers, and market instability on inventory formation. It is demonstrated that optimizing inventories, taking into account safety stock levels and consumption norms, enhances the reliability of spare parts supply, reduces storage costs, and prevents shortages, thereby positively impacting the efficiency of transport operations.

Key words: Inventory management, spare parts, motor transport enterprise, "Minimum-Maximum" system, safety stocks, optimization, transport processes, uncertainty.

Kashkanov Andrii – Dr.Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

Moskaliuk Mykola – PhD student, Vinnytsia National Technical University, e-mail: 00-23-145.stud@vntu.edu.ua

ОСОБЛИВОСТІ ВПОРСКУВАННЯ І ЗГОРЯННЯ СУМІШІ БІОДИЗЕЛЬНОГО ТА ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА В ЦИЛІНДРАХ ДИЗЕЛЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі розглянуто вплив використання біодизельного палива на робочі процеси дизельного двигуна та його еколого-енергетичні показники. Процес впорскування палива має значний вплив на ефективність згорання паливно-повітряної суміші. В залежності від кута випередження впорскування, тиск та температура повітря в циліндрах двигуна при впорскуванні палива змінюються. Зміни фізико-хімічних властивостей суміші палив вимагають адаптації параметрів їх впорскування.

Ключові слова: біодизель, дизель, паливна суміш, кут випередження впорскування.

Вступ

Для підвищення екологічних та техніко-економічних показників дизельних двигунів, доцільно використовувати біодизельне паливо або його суміш з дизельним. При цьому забезпечувати ефективне протікання робочих процесів в циліндрах двигуна, остільки тільки при забезпеченні повного згорання палива можливе покращення показників двигуна. Один з вагомих факторів, який впливає на протікання робочих процесів в циліндрах двигуна є кут випередження впорскування палива.

Результати дослідження

Процес впорскування палива в циліндри двигуна має значний вплив на організацію ефективного згорання паливно-повітряної суміші. В залежності від кута випередження впорскування, тиск та температура повітря в циліндрах двигуна при впорскуванні палива буде змінюватись. При наближенні поршня до верхньої мертвої точки, тиск та температура будуть збільшуватись, що буде полегшувати процес самозаймання паливно-повітряної суміші в камері згорання. На період затримки самозаймання паливно-повітряної суміші впливають властивості палива та кут випередження його впорскування. Зі збільшенням вмісту біодизельного палива в суміші з дизельним паливом має зрости циклова подача та зменшитись період затримки самозаймання паливно-повітряної суміші, відповідно, кут випередження впорскування потрібно зменшувати.

Екологічні та техніко-економічні показники двигуна залежать переважно від того, наскільки повно використовується енергія згорання палива в циліндрах двигуна.

Для займання робочої суміші сприятливі умови створюються під час такту стиснення. В дизелях наприкінці такту стиснення температура сягає 600-700 °С. Завдяки цьому в циліндрах двигуна виникають сприятливі умови для гарантованого займання біодизельного палива.

Згорання паливно-повітряної суміші та розширення продуктів згорання відбувається під час такту згорання та розширення. Тривалість даного такту можна розділити на декілька окремих фаз: період утворення зон горіння (також відомий як період затримки самозаймання); період розповсюдження полум'я по всьому об'єму горіння (період швидкого горіння); власне, сам період горіння (період повільного горіння); завершальним є період розширення робочих газів.

Процес згорання паливно-повітряної суміші залежить від того, як змінюються параметри процесу впорскування палива в камеру згорання циліндрів двигуна, який було переведено на роботу на суміш біодизельного та дизельного палив. За основні параметри оцінки впорскування палива в циліндри дизеля приймаються: момент початку і тривалість впорскування; тонкість

розпилювання і розподіл палива в камері згоряння; момент початку згоряння; циклова подача палива. Основні фізико-хімічні властивості палив, що безпосередньо впливають на процеси впорскування та згоряння – густина, в'язкість та поверхневий натяг палива.

Відомим є той факт, що тривалість горіння залежить від періоду затримки самозаймання, тривалостей впорскування, випаровування і згоряння палива. В свою чергу, це залежить від фізико-хімічних властивостей палива – енергії активації, густини, середнього діаметру крапель, а також від параметрів системи живлення дизеля: кута випередження впорскування, тиску впорскування, циклової подачі, коефіцієнта надлишку повітря, константи випаровування, площі поперечного перерізу та коефіцієнта витрати прохідних перерізів соплових отворів форсунок.

Для забезпечення ефективного протікання робочих процесів в циліндрі двигуна дизеля найлегший вплив на двигун можна здійснити шляхом зміни на кута випередження впорскування. Інші впливи вимагають внесення конструктивних змін системи живлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Research of autonomous generator indicators with the dynamically changing component of a two-fuel mixture Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal 2022;25(2):147–162 – Режим доступу: <https://epj.min-pan.krakow.pl/pdf-150746-76732?filename=Research%20of%20autonomous.pdf> Ihor Kupchuk, Serhii Burlaka, Tetiana Yemchuk, Dmytro Galushchak, Yrii Prysiazhniuk

2. Поляков А.П. Методика визначення показників автомобіля з дизельним двигуном при використанні системи живлення з динамічним регулюванням відсоткового складу суміші палив / А.П. Поляков, О.О. Галушчак, Д.О. Галушчак // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2015. – № 10 (1119). – С. 59-64.

3. Атамась А.І. Підвищення екологічних показників дизельного автомобіля під час використання біодизельного палива / А.І. Атамась, В.Ф. Шапко, С.В. Шапко // Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. – Кременчук, 2012. – №3. – С. 126-130.

Галушчак Олександр Олександрович – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: galushchak.gs@vntu.edu.ua.

Галушчак Дмитро Олександрович – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: galuschak.d@gmail.com

Improving the efficiency of a diesel engine by adjusting the injection advance angle of the mixed fuel

Abstract

The article deals with the impact of biodiesel use on the working processes of a diesel engine and its environmental and energy performance. The fuel injection process has a significant impact on the efficiency of combustion of the fuel-air mixture. Depending on the injection advance angle, the pressure and temperature of the air in the engine cylinders during fuel injection change. Changes in the physicochemical properties of the fuel mixture require adaptation of their injection parameters.

Keywords: *biodiesel, diesel, fuel mixture, injection advance angle.*

Oleksandr Halushchak – Ph.D., associate professor, associate professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: galushchak.gs@vntu.edu.ua.

Dmytro Halushchak – Ph.D., associate professor, associate professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: galuschak.d@gmail.com

ІНЖИНІРИНГ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ І УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ АВТОМОБІЛІВ

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі розглядається дистанційний моніторинг з оцінкою рівня технічного стану автомобіля, який дозволяє реалізувати практично будь-які завдання з діагностування та прогнозування технічного стану автомобіля.

Ключові слова: технічна експлуатація автомобіля, підприємство автомобільного транспорту, інформаційний програмний комплекс, інтелектуальні транспортні системи.

На підставі результатів аналізу сучасного стану автомобільного транспорту (АТ) і її підсистеми – технічної експлуатації автомобілів (ТЕА) виявлено, що основна частина автомобілів в Україні зосереджена в невеликих за розміром і кількістю підприємствах. У зв'язку з цим, існуюча десятиріччя в технічній експлуатації автомобілів (ТЕА), планово-попереджувальна система технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р), яка сформована на базі спрощеної моделі функціонування транспортної інфраструктури - автомобіль в основному працює з прив'язкою до власного підприємства, вже не відповідає вимогам часу. При цьому вся обслуговуюча і ремонтна база зосереджена в рамках конкретного підприємства автомобільного транспорту (ПАТ) і всі види технічних впливів здійснювалися їм самим. У існуючій системі ТО і ремонту негнучкість в частині забезпечення безвідмовної роботи автомобіля на лінії проявляється в одноманітності підходу до автомобілів різного віку: перелік операцій і періодичність ТО ідентичні як для нового автомобіля, так і для автомобіля перед його відновлювальним ремонтом і списанням.

У зв'язку з застосуванням на автомобілях складних високоефективних електронних систем управління, вбудованого бортового діагностування, розвитку супутникових систем навігації і мобільного зв'язку, інших сучасних технологій з'явилася можливість не тільки контролювати географічне положення рухомого складу (РС) і мати зв'язок з диспетчером-механіком ПАТ, але і здійснювати дистанційний моніторинг з оцінкою рівня технічного стану автомобіля, що цілком дозволяє реалізувати практично будь-які завдання з діагностування та прогнозування технічного стану автомобіля. Це в свою чергу дозволяє перейти до адаптивної системи ТО і Р автомобілів, ключовим моментом якої є розробка інформаційно-комунікаційних систем і інформаційних програмних комплексів (ІПК), що забезпечують шляхом моніторингу дистанційне отримання необхідної поточної інформації від РС, її обробку і пропозиції коригувальних впливів з ТО і Р.

Сучасні невеликі ПАТ не мають можливості мати типову структуру і необхідні підрозділи для автомобілів, а також систему супутникового моніторингу РС, яка є спеціалізованим інформаційним програмним комплексом (ІПК) для управління ТЕА.

Для ТЕА у складі віртуального ПАТ приведено прикладу синтезу з інтелектуальними транспортними системами (Intelligent Transport Systems (ITS)), яка є системною інтеграцією сучасних інформаційних і комунікаційних технологій, а також засобів автоматизації з транспортною інфраструктурою, РС і користувачами, і яка орієнтована на підвищення безпеки і ефективності транспортного процесу, комфортності для водіїв і користувачів автомобільного транспорту. РС підприємств, що користуються для прикладу послугами віртуального ПАТ «ХНАДУ-ТЕСА» [1, 2], оснащується навігаційно-зв'язними і телематичними навігаторами-приймачами, які дозволяють цілодобово контролювати навігаційні і технічні параметри РС різних категорій. Весь об'єм навігаційної і технічної інформації, що отримується від РС, за яким ведеться спостереження, поступає на телематичний сервер, зберігається в базі даних і стає

доступним в науково-диспетчерському пункті ХНАДУ, де проходить подальшу обробку за допомогою спеціально розроблених ІПК «Virtual mechanic «HADI - 12»» «Service Fuel Eco «NTU-HADI - 12»», «MonDiaFor «HADI - 15»», ««IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»» і ін. [1, 2]. Далі інформація в «режимі блогу» сайту *khnadu.com*, стає доступна клієнтам - власникам як окремих одиниць, так і парку РС. Для наведених ІПК при оцінки поточного технічного стану автомобіля у складі ITS побудовано математичні моделі, які мають інформаційну складову оцінювання: дорожніх умов експлуатації автомобілів в частині висоти дороги над рівнем моря, повздожнього профілю (рельєфу місцевості), типу і стану дорожнього покриття; ремонту, будівництва і обслуговування об'єктів дорожньої інфраструктури; їх моніторинг; прогнозування можливих аварійних ситуацій, транспортних умов в частині насиченості і інтенсивності руху транспортних засобів, особливостей вантажу, режиму і швидкості руху; атмосферно-кліматичних умов, культури експлуатації автомобілів тощо. В результаті проведених експериментальних досліджень перевірена пропонується структура і взаємозв'язок функціональних можливостей бортового інформаційного комплексу (БІНК) для отримання інформації про умови експлуатації автомобіля. В основу системної взаємодії якого покладені наступні основні функції: забезпечення визначення положення і моніторингу параметрів технічного стану автомобіля, вирішення задачі допомоги водієві автомобіля в процесі його експлуатації, забезпечення транспортної безпеки автомобіля тощо. Результатом процесів моніторингу робочих процесів автомобілів в умовах експлуатації було визначення фактичних параметрів технічного стану самого автомобіля, корегування умов його експлуатації, а також точного визначення місця розташування і точного часу за параметрами, прийнятими від навігаційних супутникових систем, що виконується GPS приймачем, та обміну цією інформацією з робочим місцем моніторингу автомобілів і іншими учасниками моніторингу робочих процесів автомобілів. З участю БІНК виконано формування алгоритмів ідентифікації, моніторингу та діагностування з можливістю прогнозування параметрів технічного стану автомобілів. Застосування розроблених алгоритмів дозволяє автоматизувати процес моніторингу параметрів технічного стану автомобілів в межах розробленого ІПК «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»» засобами ITS.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Volkov, V., Gritsuk, I., Taran, I., Volkova, T., Kuzhel, V., Semenov, A., Voznyak, O. (2024). Information Systems for Vehicles Technical Condition Monitoring. In: Semenov, A., Yepifanova, I., Kajanová, J. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 195. Pages 61-96. ISSN 2367-4512. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54012-7_4. (Collective monograph indexed in Scopus).
2. Volkov, V., Kuzhel, V., Volkova, T. (2025). Determination of the Environmental Component Life Cycle of a Vehicle. In: Slavinska, O., Danchuk, V., Kunytska, O., Hulchak, O. (eds) Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety, Quality, Comfort. ITSESQC 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1335. P. 320-331. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87376-8_28. Published 31 March 2025 (Scopus).

Волков Володимир Петрович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, e-mail: volf-949@ukr.net

Кузель Володимир Петрович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: kuzhel2017@gmail.com, kuzhel_v@vntu.edu.ua

Волкова Тетяна Вікторівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій, e-mail: wolf949@ukr.net

ENGINEERING OF CONTROL AND MANAGEMENT SYSTEMS OF VEHICLES TECHNICAL CONDITION

Анотація.

The paper considers remote monitoring with an assessment of the level of technical condition of a vehicle, which allows implementing almost any tasks for diagnosing and predicting the technical condition of a vehicle.

Ключові слова: technical operation of a vehicle, road transport enterprise, information software complex, intelligent transport systems.

Volkov Volodymyr – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Technical Operation and Service of Automobiles, e-mail: volf-949@ukr.net

Kuzhel Volodymyr – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: kuzhel2017@gmail.com, kuzhel_v@vntu.edu.ua

Volkova Tetiana – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Transport Technologies, e-mail: wolf949@ukr.net

ЗАСТОСУВАННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗКЛАДУ РОБОТИ ВОДІЇВ

Львівський національний університет зооветеринарної медицини та біотехнологій
ім.С.З.Гжицького (північний кампус)¹
Національний транспортний університет²

Анотація.

Для вирішення проблеми дефіциту водіїв на вантажних автомобільних перевезеннях пропонується двохрівневий контроль. На першому рівні складають оптимальний розклад роботи водіїв за критерієм максимальної продуктивності їх праці. На другому рівні оновлюють додаткові дані на основі GPS технології в режимі групового моніторингу транспортних засобів і коректують розклад.

Ключові слова: розклад роботи водіїв, випадкові фактори, GPS-трекер, випадкові процеси

Сучасний стан організації автомобільних вантажних перевезень є ускладненим через брак водіїв, які мають виконувати правила 561/2006, з одного боку, й велику сукупність транспортних завдань, яка щороку зростає, – з іншого. Для підвищення продуктивності праці водіїв застосовують змінний метод їх роботи, який вимагає високого рівня організації гурту транспортних засобів. Застосування змінного методу є ускладнене й тим, що операції транспортного процесу мають стохастичний характер, тобто їх тривалість є випадковою величиною. Процес перевезення супроводжують також й інші випадкові чинники, як от: відмови транспортних засобів, аварійні ситуації, черги тощо. Це означає, що попередньо складений за середніми величинами оптимальний розклад роботи водіїв може не бути реалізованим. Метою наших досліджень було удосконалити методику розв'язання і контролю модифікованої комплексної задачі складання розкладів використання автомобілів, та роботи водіїв (DRSP), в якій передбачено змінний метод керування водіїв вантажівками на міжміських маршрутах із застосуванням різних варіантів розкладів згідно з Європейською угодою про роботу екіпажів транспортних засобів (ЄУТР). Надійність оптимального розкладу має бути максимальною. Для досягнення даної мети сформульовано і вирішено такі завдання контролю. 1.Розробити методику маршрутизації групи автомобілів. 2.Розробити методику оптимізації активного розкладу роботи вантажівок. 3.Використовуючи засоби збору додаткової інформації, здійснити прогнозування умов реалізації оптимального розкладу. 4.Розробити заходи оперативної модифікації розкладу при умові, що показники зайнятості водіїв будуть в межах допустимих відхилень від оптимального рівня.

Ми пропонуємо підхід до дистанційного моніторингу й управління виконанням розкладу, заснований на дворівневій ієрархічній архітектурі. На верхньому рівні реалізується алгоритм планування процесу на основі попередньо зібраних квазі-детермінованих даних (середніх величин тривалостей, швидкостей вантажівок і затримок в транспортних пунктах). Зміст основної задачі контролю парку автомобілів і бригади водіїв полягає у тому, щоб розробити сукупність маршрутів для виконання усіх заданих перевезень, використовуючи наявні вантажівки, а також розробити активний розклад їх роботи. Враховуючи, що застосовується змінний метод роботи, потрібно також знати розклад роботи для кожного з водіїв, які задіяні в процесі виконання відомих замовлень на перевезення, складений за критерієм максимальної продуктивності. Такий розклад відрізняється від оптимального за швидкістю значно більшою тривалістю виконання усього проекту, є далеко не щільним, має резерв часу для його перебудови, однак цілком забезпечує можливість залучення мінімальної кількості водіїв. Для відображення процесу виконання сукупності замовлень на транспортній мережі застосовано методологію впорядкування змішаних графів [1]. В задачі потрібно побудувати розклад виконання J замовлень на перевезення парком з M_k вантажівок k типів, тобто для кожної поїздки $n_{i,j}$, між пунктами $g_i, g_j \in G_1$ вказати момент її найбільш раннього початку t_i^b , або момент найбільш пізнього закінчення t_j^e , а також номер вантажівки M_k , яка цю поїздку повинна виконати. Також потрібно вказати місце, тривалість і причину зупинки транспортного засобу (навантаження, розвантаження, відпочинок водія). Оптимальним вважається розклад для якого виконується критерій максимальної продуктивності водіїв, з врахуванням обмежень на тривалість їх роботи і відпочинку. Запропонований алгоритм базується на методі «гілок і меж» [2]. Для цього відомий алгоритм побудови оптимального розкладу адаптовано до умов поставленої нами задачі.

На нижньому рівні контролю процесу у цих дослідженнях ми пропонуємо застосувати засіб збору додаткової інформації для підвищення рівня визначеності – глобальну систему позиціонування (GPS) з

можливістю передачі даних через GPRS (технологія передачі даних через мобільну мережу GSM), яка дозволяє використовувати незайняті голосовим зв'язком частоти для передачі інформації. GPRS використовує пакетну передачу даних, що дає змогу досягати швидкостей до 171,2 Кбіт/с. GPS трекери при цьому виконуватимуть нові функції. Ці трекери (можуть бути смартфони з встановленим додатком, наприклад, SENT GEO [3], який служить для моніторингу маршруту перевезення товару), крім відстеження поточних координат і швидкості, нагромадження історії руху та простою, збирають інформацію в режимі моніторингу про проходження своїх маршрутів й іншими транспортними засобами робочої групи автомобілів, або, за згодою – іншими автомобілями сторонніх власників. При цьому вибираються лише ті дані, які стосуються спільного перетину окремих маршрутів. Таким чином, обсяг необхідної додаткової інформації для коригування розкладу є мінімальним. Прогнозування виконується на основі співставлення фактичних значень швидкостей і тривалостей з прийнятими попередньо середніми, з врахуванням змінених транспортних умов. Якщо прогноз вхідних даних відрізняється від фактично прийнятого, то проводять дослідження стійкості оптимального розкладу з врахуванням таких резервів: а) різницею моментів t_i^b і t_j^e , тобто резервом часу виконання поїздок; б) зміною режиму роботи і відпочинку водіїв (одичина поїздка – поїздка турне, зміна 9-годинного на 12-годинний режим); в) застосування інших транспортних пунктів для зміни водіїв; г) використання резервних автомобілів. Такі рішення приймаються оперативно. Було виявлено, що ймовірність зберегти оптимальну маршрутизацію і розклад водіїв зростає при збільшенні кількості задіяних на виконанні J замовлень автомобілів при застосуванні заходів (а)-(г).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sotskov Y., Gholami O. Mixed graph model and algorithms for parallel-machine job-shop scheduling problems. *International Journal of Production Research*. 2017. Vol. 55. Issue 6.
2. Oliskevych M. Optimization of periodic unitary online schedule of transport tasks of highway road trains. *Transport problems*. 2018. Vol 13. Issue 1. P. 111-122.
3. SENT – międzynarodowe przewozy drogowe i przewozy kabotażowe URL: <https://puesc.gov.pl/aktualnosci>

Оліскевич Мирослав Стефанович, доктор технічних наук, професор кафедри автомобілів і тракторів Львівського національного університету зооветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З.Гжицького, м.Львів, oliskevychm@gmail.com

Хомин Назар Ярославович, аспірант Національного транспортного університету, м.Київ, nazar.khomyn0037@gmail.com

THE APPLICATION OF REMOTE CONTROL DEVICES FOR OPTIMIZING THE WORK SCHEDULE OF DRIVERS

Abstract.

To solve the problem of driver shortage in trucking, a two-level control is proposed. At the first level, the optimal work schedule of drivers is drawn up based on the criterion of their maximum productivity. At the second level, tax data is updated based on GPS technology in the mode of group monitoring of vehicles and the schedule is adjusted.

Keywords: drivers' work schedule, random factors, GPS tracker, random processes

Oliskevych Myroslav Stefanovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automobiles and Tractors, Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky, Lviv, oliskevychm@gmail.com

Khomyn Nazar Yaroslavovych, Postgraduate Student, National Transport University, Kyiv, nazar.khomyn0037@gmail.com

СТВОРЕННЯ СУЧАСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВАГОНІВ-ЗЕРНОВОЗІВ

Український державний університет науки і технологій

Анотація

Розвиток технічних засобів залізничного транспорту нерозривно пов'язаний з розвитком економіки та із попитом на послуги з перевезення вантажів. Останні роки існує стабільна тенденція до збільшення попиту на перевезення зерна та зернових вантажів залізничним транспортом, хоча конкуренція з боку автомобільного транспорту залишається. Переваги залізничних перевезень зернових вантажів безперечні і це не тільки можливість перевезення значних обсягів вантажів за короткий період часу, а й екологічність та енергозбереження. Удосконалення існуючих конструкцій вантажних вагонів та створення нових конструкцій вагонів відбувається, як відомо, з урахуванням передових технічних рішень та технологій машинобудування. Тому, зусилля конструкторів та дослідників направлено на створення сучасних конструкцій вагонів-зерновозів, що підтверджує актуальність даного напрямку досліджень. В роботі наведено авторські технічні рішення із створення сучасних конструкцій вагонів для перевезення зерна, проведено патентні дослідження та реєстрація власних патентів на розроблені інноваційні конструкції вагонів-зерновозів. Результати роботи пропонується автором до використання на машинобудівних підприємствах.

Ключові слова: залізничний транспорт, транспортне машинобудування, конструкція, вагон-зерновоз, технічні рішення.

Розвиток технічних засобів залізничного транспорту нерозривно пов'язаний з розвитком національної економіки та із кон'юнктурою на попит з послуг на перевезення вантажів, як у внутрішньому, так і у міждержавному сполученні. Останні роки склалася стабільна тенденція до збільшення попиту на перевезення зерна та зернових вантажів залізничним транспортом, хоча конкуренція з боку автомобільного транспорту залишається. І це не тільки перевезення до морських або річних портів для перевалки зерна на судна, а й перевезення через кордон у напрямку Європейського Союзу, знов-таки, через «сухі порти» та термінали для перевалки зерна з вагонів колії 1520 мм на вагони європейської колії 1435 мм або для перестановки вагонів на візки з колісними парами європейського стандарту ширини колії.

Переваги залізничних перевезень зернових вантажів безперечні і це не тільки можливість перевезення значних обсягів вантажів за короткий період часу, що потрібно для вчасного завантаження суден в портах, а й його висока екологічність у порівнянні з великоваговими автомобілями та енергозбереження завдяки електрифікованим ділянкам залізниць. Удосконалення існуючих конструкцій вантажних вагонів та створення нових конструкцій вагонів відбувається, як відомо, з урахуванням передових технічних рішень та технологій машинобудування. У зв'язку з цим, зусилля конструкторів на машинобудівних підприємствах та дослідників з наукових установ направлено на створення сучасних конструкцій вагонів-зерновозів, що підтверджує актуальність даного напрямку досліджень [1-7]. Актуальність застосування сучасних технічних рішень при створенні нових конструкцій вагонів-зерновозів обумовлюється також і економічними факторами, тому що інноваційні конструкції вагонів мають бути менш затратними при експлуатації та ремонті.

Перед виконанням основних дослідно-конструкторських робіт автором було проведено патентні дослідження та аналіз науково-технічної літератури за напрямком досліджень. Виявлено більше 50 технічних рішень, що пов'язані із створенням конструкцій вагонів-зерновозів та їх складових частин та підготовлено відповідний патентний формуляр, що є складовою частиною повного комплексу конструкторської документації на нову конструкцію вагону-зерновозу. Автором визначено більше 70 джерел науково-технічної літератури щодо досліджень з удосконалення існуючих та створення нових конструкцій вагонів-зерновозів.

Основні дослідницькі та науково-дослідні роботи із створення сучасних конструкцій вагонів-зерновозів проводилися за участю автора у якості виконавця на кафедрі вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту (м. Харків) та на кафедрі вагонів Українського державного університету науки і технологій (м. Дніпро). Авторським колективом підготовлено цілу серію наукових публікацій та патентів на винаходи, що відображають основні результати проведених досліджень [1-7].

Під час проведення досліджень розроблено оригінальні конструкторські рішення із створення сучасних конструкцій вагонів-зерновозів [4-7], запропоновано удосконалення конструкції ходових частин вагонів [3] та виконано математичне моделювання динаміки вагонів за допомогою створеного автором оригінального програмного комплексу для виконання теоретичних досліджень просторових коливань рейкових екіпажів [2].

До основних конструктивних особливостей запропонованих конструкцій вагонів-зерновозів відносяться оригінальні технічні рішення з конструктивного виконання кузова вагону, механізму розвантаження, завантажувальних та розвантажувальних люків, а також технологічного виконання основних несівних елементів конструкції бокових стінок та даху кузова вагону. Застосування високоміцних сталей при виготовленні конструктивних елементів вагону-зерновозу дозволяє досягти зменшення маси тари вагону майже на 10 %, що значно покращує техніко-економічні характеристики, в тому числі сприяє збільшенню вантажопідйомності вагону. Інноваційні матеріали, що використовуються в конструкції кузова вагону, потребують й удосконалення технології зварювання та механічної обробки через збільшенні міцносні властивості. Опрацювання режимів електрозварювання та підбір зварювальних матеріалів також є складовими єдиного технологічного процесу виготовлення сучасного вагону-зерновозу і виконано за участі автора в загальному комплексі дослідно-конструкторських робіт.

В результаті виконання досліджень за актуальною темою для транспортного машинобудування та залізничного транспорту розроблено авторські технічні рішення із створення сучасних конструкцій вагонів для перевезення зерна, проведено патентні дослідження та здійснено реєстрацію власних патентів на розроблені інноваційні конструкції вагонів-зерновозів. Результати роботи пропонується автором до використання на підприємствах транспортного машинобудування та на підприємствах залізничного транспорту, а також при викладанні навчальних дисциплін з конструкції рухомого складу залізниць у закладах вищої освіти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мямлін С.С. Створення сучасних конструкцій вантажних вагонів для трансєвропейських перевезень. 2-а міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивні технології засобів транспорту», Харків, 05 — 06 грудня 2024 р. Харків: УкрДУЗТ, 2024. — С. 72-74.
2. Математичне моделювання просторових коливань рухомого складу залізниць. Міжнародна науково-технічна конференція Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні 2024/4/24. С.320-323. DOI: <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2024.01.060>
3. Панченко С. В., Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Равлюк В. Г. Мямлін С.С. Модернізована гальмова важільна передача візка – шлях до забезпечення руху вантажних поїздів. Залізничний транспорт України. - 2024. - № 4. - С. 10-26.
4. Вагон-хопер для перевезень зерна. Патент на корисну модель. Панченко С. В., Ловська А. О., Мямлін С.С., Рибін А. В., Павлюченков М.В. Пат. Україна, UA № 156818, МПК B61D 9/00. № заявки и 2024 00396 заявл. 24.01.2024; опубл. 07.08.2024, Бюл.№ 32.
5. Критий вагон-хопер для перевезень зерна. Патент на корисну модель. Панченко С. В., Ловська А. О., Мямлін С.С., Рибін А. В., Павлюченков М.В. Пат. Україна, UA № 156985, МПК B61D 7/00. B61D 7/02 B61D 3/16.B61D 17/00. № заявки и 2024 00397 заявл. 24.01.2024; опубл. 28.08.2024, Бюл.№ 35.
6. Вагон-хопер для перевезень зерна. Патент на корисну модель. Панченко С. В., Ловська А. О., Мямлін С.С., Рибін А. В., Павлюченков М.В. Пат. Україна, UA № 156984, МПК

B61D 7/00 B61D 7/02 B61D 17/00. № заявки у 2024 00395 заявл. 24.01.2024; опубл. 28.08.2024, Бюл.№ 35

7. Вагон-хопер для перевезень зерна з гофробалками в несучій конструкції. Патент на корисну модель. Панченко С. В., Ловська А. О., Мямлін С.С., Рибін А. В., Павлюченков М.В. Пат. Україна, UA № 156986, МПК B61D 7/00 B61D 17/00. № заявки у 2024 00399 заявл. 24.01.2024; опубл. 28.08.2024, Бюл.№ 35.

Мямлін Сергій Сергійович, к.т.н., докторант, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, sergeymyamin91@gmail.com

CREATION OF MODERN DESIGNS OF GRAIN HOPPER CARS

Abstract

The development of technical means of railway transport is inextricably linked with economic growth and the demand for freight transportation services. In recent years, there has been a stable trend toward increasing demand for the transportation of grain and grain cargo by rail, despite continuing competition from road transport. The advantages of rail transportation of grain cargo are undeniable; they include not only the ability to transport large volumes of cargo in a short time but also environmental friendliness and energy efficiency. The improvement of existing freight car designs and the creation of new ones are, as is well known, carried out with consideration of advanced engineering solutions and manufacturing technologies. Therefore, the efforts of designers and researchers are focused on the development of modern grain hopper car designs, confirming the relevance of this research direction. The paper presents the author's technical solutions for creating modern grain car designs, patent research, and the registration of proprietary patents for innovative grain hopper car structures. The author proposes the results of this work for implementation at engineering and manufacturing enterprises.

Keywords: railway transport, transport engineering, design, grain hopper car, technical solutions.

Serhii Miamlin, PhD in Technical Sciences, Doctoral Candidate, Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, sergeymyamin91@gmail.com

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРА ПАЛЬЦЯ ГУСЕНИЧНОГО ШАРНІРА В РЕЖИМІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

¹Національний університет водного господарства та природокористування

Анотація

В матеріалах роботи приділено увагу експлуатаційним особливостям елементів ходової частини гусеничної техніки, а саме гусеничного шарніра. Показано інтенсивність зношування пальців шарнірів гусеничної техніки на різних ґрунтах: супісок, суглинок, чорнозем.

Ключові слова: трак, палець, гусеничний шарнір, тертя, зносостійкість.

При проектуванні автомобільних транспортних засобів, машин і механізмів на гусеничному ході задля забезпечення високої мобільності і водночас низьких затрат енергії під час руху, а також тривалої безвідмовної роботоздатності елементів такої ходової частини необхідно враховувати комплекс вимог щодо експлуатації гусеничних шарнірів [1].

На сьогодні ходова частина гусеничного компонування має безальтернативні переваги над колісними прототипами, коли ставиться вимога дотримання всюдихідності та забезпечення усталеного руху з врахуванням складних дорожніх, транспортних та кліматичних умов [2].

Вдосконаленість гусеничного шарніра визначається як зносостійкістю так і втратами потужності в ньому, що обумовлюється швидкістю відносного складування траків силами, які розтягують шарнір і сумарним коефіцієнтом тертя в системі «трак-палець-трак». Тому актуальним науковим завданням є розробка системи перевірочних розрахунків задля відповідного вибору конструкційних особливостей гусеничного шарніра з метою підвищення довговічності і зниження втрат на тертя в ньому. Для цього необхідно знати особливості роботи і переваги тої чи іншої його конструкції.

За характером роботи шарніри гусениць поділяються на відкриті і закриті (тобто захищені), які в свою чергу діляться на відкриті з опущеними, відносно опорної поверхні, шарнірами і відкриті або закриті припідняті, відносно опорної поверхні [3].

Особливістю роботи відкритого гусеничного шарніра є те, що тертя кочення з'являється тільки на самому початку повороту одного трака відносно іншого, а потім вони швидко переходять в змішане тертя кочення і ковзання, яке може сприяти повороту траків на деякий кут. Змішане тертя в свою чергу переходить в тертя повного ковзання.

Продуктивність змішаного тертя залежить від величини зазору між пальцем і провушинами, від способу закріплення пальця, кількості і якості частинок ґрунту, що потрапили в шарнір, ступені зношування шарніра і інших факторів. Однак, вплив цього тертя на зношування шарніра набагато менший, ніж тертя повного ковзання, яке являється основним видом тертя відкритого шарніра гусениць.

Отже, тертя супроводжується зносом, тобто процесом поступового руйнування тертьових поверхонь під впливом механічних і хімічних процесів, що в свою чергу призводить до втрати задовільної роботи гусеничного обводу і міцності шарнірних з'єднань.

Як показали дослідження, інтенсивність зношування пальців шарнірів гусеничної техніки перевищує інтенсивність зношування провущин, тому в реальних умовах експлуатації доводиться змінювати пальці два-чотири рази.

Отриманий вираз дозволяє на стадії проектування визначити початковий діаметр d_{no} , з урахуванням інтенсивності зношування системи «трак-палець-трак»:

$$d_{no} = \sqrt[3]{\frac{M_{32}}{0,1 \cdot [\sigma_{32}]}} + \frac{K \cdot l_0}{2 \cdot (1+m)}$$

де M_{32} – згинаючий момент пальця, Нм; $[\sigma_{32}]$ – границя міцності згинання пальця шарніра, Н/м²; K – коефіцієнт допустимого видовження кроку гусениці; l_0 – початкове видовження кроку гусениці, м; t – відношення зношування провущин і пальців; d_1 – діаметр зношеного пальця, м.

Виходячи з умов міцності шарнірного з'єднання і залежності моменту згину пальця від кількості провущин для, шляхом перебудови, була отримана залежність діаметра зношеного пальця d від кількості провущин n , яка наведена на рисунку.

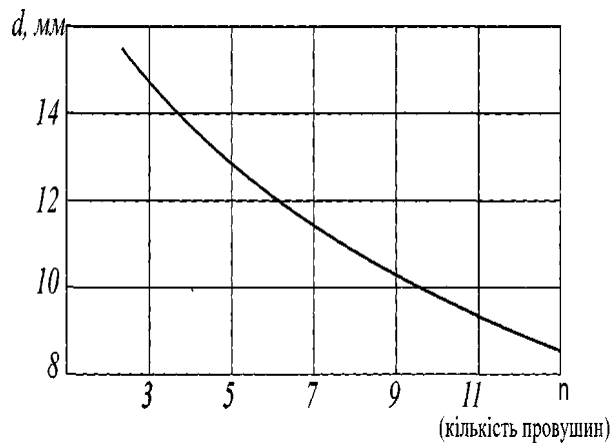


Рис. Залежність діаметра пальця від кількості провущин для $l_0 = 0,39$ м

Значення діаметра зношеного пальця являються граничними, виходячи з умови забезпечення задовільної роботи зачеплення гусениці з ведучим колесом трактора і міцності пальця.

Найбільша інтенсивність зношування пальця і провущин буде на супісочному ґрунті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кубіч В.І. Ходова частина гусеничних машин. Навчальний посібник. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. 247 с.
2. Зінко Р.В. Напрями підвищення ефективності роботи гусеничних рушіїв. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. 2012. № 2. С. 99-104.
3. Колодійчук С.А. Підвищення роботи гусеничного рушія сільськогосподарських тракторів. Дисертація кандидата технічних наук. К.:НТУ, 2007. 236 с.

Марчук Роман Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, e-mail: r.m.marchuk@nuwm.edu.ua

Марчук Назар Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, e-mail: n.m.marchuk@nuwm.edu.ua

TO DETERMINE THE DIAMETER OF THE TRACK JOINT PIN IN OPERATING MODE

Abstract

The materials of work paid attention to the operational characteristics of the elements of tracked vehicles running part, namely the track joint. The intensity of joint pin deterioration of tracked vehicles on different soils is shown: sandy loam, loam, black soil.

Key words: track, pin, track joint, friction, durability.

Marchuk Roman - Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Automobile and automotive industry, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: r.m.marchuk@nuwm.edu.ua

Marchuk Nazar - Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Automobile and automotive industry, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: n.m.marchuk@nuwm.edu.ua

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПОЇЗДКИ НА ВИБІР СПОСОБУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МІСЬКОЮ ТЕРИТОРІЄЮ

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація

Розподіл переміщень міською територією за видами є визначальним чинником сталості міської транспортної системи. Тривалість переміщення є одним з базових критеріїв вибору способу руху. Проте суб'єктивне сприйняття користувачами транспортної системи переваг та недоліків наявних альтернатив переміщень має статистично значущий вплив та потребує подальшого вивчення.

Ключові слова: спосіб переміщення, критерії вибору, час переміщення, комфортність переміщення

У сучасних містах питання вибору способу переміщення є одним з ключових у сфері транспортного планування та міської мобільності. Стрімке зростання населення, урбанізація, розширення міських агломерацій, а також зміни у стилі життя міських жителів зумовлюють необхідність детального аналізу транспортної поведінки населення.

На вибір користувачами транспортної системи способу свого переміщення впливають різні чинники, сукупність яких визначає корисність тієї чи іншої альтернативи. До основних враховуваних під час наукових досліджень показників можна віднести час, відстань, вартість та комфорт переміщення [1, 2], вторинні переваги під час переміщення (фізична активність, можливість почитати в дорозі тощо) [3], ставлення до подорожі загалом та певного виду переміщення зокрема [4].

Результати дослідження ґрунтуються на результатах опитування, проведеного у м. Львові в жовтні 2022 року. Спершу проаналізовано частоту вибору користувачами певного способу переміщення (між чотирма запропонованими альтернативами) залежно від тривалості поїздки (рис. 1). Зі зростанням тривалості переміщення зростає ймовірність вибору громадського транспорту для міської поїздки. При чому це зростання відбувається в основному за рахунок зменшення частки піших переміщень. Частота вибору респондентами власного автомобіля залишається достатньо стабільною незалежно від тривалості поїздки.

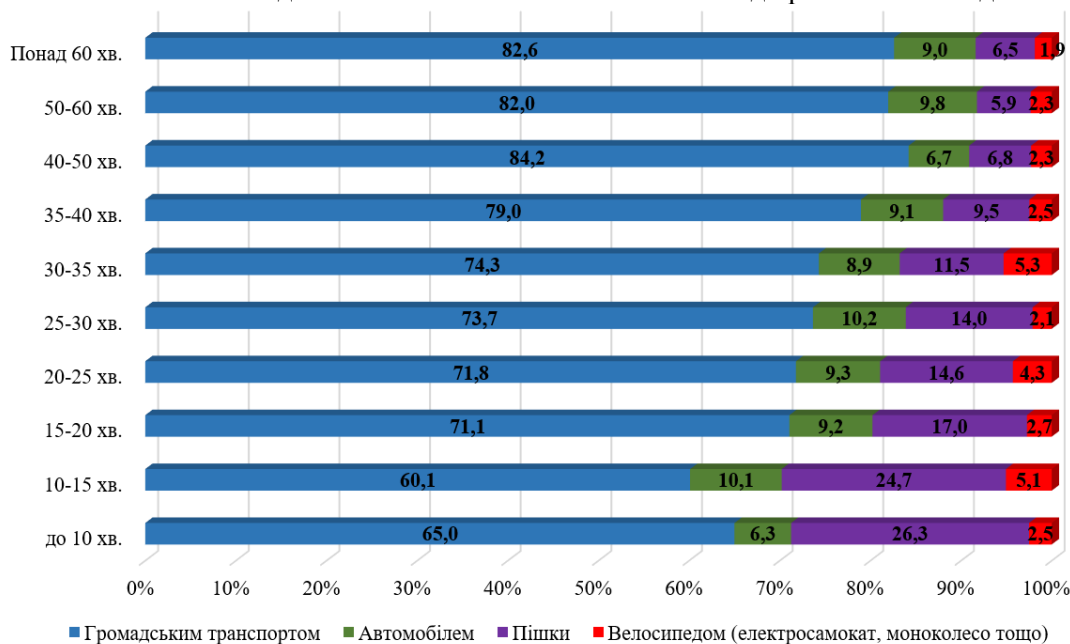


Рис. 1. Зміна частоти вибору певного виду переміщення залежно від тривалості переміщення

Респонденти також оцінювали комфортність громадського транспорту за 5-тибальною шкалою Лейкарта, де 1 бал означав оцінку «дуже погано», а 5 балів – «дуже добре».

Співвідношення між оціночним сприйняттям комфортності громадського транспорту та вибором способу переміщення подано на рис. 2.

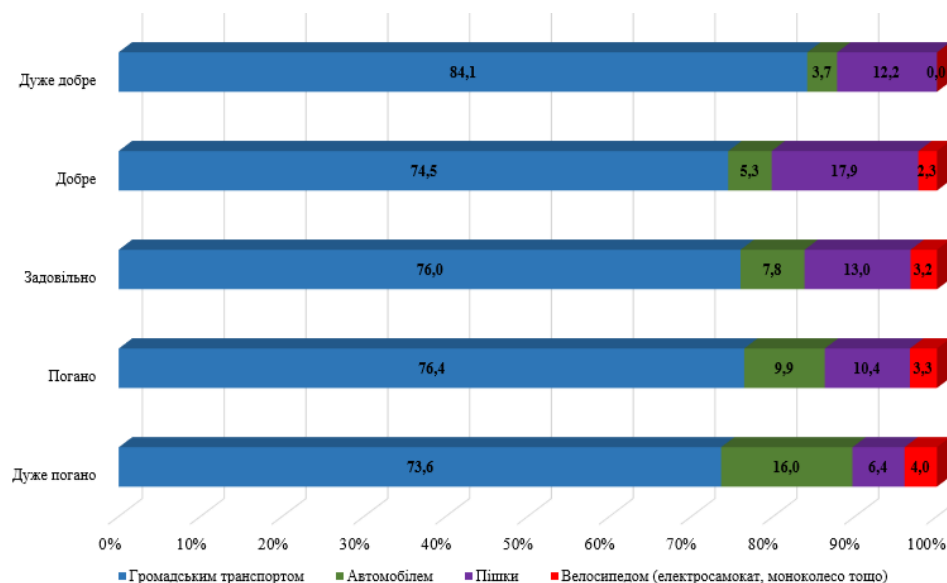


Рис. 2. Зміна частоти вибору певного виду переміщення залежно від оцінки комфортності громадського транспорту

За діаграмою найчіткіше простежується залежність між оцінкою комфортності громадського транспорту та частотою вибору приватного автомобіля як способу переміщення: серед респондентів, які оцінили громадський транспорт на «дуже добре» ймовірність вибору приватного авто становить 0,037, зі зниженням оцінки вона зростає і серед користувачів, які оцінили громадський транспорт на «дуже погано» сягає 0,16. Загалом негативне сприйняття комфортності громадського транспорту спонукає обирати альтернативні способи переміщень, хоча частка мікромобільності все ще досить мала.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Le, H. T., Buehler, R., Fan, Y., & Hankey, S. (2020). Expanding the positive utility of travel through weeklong tracking: Within-person and multi-environment variability of ideal travel time. *Journal of Transport Geography*, 84, 102679. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102679>
2. Chen, L., Zhao, Y., Liu, Z., & Yang, X. (2022). Construction of commuters' multi-mode choice model based on public transport operation data. *Sustainability*, 14(22), 15455. <https://doi.org/10.3390/su142215455>
3. Hook, H., De Vos, J., Van Acker, V., & Witlox, F. (2023). A comparative analysis of determinants, characteristics, and experiences of four daily trip types. *Travel behaviour and society*, 30, 335-343. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2022.10.013>
4. De Vos, J., Singleton, P. A., & Gärling, T. (2022). From attitude to satisfaction: introducing the travel mode choice cycle. *Transport Reviews*, 42(2), 204-221. <https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1958952>

Сулов Владислав Вадимович, аспірант кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка», Львів, vladyslav.v.suslov@lpnu.ua

Impact of trip parameters on transportation mode choice in urban areas

Abstract

The distribution of trips within the urban area by mode is a key factor in the sustainability of the urban transport system. Travel time is one of the fundamental criteria for choosing a mode of transportation. However, users' subjective perception of the advantages and disadvantages of available travel alternatives has a statistically significant impact and requires further investigation.

Keywords: trip mode, mode choice criteria, travel time, travel comfort

Vladyslav Suslov, PhD student of the Department of Transport Technologies in Lviv Polytechnic National University, Lviv, vladyslav.v.suslov@lpnu.ua

V V. Rudzinskyi, DSc(Engineering), Prof.,
S. V. Melnychuk, Ph.D.,
V.O. Lomakin, Ph.D.,

MAIN SPREADING LIMITATIONS OF BATTERY-ELECTRIC VEHICLES

Zhytomyr Agricultural Technical Professional College

Abstract

This paper analyzes the key limitations of battery-electric vehicles (BEVs) across both passenger (light-duty) and commercial (heavy-duty) categories. It examines scientific and practical challenges including limited driving range, high battery weight, charging infrastructure inadequacies, critical material supply, and efficiency losses.

Keywords: battery-electric vehicle (BEV); range; battery weight; heavy-duty electric truck; energy density.

Introduction Battery-electric vehicles (BEVs) have made significant inroads in both personal transportation and freight applications. However, they still face notable limitations that impact their performance and adoption in light-duty (passenger cars) and heavy-duty (buses and trucks) contexts [1]. These limitations include restricted driving range, substantial battery weight, long charging times, supply constraints for battery materials, and various efficiency losses.

One fundamental challenge is the trade-off between battery size (energy capacity) and vehicle weight. Batteries are heavy, so increasing a BEV's range by adding more battery capacity yields diminishing returns in range gained per added weight[2]. In other words, oversizing the battery beyond a certain point can actually reduce overall efficiency and practicality[3]. For instance, analyses indicate that roughly 100 kg of battery can provide on the order of 150 km of range for a typical car [4], but that 100 kg also increases the vehicle's mass and energy consumption. Smaller, lighter BEVs can achieve much lower energy consumption per km than larger ones.

In the heavy-duty sector, battery weight becomes an even more critical issue. A battery electric truck requires a very large battery to achieve long-haul range, which can weigh several tonnes. This added mass directly reduces the payload capacity and efficiency of the truck. Regulators have even raised legal weight limits (for example, an extra 2,000 lb allowance in the US) to accommodate electric trucks, yet an electric semi-truck still sacrifices around 5,000 lb of cargo capacity compared to a diesel truck due to the battery's weight [5]. Real-world tests confirm that BEVs lose more range from added weight than conventional vehicles: a Ford F-150 Lightning electric pickup lost about 24.5% of its driving range when carrying a 1,400 lb payload (dropping from 278 mi to 210 mi), whereas a comparable gasoline truck would be estimated to lose roughly 14% under the same load [6].

Another major limitation is the recharging time and infrastructure for BEVs. Fast charging stations are not yet as ubiquitous as gas stations, especially for heavy-duty vehicles on long routes. A long-haul electric truck today typically has a range of only ~150–330 miles and can take up to 8–10 hours to fully recharge with current technology [7], significantly longer downtime than refueling a diesel truck. Even

light-duty BEVs can require 30 minutes or more to fast-charge to 80% capacity, which is much slower than fueling with liquid fuels.

Although electric drivetrains are far more energy-efficient than internal combustion engines (~85–90% of electrical energy is converted to motion, versus only ~20% for ICEs) [8], there are still efficiency losses in batteries (charging/discharging heat losses), motors, and power electronics. Heavier vehicles not only require more energy to accelerate, but also incur higher rolling resistance. For a vehicle of mass m moving at velocity v , the energy usage per kilometer can be estimated as:

$$E = mgCr + 0.5\rho CdAv^2$$

where g is gravitational acceleration, Cr is the rolling resistance coefficient, ρ is air density, Cd is aerodynamic drag coefficient, and A is frontal area.

Modern lithium-ion batteries rely on critical minerals such as lithium, cobalt, and nickel. The rapid growth in EV production has caused a surge in demand for these materials – for example, about 60% of global lithium production is now used for EV batteries [9]. Supply struggles to keep up, creating potential bottlenecks and price increases. External factors like geopolitical events can exacerbate this issue: for instance, battery metal prices spiked by roughly 50% after the start of the Russia–Ukraine war in 2022 [10]. Despite the current limitations, ongoing research is making progress toward solving many BEV challenges. Battery technology is advancing: manufacturers are increasing energy density (Wh/kg) and specific energy of cells to reduce weight for a given range. For example, prototype semi-solid-state lithium batteries have achieved energy densities around 350–360 Wh/kg [11] (about 20% higher than the best current Li-ion cells), which could significantly lighten battery packs or extend range without added weight. Fast-charging capabilities are also improving; new high-power charging systems can recharge batteries much faster. As an illustration, a 500-mile range electric semi-truck can charge about 70% of its battery in 30 minutes using a megawatt-scale charger [12]. In the longer term, alternative solutions such as fuel-cell electric vehicles (which use hydrogen fuel) are also being considered to circumvent some of the weight and charging limitations of batteries.

In summary, while battery-electric vehicles offer a viable zero-emission alternative for both cars and trucks, they still face important limitations in terms of range, weight, charging, and resource requirements. Light-duty BEVs must balance battery size with vehicle efficiency, and heavy-duty BEVs confront especially acute weight and infrastructure challenges in freight operations. So now we still have no robust solution and furthermore using ICE is necessary without clear alternative.

REFERENCES

1. V.V. Zinchenko, “Doslidzhennya kharakterystyk elektrychnykh avtomobiliv” (Study of the characteristics of electric vehicles), Kharkiv, 2019 (in Ukrainian).
2. V.Ye. Olishevskaya and H.S. Olishevskiy, “Obgruntovannya ratsional’noho rukhomoho skladu pidpryemstva v umovakh perekhodu do elektromobiliv” (Substantiating the rational fleet composition in the transition to EVs), *Avtoshlyakhovyk Ukrayiny*, no. 2, pp. 35–44, 2024 (in Ukrainian).
3. Battery University, “BU-1003: Electric Vehicle (EV),” BatteryUniversity.com, accessed May 2025.
4. The Guardian, “Are electric cars too heavy for roads, bridges and car parks?” Mar. 25, 2024.
5. ResearchGate, “Influence of batteries weight on electric automobile performance,” excerpt of technical data, 2017.
6. I. Rust, “How do we solve the weight problem of EV heavy trucks?” *Medium*, Jan. 17, 2024.
7. S. Tucker, “Study: EVs Lose Range to Hauling, More Than Gas Trucks,” *Kelley Blue Book*, June 6, 2023.
8. American Trucking Associations, “A heavy dose of reality for electric-truck mandates,” ATA Press Release, 2023.
9. Pod Point, “The Benefits of Driving Electric Cars – Energy Efficiency,” Pod-Point.com, Nov. 21, 2024.
10. International Energy Agency, *Global EV Outlook 2023 – Trends in batteries*, IEA, Paris, 2023.
11. P. Hockenos, “How Russia’s War Is Putting Green Tech Progress in Jeopardy,” *Yale Environment 360*, Jun. 16, 2022.
12. S&P Global Mobility, “The Evolution of Electric Vehicle Battery Technology,” Nov. 2024.

Volodymyr V. Rudzinskiy, DSc(Engineering), Prof., Acad. of the Transport Academy of Ukraine, Head of Department of Automobile Transport ORCID:0000-0002-0540-97406; Zhytomyr Agricultural Technical Professional College

Volodymyr Lomakin, Ph.D. in Engineering, Teacher of Department of Automobile Transport, e-mail: rootsymbol@gmail.com, Zhytomyr Agricultural Technical Professional College

Serhii Melnychuk, Ph.D. in Engineering, Lecturer Department of Automobile Transport, e-mail: sergij.m@ukr.net, Zhytomyr Agricultural Technical Professional College

Основні обмеження поширення батарейно-електричних транспортних засобів

Анотація. У статті аналізуються основні обмеження батарейно-електричних транспортних засобів (BEV) у категоріях легкових та комерційних транспортних засобів. Розглядаються наукові та практичні проблеми, такі як обмежений запас ходу, висока маса акумуляторів, недостатність інфраструктури заряджання, критичні поставки матеріалів і втрати ефективності.

Ключові слова: батарейно-електричний транспортний засіб (BEV); запас ходу; маса акумулятора; важкий електричний вантажівка; енергетична щільність.

Рудзинський Володимир Васильович Д.Т.Н., проф., академік Транспортної Академії України, викладач кафедри автомобільного транспорту, Житомирський агротехнічний фахвий коледж

Ломакін Володимир Олександрович, к.т.н., викладач кафедри автомобільного транспорту, e-mail: rootsymbol@gmail.com, Житомирський агротехнічний фахвий коледж

Мельничук Сергій Володимирович, к.т.н., доц., завідувач кафедри автомобільного транспорту, e-mail: sergij.m@ukr.net, Житомирський агротехнічний фахвий коледж

СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ВИТОКУ ГАЗУ В ГАЗОБАЛОННИХ АВТОМОБІЛІВ

¹ Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

² Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Анотація

Представлено ідею використання датчиків серії MQ для виявлення витоків вуглеводнів у транспортному засобі, що працює на стисненому або зрідженому газі. Розроблено схему передачі даних від датчиків витоку газу до водія та диспетчерської служби. Система базується на мікроконтролері та каналі зв'язку через GPRS.

Ключові слова: транспортний засіб, вуглеводень, газобалонне обладнання, моніторинг, мережеві технології.

Дорожньо-транспортний засіб якій використовує двигун внутрішнього згорання з екологічної точки зору є дуже не безпечним для навколишнього середовища. Для автомобілів на яких встановлено газобалонне обладнання має ще пожежну небезпеку, яка обумовлена можливим вироком газу з паливної системи. Небезпечними зонами на автомобілі є ємкості для зберігання газу, редуктор для зниження тиску газу, трубопроводи та змішувач. Контроль за витіканням газу, як правило, покладається на органи почуттів водія.

Пропонується реєстрацію факту витоку газу автомобілем перекласти на спеціальну електронну систему. Біля балона для зберігання газу (на легкових автомобілях у багажнику, а для вантажних - біля рами) та у безпосередній близькості від редуктора (як правило під капотним простором) розміщуються датчики-детектори вуглеводню серії MQ. Тип датчика вибирається з міркування максимальної чутливості до типу вуглеводню. Для паливної системи на зрідженому нафтовому газі (пропан-бутанова суміш) підходять датчики: MQ-2, MQ-5, MQ-6, MQ-9, а для стиснутого газу (метану): MQ-2, MQ-4, MQ-5, MQ-9 [1].

Сигнали від датчиків передаються в мікроконтролер, де вони обробляються. У разі перевищення концентрації вуглеводню вище граничного значення програма контролеру на виході формує сигнал для водія та диспетчера. Сигналом для водія може бути як загорання світлового індикатора (звукового зумера) або текстове чи графічне повідомлення на дисплеї маршрутного бортового комп'ютера. Одночасно із попередженням водія програма мікроконтролера формує команди для модуля передавача GPRS, якій встановлює зв'язок і передає пакети повідомлень по TCP/IP або через SMC.

Також мікроконтролер керує роботою датчиків витоку вуглеводню та ініціалізує модуль передавача GPRS, налаштовуючи його роботу на передачу SoCET-пакетів через Інтернет або відправку SMC-повідомлень.

Оператор мобільного зв'язку передає дані на мобільний телефон (смартфон або планшет) безпосередньо або, використовуючи як шлюз, може бути підключений до локальної мережі (LAN), де працює персональний комп'ютер диспетчера. Програма на комп'ютері або смартфоні постійно прослуховує певний порт протоколу TCP/IP, а коли на ньому надходить повідомлення, його обробляє і виводить відповідне повідомлення на екран.

На рис. 1 графічно зображено схема розташування датчиків серії MQ на легковому автомобілі. Жирною лінією позначає потік передачі даних від датчиків серії MQ до блоку управління з реєстрації витоку газу, який встановлюється в салоні автомобіля. У блоці розміщується мікроконтролер, модуль передавача GPRS, антена, блок живлення (перетворювач з 12 В до 5 В). Пунктирною лінією позначено бездротова передача даних з мережі GSM/GPRS стільникового зв'язку.

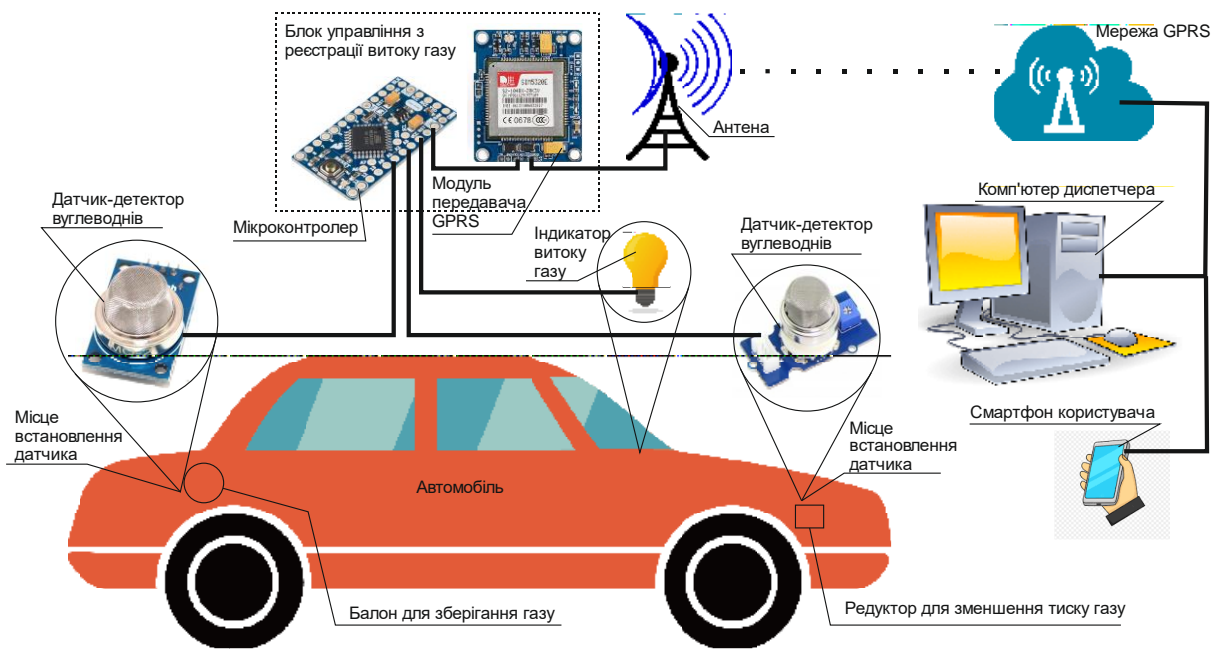


Рисунок 1 – Схема контролю вуглеводню на автомобілі та передача даних через мережу GPRS

Система контролю витoku вуглеводнів може також встановлюватися у виробничих приміщеннях, де обслуговуються автомобілі з ГБА (наприклад у оглядових канавах).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кривошапов С.І. Застосування сенсорів MQ для контролю рівня концентрації вуглеводнів на автомобільному транспорті / Кривошапов С.І., Серебряков В.О. Бражник В.О. // Міжнародна науково-практична конференція за участю молодих науковців «Галузеві проблеми екологічної безпеки – 2021»: Збірка матеріалів; 27 жовтня 2021. - Харків: ХНАДУ, 2021. - С. 117-120.

Кривошапов Сергій Іванович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Технічна експлуатація та сервісу автомобілів ім проф Говорущенко М.Я.» автомобільного факультету Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, Харків, tesa@khadi.kharkov.ua

Назаров Олександр Іванович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Технічна експлуатація та сервісу автомобілів ім проф Говорущенко М.Я.» автомобільного факультету Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, Харків, hefer64@gmail.com

Сергієнко Микола Єгорович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Автомобіле- і тракторобудування» навчально-наукового інституту Механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, nesergienko@gmail.com

REMOTE CONTROL SYSTEM FOR GAS LEAKS IN GAS-POWERED VEHICLES

Abstract

The idea of using MQ series sensors to detect hydrocarbon leaks in a vehicle running on compressed or liquefied gas is presented. A data transmission scheme from gas leak sensors to the driver and the dispatch service is developed. The system is based on a microcontroller and a communication channel via GPRS.

Key words: vehicle, hydrocarbon, gas cylinder equipment, monitoring, network technologies.

Krivoshapov Sergey Ivanovich, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department "Technical Operation and Service of Automobiles named after prof. Govorushchenko M.Ya." of the Automotive Faculty of the Kharkov National Automobile and Road University, tesa@khadi.kharkov.ua

Nazarov Aleksandr Ivanovich, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department "Technical Operation and Service of Automobiles named after prof. Govorushchenko M.Ya." of the Automotive Faculty of the Kharkov National Automobile and Road University, hefer64@gmail.com

Sergienko Mykola Yegorovich, Ph.D., Associate Professor, Professor of the Department of "Automobile and Tractor Engineering" of the Educational and Scientific Institute of Mechanical Engineering and Transport of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", nesergienko@gmail.com

СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЕРЕКОСУ В ЗАЧЕПЛЕННІ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація.

Робота присвячена дослідженню впливу перекосів в зачепленні на довговічність зубчастих коліс коробки передач транспортного засобу.

Ключові слова: трансмісія, навантаженість, стенд, транспортний засіб.

Одним з найбільш поширених видів руйнування зубчастих коліс трансмісій колісних машин в експлуатації є викрашування робочих профілів зубів. Згідно з технічними умовами, вибракування зубчастих коліс в експлуатації повинно проводитися при викрашуванні робочих поверхонь двох не суміжних зубів більше, ніж на $1/4$ їх довжини.

Останнє пояснюється тим, що саме так, тобто лише на частині джини зубів, часто викрашуються робочі профілі зубчастих коліс. Такі руйнування виникають в результаті порушень контакту зубів, які можуть бути викликані як технологічними похибками виготовлення і монтажу деталей (або нерівномірним їх зносом), так і деформаціями деталей передачі під навантаженням. Незалежно від причин виникнення, порушення контакту зубців є, таким чином, джерелами передчасних руйнувань, через які вибраковуюються зубчасті колеса трансмісій в експлуатації.

В роботі [1], на основі аналізу можливих порушень у взаємному положенні зубчастих коліс і елементів підшипників кочення, що виникають в зубчастих передачах, показано, що найбільший вплив на контакт і, отже, на працездатність цих деталей мають перекоси осей їх обертання. Зокрема, найбільше значення для зубчастих коліс мають ті порушення у взаємному їх положенні, які призводять до виникнення перекосу в зачепленні зубів у площині, перпендикулярній площині контакту (тобто в площині, що проходить через лінію зачеплення).

В літературі частково висвітлено основні питання розрахунку і теоретичного аналізу умов зачеплення зубчастих коліс при їх роботі з перекосом між зубами. Однак ці матеріали дають скоріше якісну, а не кількісну характеристику впливу перекосів на працездатність зубчастих коліс, так як експериментальних досліджень в цьому напрямку ще не проводилося.

Природно, що такі експериментальні роботи повинні передувати розробці оптимальних норм точності виготовлення деталей зубчастих передач, норм жорсткості для трансмісій транспортних машин і, нарешті, повинні дозволити уточнити методику розрахунку зубчастих передач.

У зв'язку з викладеним, було розпочато експериментальне дослідження впливу перекосів у зачепленні на довговічність зубчастих коліс. Для цього розроблено випробувальний стенд, схема якого наведена на рис. 1, з якого видно, що установка складається з двох однакових редукторів. Останні за допомогою стійок з підшипниками балансірно встановлені на зварній рамі і мають загальну вісь кочення, що співвісна з осями обертання наскрізних первинних валів.

Один з редукторів за допомогою домкрата може бути зафіксований в певному положенні. Інший редуктор має важіль, на якому для створення навантаження підвішується вантаж. Первинні вали редукторів з'єднуються за допомогою фланців і шліцьового валу, а вторинні – за допомогою карданного валу, який забезпечує роботу установки при наявності відносного зміщення вторинних валів.

Первинні і вторинні вали редукторів встановлені на підшипниках кочення, на міжосьову відстань, що дорівнює такій для коробки передач певного транспортного засобу. На зазначених валах в кожному редукторі встановлюється по одній парі випробовуваних зубчастих коліс, які замикають силовий контур установки.

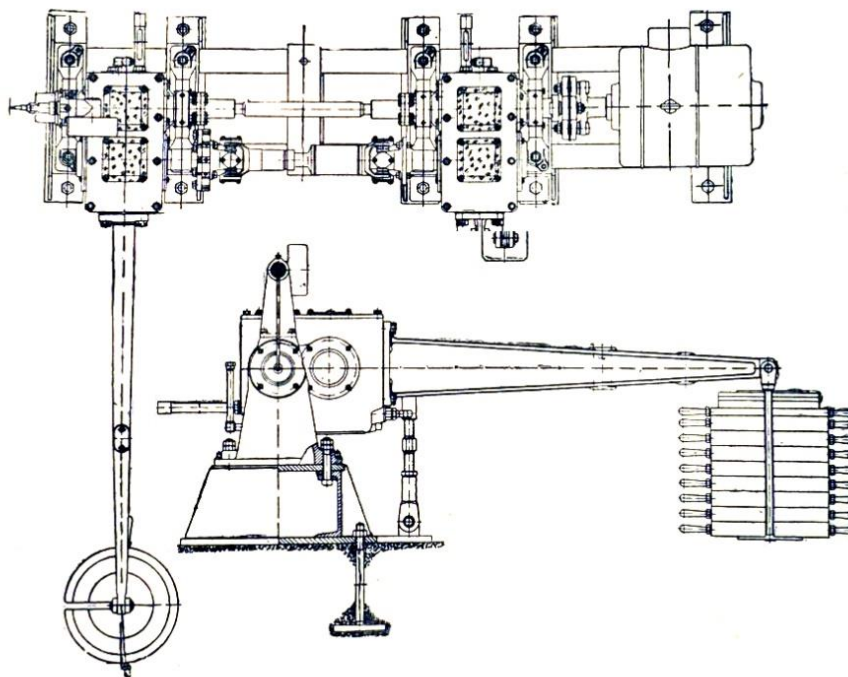


Рис. 1 - Принципова схема стенду

Установка приводиться в обертання електродвигуном, потужністю 10 кВт при 2250 об/хв, з'єднаним через пружну муфту з виступаючим кінцем наскрізного валу одного з редукторів. Виступаючий кінець іншого наскрізного первинного валу з'єднується з тахометром, оснащеним лічильником обертів. Змащення зубчастих коліс і підшипників здійснюється шляхом розбризкування. Рівень оливи в редукторах контролюється за показчиком рівня. Температура оливи підтримується постійною за допомогою електропідігрівача і змійовика водяного охолодження, а контролюється ртутним термометром.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Thunuguntla, S., Hood, A., & Cooley, C. (2023). Tooth Mesh Characterization of Spur Gear Pairs with Surface Pitting Damage. SAE Technical Paper 2023-01-0458. SAE International. Pages 1–11.
2. Wu, J.T., & Yang, Y. (2021). A Novel Estimation Method of Friction Coefficient for Evaluating Gear Pitting Fault. Engineering Failure Analysis, Volume 129, Article 105715. Elsevier. Pages 1–10.
3. Meng, Z., & Shi, G.X. (2021). A Novel Evolution Model of Pitting Failure and Effect on Time-Varying Meshing Stiffness of Spur Gears. Engineering Failure Analysis, Volume 120, Article 105068. Elsevier. Pages 1–12.

Калінін Євген Іванович, завідувач кафедри тракторів і автомобілів Національного університету біоресурсів і природокористування України, м. Київ, kalinin@nubip.edu.ua

STAND FOR STUDYING THE EFFECT OF SKEW IN ENGAGEMENT ON THE DURABILITY OF GEAR WHEELS IN A GEARBOX

Abstract.

The work is devoted to investigating the influence of misalignment in the gear mesh on the durability of gear wheels in a vehicle transmission.

Key words: transmission, loading, bench, vehicle.

Kalinin Yevhen Ivanovich, The head of Tractors and Automobiles Department, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, kalinin@nubip.edu.ua

СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ У ТРАНСМІСІЯХ АВТОМОБІЛІВ

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація.

Дослідження навантаженості трансмісії є визначення рівня крутильних коливань, джерелами яких є двигун внутрішнього згоряння, колісний рушій, дорожні нерівності, карданні передачі, зубчасті зачеплення.

Ключові слова: трансмісія, навантаженість, стенд, автомобіль.

Як відомо, під час резонансів навантаження досягають значних величин, і вони можуть стати основними в динамічному навантаженні трансмісії автомобіля. Дослідження навантажень, що виникають від крутильних коливань, зазвичай проводять на реальних об'єктах в умовах дорожніх випробувань. Однак поряд з такими випробуваннями в даний час широкого поширення набули дослідження, що проводяться на спеціальних стендах, внаслідок їх високої ефективності. На таких стендах можна проводити дослідження як окремих вузлів і агрегатів, так і автомобіля в цілому.

Стендові випробування дають змогу досліджувати трансмісії ще на етапі проектування нових автомобілів. Це досягається за допомогою методів теорії моделювання, які дозволяють перенести результати досліджень моделі на реальний автомобіль. Такі випробування допомагають виявити та усунути слабкі елементи конструкцій до виготовлення дослідних зразків. При цьому стенд має задовольняти таким вимогам: а) навантажувальний пристрій стенда має з достатнім наближенням відтворювати експлуатаційні режими роботи трансмісії автомобілів; б) крутильна система стенда має бути еквівалентною крутильній системі автомобіля та ін. З урахуванням цих вимог було спроектовано стенд для моделювання та дослідження трансмісії автомобілів.

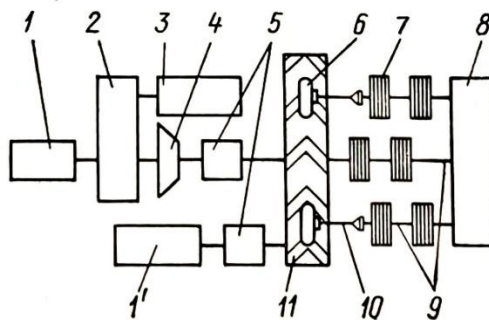


Рис. 1 - Принципова схема стенду

Крутний момент від приводного електродвигуна 1 передається через вібратор 2, зчеплення 4 і коробку передач 5 на систему валів (змінних податливостей) 9 і змінних махових мас (моментів інерції) 7. На валу редуктора 8 виникає різниця моментів, яка через змінні податливості 9 і змінні махові маси 7 передається на дві моделі шини 6. Шини розташовані на нескінченній стрічці зі змінними нерівностями 11. Стрічка встановлена на бігових барабанах. Від бігових барабанів момент передається через коробку 5 передач на гальмівний електродвигун 1. Коробка передач призначена для збільшення діапазону зміни крутного моменту, а зчеплення - для короткочасного відключення основної системи стенду при пуску електродвигунів, а також для дослідження перехідних режимів [1].

Порушення на модель трансмісії, що складається зі змінних махових мас і змінних

податливостей, передається як з боку дороги (стрічка зі змінними нерівностями), так і силової установки (вібратор).

Вібратор являє собою зубчастий планетарний механізм, в якому для збудження моментів, що обурюють, різних за амплітудою і частотою, до сателітів прикріплені неврівноважені грузики. Водило вібратора з'єднане з приводним електродвигуном, а сонячна шестерня через допоміжну шестерню має привід від допоміжного електродвигуна 3. На воді можна встановлювати три пари сателітів різного діаметра, що дозволяє імітувати полігармонійний момент збудження. Допоміжний електродвигун служить для розширення діапазону збуджуваних частот.

Відповідним підбором основного приводного та могутнього електродвигунів постійного струму, а також передавальних чисел шестерень вібратора забезпечується діапазон частот збудження вібратора $f=0\div 240$ Гц. Для зміни власних частот стенду передбачено можливість зміни моментів інерції махових мас та податливостей валів системи, що в кінцевому рахунку дозволяє імітувати трансмісію автомобіля. Параметри стенду підібрані так, що при максимальних моментах інерції та податливості мінімальна частота власного стенда становить $f=2$ Гц. При зменшенні податливостей та моментів інерції нижча власна частота стенду збільшуватиметься. Підбором моментів інерції махових мас і податливості валів при прийнятому масштабі моделювання досягається відповідність між моделлю трансмісії і реальною трансмісією. Широкий діапазон змінюваних параметрів дозволяє досліджувати на стенді не тільки моделі пристроїв та агрегатів трансмісії, але й самі ці пристрої та агрегати у натуральну величину. Стенд дозволяє досліджувати ефективність демпфуючих пристроїв у трансмісіях автомобілів, перевірити теоретичні передумови, покладені в основу розрахунку таких пристроїв. Змінюючи параметри демпфера та місце його встановлення у моделі трансмісії, можна визначити оптимальні характеристики демпфера та місце його встановлення у трансмісії конкретного автомобіля [2].

Установка двох моделей шини на нескінченну стрічку із закріпленими змінними нерівностями дозволяє дослідити навантаженість трансмісій автомобілів при подоланні колесом різних нерівностей, дослідити питання циркуляції потужності у трансмісіях із блокованим приводом. Наявність зчеплення між вібратором і коробкою передач дає можливість визначити навантаженість трансмісії не тільки при режимах руху, що встановилися, але і при перехідних процесах. Розглянутий стенд дозволяє на стадії проектування проводити дослідження трансмісій та їх окремих агрегатів більшості сучасних автомобілів за різних умов навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Marmut I.A. (2018). Obosnovanie vybora diametra rolikov inerczionnogo tormoznogo stenda [Justification for the choice of the diameter of the rollers of the inertial brake stand]. Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv – Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes, 13, 241–247.

2. Marmut I.A. (2018). Matematychni modeli stendovoi diahnostryky halmivnykh system avtomobiliv [Mathematical models of bench diagnostics of car braking systems]. Naukovyi zhurnal Lutskoho NTU «Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti» – Scientific journal of Lutsk NTU «Modern technologies in mechanical engineering and transport», 2(11), 90–96.

Костюк Станіслав Юрійович, аспірант кафедри тракторів і автомобілів Національного університету біоресурсів і природокористування України, м. Київ, stanislavkostuk@nubip.edu.ua

TEST BENCH FOR STUDYING LOADS IN AUTOMOBILE TRANSMISSIONS

Abstract.

The study of transmission loading is to determine the level of torsional vibrations, the sources of which are internal combustion engine, wheel mover, road irregularities, cardan gears, gearing. As is known, at resonances the loads reach significant values, and they can become the main ones in the dynamic loading of the vehicle transmission.

Key words: transmission, loading, bench, automobile.

Kostiuk Stanislav Yuriiovich, Postgraduate student of the Department of Tractors and Automobiles, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, stanislavkostuk@nubip.edu.ua

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ДИНАМІЧНІ ЯВИЩА В ПРОЦЕСАХ НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Анотація. Досліджено закономірності сили різання в методах зубооброблення, які базуються на неперервному генеруванні зубчастих профілів, в ході яких виникають піки сили різання. Досліджено закономірності формування ударних навантажень на стадії врізання в результаті миттєвого контакту інструментів з заготовкою, а також періодичних коливань сили різання в результаті нерівномірності зрізуваних шарів. В процесі неперервного обточування такі навантаження стають циклічними та спричиняють коливання і вібрації в пружній системі верстатів. Отримані результати дають змогу знаходити оптимальні умови та робочі режими, які нівелюють негативний вплив цих явищ на процеси нарізання зубчастих коліс.

Ключові слова: зубчасті колеса, стадії врізання та усталеного різання, динамічні навантаження, пружні коливання, вібрації

Зубчасті колеса були і залишаються невід’ємними складовими сучасних машин та механізмів, які на найближчу і віддалену перспективу не втратять свого значення. За результатами аналізу ринку [1] щорічні обсяги їх виробництва збільшуються на 4 – 6% та зростають вкладення у цю галузь. В таких умовах актуальною проблемою для сучасного машинобудування є удосконалення традиційних та створення нових методів виготовлення зубчастих коліс та шестірень. Найбільш поширеним методом до цього часу було черв’ячне зубофрезерування, проте за останні роки все ширшого розповсюдження набуває метод Power skiving. Проблемам зубчастих коліс та передач і технологій їх виготовлення присвячені дослідження, які ведуться протягом тривалого часу у Львівській політехніці. Зокрема, за період 2003-2021 р.р. тут розроблено наукові основи вискоєфективної технології їх виготовлення – радіально-коловий метод зубонарізання (РКМ). Кожен з вказаних методів належить до методів неперервного обточування, має свої переваги та обмеження, а також оптимальні галузі використання. Разом з тим, їх дослідження та аналіз, які проводилися у Львівській політехніці на основі розроблених комп’ютерних моделей показали, що кожному з цих методів присутні спільні недоліки. В їх основі лежить те, що вони відбуваються з періодичним контактом зубців інструменту з колесом, яке нарізають. В результаті під час оброблення виникають умови для ударних навантажень, які мають періодичний і циклічний характер та зумовлюють пружні коливання і вібрації пружної системи верстатів під час їх роботи.

З точки зору інтенсивності динамічних явищ найбільш несприятливі умови роботи виникають на етапі врізання, коли інструменти на кожному оберті в циклі осьової подачі стикаються з торцем заготовки в ділянці ще несформованої впадини між зубцями. Прикладом цього можуть служити графіки зміни сили різання на зубцях дискового різця на другому оберті при врізанні в методі Power skiving (рис.1,а). Внаслідок торцевого перекриття у верстатному зачепленні перебуває декілька зубців інструменту, в результаті чого сила різання зростає і в неперервному процесі різання-формування вона стає циклічною та змінюється з певною частотою і амплітудою (рис.1, б, в). Для порівняння на рис.1,в показано силу на стадії усталеного різання, коли припуск усувається з поверхні сформованої впадини між зубцями колеса: сила різання зменшується у два рази за розмахом і в 1,8 рази за амплітудою.

Циклічний характер навантаження виникає також під час стаціонарного різання, а причиною цього є нерівномірність припуску, який усувається при утворенні зубчастих профілів. В усіх методах, які були досліджені найбільший припуск і, відповідно, максимальне навантаження припадає на декілька зубців в активній ділянці інструменту, які зрізають максимальну частину металу і де виникають максимальні сили різання, як це видно з рис.2,а для черв’ячного зубофрезерування. В циклі осьової подачі та неперервного обертання інструменту це створює нерівномірність сили різання (рис.2,б), викликає інтенсивні коливання і вібрації в кінематичних

ланцюгах інструментів і заготовок, та стає причиною погіршення якості оброблення, зменшення стійкості інструменту та пришвидшеного спрацювання верстатів.

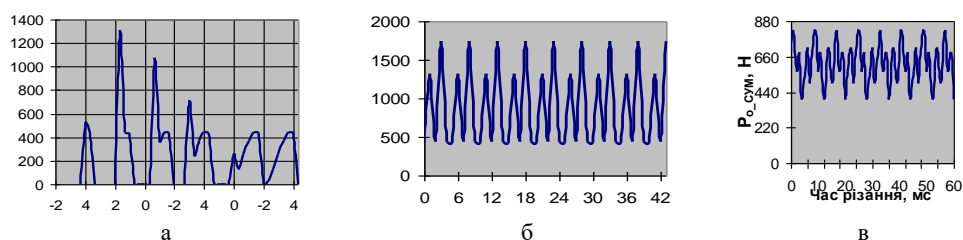


Рис.2. Стрибки сили різання під час врізання (а), сила неперервного різання під час другого проходу при врізанні (б) та у стаціонарному різанні (в) у методі Power skiving

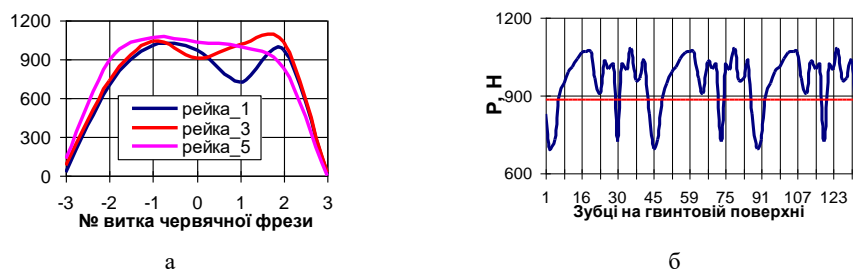


Рис.3. Сила різання на обертах черв'ячної фрези (а) та сумарна сила різання (б)

Результати моделювання основних процесів зубооброблення дають можливість вирішувати задачу призначення раціональних режимів та умов оброблення в кожному з розглянутих методів. Для зменшення пікових навантажень в процесі врізання і в часі усталеного різання на основі даних, отриманих комп'ютерною симуляцією можна вибрати таку подачу, призначити такі значення глибини різання та кількості проходів, які забезпечать мінімальні удари та пікові величини сили різання, а також її амплітуду і розмах в процесі обробки, при яких будуть забезпечені необхідна точність обробки, стійкість інструментів і задана продуктивність операцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Global Gear Technology Market by Technology by Geographic Scope and Forecast; Verified Market Research, USA, 2021

Грицай Ігор Євгенович, д.т.н., професор, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, ihor.y.hrytsai@lpnu.ua

Столяр Богдан Тарасович, аспірант, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, bohdan.t.stoliar@lpnu.ua

DYNAMIC PHENOMENA IN THE PROCESS OF GEAR CUTTING

Abstract. The patterns of cutting force in gear cutting methods in which cutting force peaks occur have been studied. The patterns of shock load formation at the cutting stage as a result of instantaneous contact of tools with the workpiece, as well as periodic fluctuations in cutting force as a result of unevenness of the cut layers, have been studied. In the process of continuous rolling, such loads become cyclic and cause oscillations and vibrations in the elastic system of machine tools. The results obtained make it possible to find optimal conditions and operating modes that eliminate the negative impact of these phenomena on the processes of cutting gears.

Keywords: gears, in-cutting and steady cutting stages, dynamic loads, elastic oscillations, vibrations

Hrytsai Ihor, Dr. Sc., professor, Lviv Polytechnic National University, Lviv, ihor.y.hrytsai@lpnu.ua

Stoliar Bohdan, postgraduate, Lviv Polytechnic National University, Lviv, bohdan.t.stoliar@lpnu.ua

НАПРЯМКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ОСНОВНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СКЛАДОВИХ НАЗЕМНИХ ЗАПИТУВАЧІВ СИСТЕМИ ДЕРЖАВНОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ВПІЗНАВАННЯ

Харківський національний університет Повітряних Сил

Анотація.

Показані критично необхідні напрямки модернізації основних функціональних складових наземних радіолокаційних запитувачів системи державного радіолокаційного впізнавання України для покращення тактико-технічних характеристик запитувачів з урахуванням вітчизняного та міжнародного досвіду, розвитку сучасних технологій.

Ключові слова: *система державного радіолокаційного впізнавання; наземний радіолокаційний запитувач; модернізація; технічні характеристики.*

Розвиток системи державного радіолокаційного впізнавання (СДРЛВ) України можливий за такими альтернативними напрямками:

- модернізація засобів існуючої системи;
- перехід до системи впізнавання НАТО.

В умовах сумнівної перспективи вступу України до НАТО перший напрямок, що обговорюється вже багато років на різних рівнях військової структури України і в різних роботах, наприклад, [1, 2], знов набуває актуальності. Одним з основних питань, що мають бути вирішені під час модернізації, є переведення на нову елементну базу наземних радіолокаційних запитувачів (НРЗ), що виконані на елементній базі 70-х – 80-х років минулого століття. Приклади розроблення та застосування НРЗ (вторинних радіолокаторів) СДРЛВ та цивільних (військово-цивільних) вторинних радіолокаторів для керування повітряним рухом показують, що сучасні схемні та конструктивні рішення, реалізовані в процесі модернізації НРЗ, можуть забезпечити також покращення технічних характеристик окремих функціональних складових НРЗ (систем, пристроїв, вузлів) і через це – тактико-технічні характеристики НРЗ.

Передавальний тракт. Перехід від лампових до напівпровідникових модулів генерування та підсилення сигналів запиту з підвищенням точності формування тривалості імпульсів з (0,35 – 0,7) мкс [3] до $\pm 0,1$ мкс та частоти з ± 1 МГц до $\pm 0,1$ МГц, що дозволить покращити чутливість і завадозахищеність приймальних пристроїв відповідачів. В антенно-фідерному пристрої автономних НРЗ треба ліквідувати двоканальне формування основної діаграми спрямованості антени (ДСА) з періодичним контролем і ручним фазуванням. Зменшити рівні бічних та дальніх пелюсток застосуванням антенних решіток, що дозволить знизити існуючі сумарні енергетичні втрати 12 дБ зі штучним поглинанням близько 7 дБ, яке використовується для забезпечення якісного придушення бічних пелюсток (ПБП) за запитом.

Приймальний тракт. Треба відмовитись від еквівалентного звуження ДСА автономних НРЗ з сумарною ДСА в основному каналі і різницевою ДСА в каналі ПБП на прийом. Реалізувати в приймальному пристрої НРЗ усіх класів методу ПБП “фазового забарвлення” з амплітудно-фазовим перетворенням до входу приймального пристрою, що забезпечить стабільність перетворення і виключить необхідність періодичного контролю та настроювання, або амплітудного методу за умови аналогово-цифрового перетворення сигналів після мінімально необхідного підсилення.

Апаратура декодування та аналізування сигналів. Потрібна реалізація амплітудної (амплітудно-кутової) селекції імпульсних складових сигналів відповіді для зменшення імовірностей викривлення кодів відповіді в складній сигнально-перешкодовій обстановці, створення хибних кодів. Функція декодування інформації індивідуального впізнавання та польотної інформації має бути реалізована в запитувачах усіх класів. Для забезпечення

багаторежимного запиту об'єктів [4] необхідно реалізувати паралельну (незалежну) міжперіодну обробку сигналів I та II режимів з гнучким вибором параметрів критеріїв k/n виявлення пачок сигналів відповіді, автоматично пристосовуваних до умов спряження з РЛС (частота запуску, швидкість обертання антени) [4, 5]. Це забезпечить повне (загальне та індивідуальне) впізнавання об'єктів в одному огляді (циклі впізнавання) зі зменшенням втрат бінарного накопичування з дотриманням вимог до показнику імітостійкості. За відсутності моноімпульсного оброблення сигналів відповіді замість трьохступінчатого алгоритму виявлення пачок сигналів відповіді має бути реалізоване класичне оброблення в ковзному вікні, що дозволяє продуктивність сучасної комп'ютерної техніки

Апаратура спряження з радіолокаційними станціями. Багатопроводові лінії керування та сигналізації мають бути замінені сучасними інтерфейсами з прийнятих у Збройних Силах.

Апаратура вторинного електроживлення. Головна вимога до усіх пристроїв вторинного електроживлення – забезпечення потрібних вихідних параметрів за умови первинного живлення напругою частотою 50 Гц і 400 Гц, перетворення за потреби напруги 50 Гц – 400 Гц для живлення критичної до частоти апаратури.

У процесі модернізації має бути збережений модульний принцип побудови НРЗ для забезпечення створення НРЗ різних класів згідно з [6].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Артеменко А.А., Камалтинов Г.Г., Кукобко С.В., Маляренко О.С., Трофимов І.М. Напрямки та проблеми модернізації засобів системи радіолокаційного впізнавання України. *Обґрунтування доцільних шляхів вирішення проблемних питань експлуатації та застосування новітніх (модернізованих) зразків озброєння та військової техніки військовими частинами (підрозділами) Повітряних Сил Збройних Сил України, підготовки для їх використання*: зб. тез доп. науково-практичної конференції ХНУПС ім. Івана Кожедуба 25 – 27 жовтня 2017. С. 84, 85.

2. Маляренко О.С., Трофимов І.М., Белавін О.В. Напрямки та етапи модернізації наземних радіолокаційних запитувачів Повітряних Сил. *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: зб. тез доп. XVII наук. конф. Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. Харків: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2021. С. 266, 267.

3. ДСТУ В 8822:2018. Засоби радіолокаційної системи державного впізнавання. Наземні радіолокаційні запитувачі. Загальні технічні вимоги; чинний від 2019-09-01. Вид. офіц. Київ: ДП “УкрНДНЦ”, 2019. 25 с.

4. Маляренко О.С., Трофимов І.М., Турінський Ю.О. Вдосконалення виявлювачів сигналів відповіді у запитувачах системи державного радіолокаційного впізнавання. *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: зб. тез доп. XVIII міжнар. наук. конф. Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. Харків: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2022. С. 243.

5. Маляренко О.С., Трофимов І.М. Обґрунтування параметрів виявлення сигналів відповіді у запитувачах системи державного радіолокаційного впізнавання з багаторежимним запитом. *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: зб. тез доп. XIX міжнар. наук. конф. Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. Харків: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2023. С. 238.

6. ВСТ ЗТВ 01.214.001-2020 (02). Інженерно-радіоелектронне забезпечення. Наземні радіолокаційні засоби виявлення повітряних цілей, розвідки, наведення та цілевказання. Тактико-технічні вимоги. На заміну ВСТ 01.214.001-2014 (01); чинний від 2020-03-23. 48 с.

Маляренко Олександр Сергійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: a_mal@meta.ua.

Ways to modernize the main functional components of ground-based interrogators of the state radar identification system

Abstract.

The critical directions of modernization of the main functional components of ground-based radar interrogators of the state radar identification system of Ukraine to improve the tactical and technical characteristics of interrogators, taking into account domestic and international experience, development of modern technologies are shown.

Keywords: *system of state radar identification; ground-based radar interrogator; modernization; technical characteristics.*

Oleksandr Maliarenko – philosophy doctor in engineering, senior researcher, leading researcher of scientific research department of Air Force science center, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: a_mal@meta.ua

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ СУПРОВОДЖЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА НАДХОДЖЕННЯ ДАНИХ В НЕПОВНІЙ СФЕРИЧНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Анотація. Надходження на комплекси засобів автоматизації інформації від двокоординатних РЛС призводить до погіршення точності супроводження цілей через похибки перерахунку координат із неповної сферичної системи в просторову прямокутну. Визначено області простору, в яких похибки перерахунку є незначними і ними можна знехтувати, і області, в яких врахування похибок є необхідним.

Ключові слова: радіолокаційні станції, супроводження цілей, система координат, точність супроводження..

Двокоординатні РЛС вимірюють похилу дальність до цілі r_c і азимут цілі β_c . Перерахунок отриманих координат в прямокутну систему здійснюється за співвідношеннями $x_c = r_c \cdot \sin(\beta_c)$, $y_c = r_c \cdot \cos(\beta_c)$, тоді як правильний перерахунок необхідно здійснювати за співвідношеннями $x_c = r_c \cdot \cos(\varepsilon_c) \cdot \sin(\beta_c)$, $y_c = r_c \cdot \cos(\varepsilon_c) \cdot \cos(\beta_c)$, де ε_c – невідомий кут місця цілі. Через це виникають систематичні похибки у визначенні прямокутних координат цілей: $\delta_x = r_c \cdot \sin(\beta_c) [1 - \cos(\varepsilon_c)]$, $\delta_y = r_c \cdot \cos(\beta_c) [1 - \cos(\varepsilon_c)]$.

За характером дії означені похибки, незважаючи на їх систематичне походження, можна вважати випадковими, величина яких може змінюватись в межах $0 \leq \delta \leq \delta_{\max} = r_c \cdot [1 - \cos(\varepsilon_c)]$ і розподілена за рівномірним законом розподілу ймовірності. Тобто середньоквадратична похибка (СКП) перерахунку координат буде виражатись [1] співвідношенням: $\sigma_{per} = \frac{\delta_{\max}}{2\sqrt{3}}$.

Врахування похибок перерахування може бути здійснене через штучне збільшення середньоквадратичних похибок (СКП) вимірювання дальності двокоординатними РЛС, тобто вважати, що СКП вимірювання дальності двокоординатною РЛС $\sigma_{rls} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_{per}^2}$, де σ_r – СКП вимірювання дальності власне самою РЛС; σ_{per} – СКП перерахунку координат. Таке збільшення є припустимим доти, доки $\sigma_{per} \leq \sigma_r$.

Використання способу штучного збільшення середньоквадратичних похибок вимірювання дальності двокоординатними РЛС є можливим лише в тих областях простору, в яких максимальні (δ_{\max}) значення похибок перерахунку координат з урахуванням точнісних характеристик сучасних двокоординатних РЛС [2] не повинні перевищувати: $\delta_{\max} \leq 300$ м. Означена область охоплює лише сектор малих кутів місця (рис. 1, а).

Просторову область, в якій можна використовувати штучне збільшення середньоквадратичних похибок вимірювання дальності двокоординатними РЛС, може бути розширена, якщо виявленим двокоординатним радіолокатором цілям відразу надавати деякий умовний кут місця $\varepsilon_{um} = 2,5^\circ$.

На рис. 1, б наведена область простору, в якій похибки перерахунку координат не перевищують 300 метрів. При супроводженні цілей, що перебувають в означеній області, за даними двокоординатних РЛС необхідно вхідні дані доповнити третьою координатою через надання усім цілям кута місця $\varepsilon_{um} = 2,5^\circ$ і перерахунок із сферичної системи координат в

прямокутну здійснювати за співвідношеннями $x_c = r_c \cdot \cos(\varepsilon_{um}) \cdot \sin(\beta_c)$, $y_c = r_c \cdot \cos(\varepsilon_{um}) \cdot \cos(\beta_c)$. Крім того, в матриці точності вимірювання координат необхідно значення середньоквадратичних похибок вимірювання дальності збільшити в $\sqrt{2}$ раз.

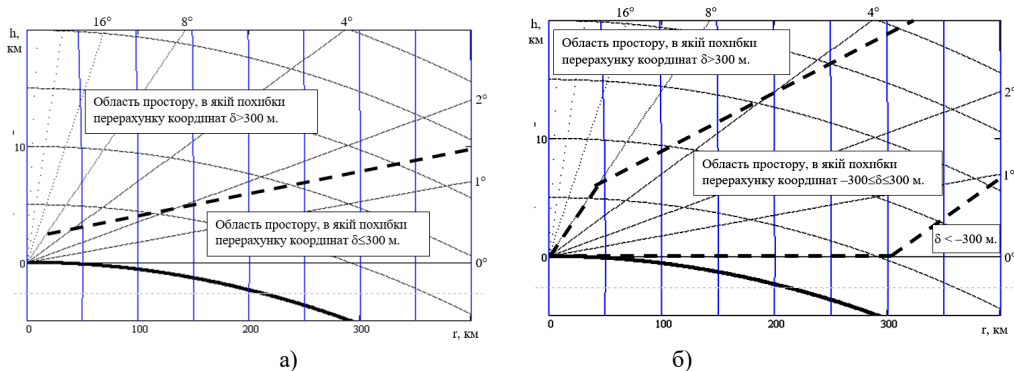


Рисунок 1 – Розподіл похибок перерахунку координат по простору.

Отже, перерахунок координат за наведеною методикою можна здійснювати при супроводженні маловисотних цілей на всіх дальностях, починаючи з 10 км, Для середньовисотних цілей супроводження можливе лише при супроводженні їх на дальностях більше, ніж 50 км, а для висотних ($4000 \text{ м} < h_c \leq 12000 \text{ м}$) і стратосферних ($h_c > 12000 \text{ м}$) – на відстанях більше, ніж 150...200 км.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. 2-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2000.— 480 с.
2. Висоцький О.В. Аналіз тактико-технічних характеристик основних радіолокаційних засобів існуючої системи контролю повітряного простору України. *Системи озброєння і військова техніка*. 2014. №4(40). С. 10-13.

Климченко Василь Йонович – кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник наукового центру, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків. e-mail: vasklim@i.ua.

Арасланов Михайло Рімович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник наукового центру, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків. e-mail: armiri@ukr.net.

Тах'ян Кристина Альбертівна – старший науковий співробітник науково-дослідного відділу, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків. e-mail: madi27@ukr.net.

ANALYSIS OF THE ACCURACY OF SUPPLIED OBJECTIVES FOR DATA RECORDING IN A DIFFERENT SPHERICAL COORDINATE SYSTEM

Abstract. *Reliance on complexes of information automation features from two-coordinate radars leads to an improvement in the accuracy of target tracking through the transformation of coordinates from an irregular spherical system into a spatial rectilinear system. Designated areas of space, in which the damages of the overrun are insignificant and can be obtained, and areas in which the recovery of damages is necessary.*

Keywords: *radar stations, target tracking, coordinate system, tracking accuracy.*

Vasyl Klymchenko – Philosophy Doctor in Engineering Associate Professor Leading Researcher Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University Kharkiv, Ukraine. e-mail: vasklim@i.ua.

Mikhail Araslanov Philosophy Doctor in Engineering Senior Research Lead Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine. e-mail: armiri@ukr.net.

Kristina Tahyan – Senior Researcher Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University Kharkiv, Ukraine. e-mail: madi27@ukr.net.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Техніко-економічна оцінка підвищення ефективності функціонування системи технічного обслуговування і ремонту зразків озброєння та військової техніки показала, що в разі запровадження удосконаленої системи технічного обслуговування і ремонту економія коштів на підтримання шляхопрокладачів БАТ-2 в працездатному стані складає 212 – 1550 грн. на рік залежно від терміну перебування їх в експлуатації.

Ключові слова: системи технічного обслуговування і ремонту озброєння та військової техніки.

Техніко-економічна оцінка удосконаленої системи технічного обслуговування і ремонту зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) проводилась за оцінкою витрат матеріальних засобів на технічне обслуговування і ремонт в процесі використання їх за призначенням.

Для проведення техніко-економічної оцінки запропонованих рекомендацій щодо підвищення ефективності системи технічного обслуговування і ремонту зразків ОВТ спочатку була розрахована вартість технічного обслуговування для кожної групи машин, розподілених за терміном перебування їх в експлуатації:

$$C_{TO} = \sum_{i=1}^{N_{TO}} C_{TOi} + \sum_{j=1}^{N_B} C_{yBj}, \quad (1)$$

де C_{TOi} – вартість і-го номерного технічного обслуговування; N_{TO} – кількість номерних технічних обслуговуваль; C_{yBj} – вартість усунення j-ї відмови, під час проведення непланового ремонту; N_B – кількість відмов.

Враховуючи те, що із збільшенням терміну перебування зразків ОВТ в експлуатації збільшується кількість недоліків в їх технічному стані, збільшується обсяг робіт, які виконуються для усунення цих недоліків, відповідно збільшується і вартість робіт, спрямованих на усунення цих недоліків. Тоді, загальна вартість технічного обслуговування розраховується за виразом

$$C_{TOз} = C_{TO} \cdot K_{yв}, \quad (2)$$

де $K_{yв}$ – коефіцієнт коригування трудомісткості номерного технічного обслуговування залежно від терміну перебування зразків ОВТ в експлуатації.

Досвід експлуатації зразків ОВТ у військах показав, що відмови, які виникають в процесі використання їх за призначенням, із збільшенням терміну перебування їх в експлуатації стають складнішими. Відмови усуваються проведенням поточних ремонтів. Із збільшенням термінів перебування зразків ОВТ в експлуатації збільшуються витрати матеріально-технічних засобів і трудових ресурсів на виконання цих поточних ремонтів.

Вартість поточного ремонту складається з вартості запасних частин і матеріалів, необхідних для його проведення, та вартості трудових затрат. Згідно з проведеними розрахунками, сумарна вартість запасних частин і матеріалів, необхідних для проведення поточного ремонту, складає 0,15 вартості проведення капітального ремонту зразків ОВТ. Вартість затрат на проведення поточного ремонту визначається за формулою

$$C_p = T_p \cdot C_{\text{люд.год.}} \cdot K_p, \quad (3)$$

де T_p – трудомісткість поточного ремонту, люд.-год.; $C_{\text{люд.год.}}$ – вартість однієї людино-години; K_p – результуючий коефіцієнт коригування трудомісткості поточного ремонту залежно від терміну перебування зразків ОВТ в експлуатації.

Необхідно відмітити, що відсутність запасної частини, яка необхідна для проведення непланового ремонту зразків ОВТ, збільшує час ремонту і зменшує час використання машин за призначенням.

Сумарна вартість на технічне обслуговування і ремонт зразків ОВТ на ділянці напрацювання від початку введення в експлуатацію до проведення планового середнього ремонту визначається за виразом

$$C_{\text{ТОР}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{ТО}}} C_{\text{ТО}i} \cdot K_{\text{УВ}} + \sum_{j=1}^{N_P} C_{\text{P}j} \cdot K_p, \quad (4)$$

де $N_{\text{ТО}}$ – кількість номерних технічних обслуговувань; N_P – кількість проведених незапланованих ремонтів.

Проведені дослідження показали, що планування робіт з технічного обслуговування і ремонту зразків ОВТ зі застосуванням запропонованих способів визначення номенклатури та кількості запасних частин в групових та ремонтних комплектах для проведення робіт при поточних ремонтах та усунення недоліків в технічному стані вузлів та агрегатів зразків ОВТ, які необхідно усунути перед початком виконання робіт номерного технічного обслуговування зменшує час на проведення робіт і, як наслідок, зменшення часу використання машин за призначенням.

Розрахунки сумарної вартості технічного обслуговування і ремонту проведено для машин інженерного озброєння, які експлуатувалися протягом року. В мирний час це машини інженерного озброєння учбово-бойової групи експлуатації.

Необхідно відмітити, що трудомісткість робіт з номерного технічного обслуговування або непланового ремонту при існуючій системі технічного обслуговування та ремонту і удосконаленої системі не змінюються, але по-перше, збільшується час на виконання робіт в разі відсутності в складі ремонтного або групового комплексу тієї чи іншої запасної частини, яка потрібна для виконання робіт, а по-друге, збільшується вартість доставки запасної частини в ремонтні підрозділи.

Результати розрахованих значень сумарної вартості технічного обслуговування і ремонту одного шляхопрокладача БАТ-2, залежно від терміну перебування його в експлуатації при існуючій системі технічного обслуговування і ремонту та удосконаленої системі наведені на рис. 1.

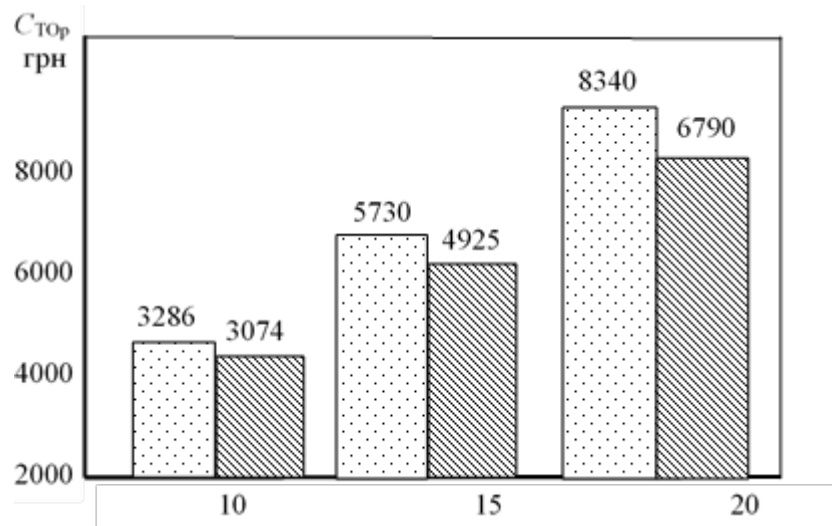




Рисунок 1 - Сумарна вартість технічного обслуговування і ремонту одного шляхопрокладача БАТ-2, залежно від терміну перебування його в експлуатації:

-  – існуюча система технічного обслуговування і ремонту;
-  – удосконалена система технічного обслуговування і ремонту

Проведені розрахунки сумарної вартості технічного обслуговування і ремонту показали, що для шляхопрокладача БАТ-2, який перебуває в безперервній експлуатації, запровадження удосконаленої системи технічного обслуговування і ремонту приведе до економії коштів на підтримання її в працездатному стані в розмірі 212 – 1550 грн. на рік залежно від терміну перебування в експлуатації.

Надані рекомендації щодо зменшення часу на виконання робіт з непланових ремонтів та на виконання робіт з технічного обслуговування і ремонту корегуванням номенклатури та кількості запасних частин, які входять до складу ремонтних та групових комплектів, з урахуванням надійності агрегатів та систем зразків ОБТ враховуючі напрацювання та терміну перебування їх в експлуатації.

Поляков Андрій Павлович - д.т.н., професор завідувач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: poliakovap61@gmail.com.

Терещенко Олександр Петрович - к.т.н., доцент кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: atereschenko96@gmail.com

Мороз Лариса Василівна – старший викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: farv@inmt.vntu.edu.ua.

FEASIBILITY EVALUATION OF RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE OPERATION OF THE SYSTEM OF TECHNICAL MAINTENANCE AND REPAIR OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

Abstract

The feasibility study of increasing the efficiency of the maintenance and repair system for weapons and military equipment showed that in the case of implementing an improved maintenance and repair system, the savings in maintaining BAT-2 road pavers in working condition will be 212 - 1550 UAH per year, depending on the period of their operation.

Keywords: systems for maintenance and repair of weapons and military equipment.

Polakov Andriy – Dr.Sc. (Eng.), Professor, head of the department of military training, Vinnytsia National Technical University, e-mail poliakovap61@gmail.com.

Tereschenko Oleksandr - Ph.D., Associate Professor of military training, Vinnytsia National Technical University, e-mail: atereschenko96@gmail.com

Moroz Larisa – Senior Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, e-mail: farv@inmt.vntu.edu.ua.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ МАШИН ІНЖЕНЕРНОГО ОЗБРОЄННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту машин інженерного озброєння, які перебувають в експлуатації, шляхом впровадження способів визначення номенклатури та кількості запасних частин, які входять до складу групових та ремонтних комплектів, підвищить ефективність її функціонування на 4 – 9% на прикладі шляхопрокладачів БАТ-2 в залежності від терміну перебування їх в експлуатації.

Ключові слова: системи технічного обслуговування і ремонту машин інженерного озброєння.

Під ефективністю функціонування системи розуміють узагальнені властивості системи, що характеризують ступінь її пристосованості до виконання поставлених завдань в прийнятих умовах використання. Кількісною мірою ефективності є один або декілька її показників. У даному випадку для оцінки ефективності функціонування системи технічного обслуговування і ремонту зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) основним показником взято коефіцієнт технічного використання, який визначається за виразом

$$K_{ТВ} = \frac{\Sigma t_{пр}}{\Sigma t_{пр} + \Sigma t_p + \Sigma t_{ТО}}, \quad (1)$$

де $\Sigma t_{пр}$ – сумарний час перебування зразків ОВТ в працездатному стані; Σt_p – сумарний час простоїв через непланові ремонти; $\Sigma t_{ТО}$ – сумарний час простоїв на технічному обслуговуванні.

Сумарний час на виконання робіт технічного обслуговування для удосконаленої системи технічного обслуговування і ремонту визначається за виразом

$$\Sigma t_{ТОу} = \sum_{i=1}^{N_1} t_{ТОi} + \sum_{i=1}^{N_1} t_{\partial З Ч i}, \quad (2)$$

де $t_{ТОi}$ – час проведення i -го номерного технічного обслуговування; $t_{\partial З Ч i}$ – час доставки запасних

частин для проведення робіт з i -го номерного технічного обслуговування; N_1 – кількість проведених номерних технічних обслуговувань.

Сумарний час на виконання робіт з поточного ремонту для удосконаленої системи технічного обслуговування і ремонту $\Sigma t_{ПРy}$ визначається за виразом

$$\Sigma t_{ПРy} = \sum_{j=1}^{N_2} t_{ПРj} + \sum_{j=1}^{N_2} t_{\partial З Ч j}, \quad (3)$$

де T_p – трудомісткість поточного ремонту, люд.-год.; $C_{\text{люд.год.}}$ – вартість однієї людино-години; K_p – результуючий коефіцієнт коригування трудомісткості поточного ремонту залежно від терміну перебування зразків ОВТ в експлуатації.

Необхідно відмітити, що відсутність запасної частини, яка необхідна для проведення непланового ремонту зразків ОВТ, збільшує час ремонту і зменшує час використання машин за призначенням.

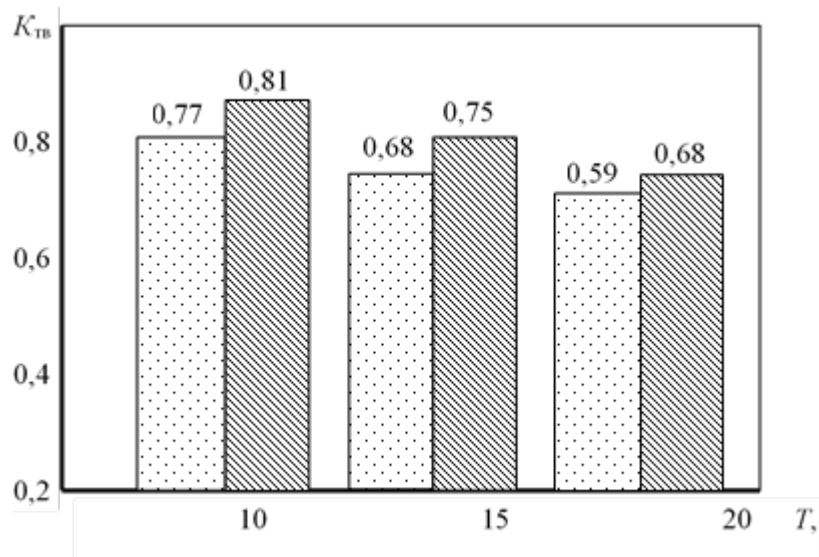


Рисунок 1 – Значення коефіцієнта технічного використання для зразків ОВТ, на прикладі шляхопрокладачів БАТ-2, з різними термінами перебування в експлуатації:



– існуюча система технічного обслуговування і ремонту;

– удосконалена система технічного обслуговування і ремонту.

Удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту зразків ОВТ за рахунок впровадження методики визначення номенклатури та кількості запасних частин в групових а ремонтних комплектах підвищило ефективність її функціонування. Для шляхопрокладачів БАТ-2 з терміном перебування в експлуатації біля 10 років ефективність функціонування системи технічного обслуговування і ремонту підвищилась на 4%, з терміном перебування в експлуатації 15 років – на 7%, 20 років – на 9%.

Для оцінки ефективності функціонування системи технічного обслуговування і ремонту машин інженерного озброєння, яка знята зі зберігання, показником для її оцінки взято коефіцієнт працездатності, який визначається за виразом

$$K_{\text{пр}} = \frac{\Sigma t_{\text{прз}}}{\Sigma t_{\text{прз}} + \Sigma t_{\text{р}} + \Sigma t_{\text{дзч}}}, \quad (4)$$

де $\Sigma t_{\text{прз}}$ – сумарного часу перебування зразків ОВТ в справному стані після зняття його зі зберігання;

$\Sigma t_{\text{р}}$ – сумарного часу простою через непланові ремонти; $\Sigma t_{\text{дзч}}$ – сумарного часу доставки запасних частин та витратних матеріалів для проведення робіт з непланового ремонту.

Для удосконаленої системи технічного обслуговування і ремонту номенклатура та кількість запасних частин в ремонтних та групових комплектах розраховується з застосуванням способу визначення номенклатури та способу визначення кількості запасних частин. Тобто час на доставку запасних частин та витратних матеріалів для проведення робіт з непланового ремонту зменшується, більшість запасних частин та витратних матеріалів входять до складу групових та ремонтних комплектів, інші на найближчих складах.

Таким чином, удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту машин інженерного озброєння, які перебувають в експлуатації, шляхом впровадження способів визначення номенклатури та кількості запасних частин, які входять до складу групових та ремонтних комплектів, підвищить ефективність її функціонування на 4 – 9% на прикладі шляхопрокладачів БАТ-2 в залежності від терміну перебування їх в експлуатації.

Поляков Андрій Павлович - д.т.н., професор завідувач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: poliakovap61@gmail.com.

Терещенко Олександр Петрович - к.т.н., доцент кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: atereschenko96@gmail.com

Мороз Лариса Василівна – старший викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: farv@inmt.vntu.edu.ua.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING OF THE IMPROVED SYSTEM OF TECHNICAL MAINTENANCE AND REPAIR OF ENGINEERING WEAPONS MACHINES

Abstract

Improving the system of technical maintenance and repair of engineering weapons vehicles in operation by implementing methods for determining the nomenclature and quantity of spare parts included in group and repair kits will increase the efficiency of its operation by 4-9% using the example of BAT-2 track pavers, depending on the period of their operation.

Keywords: maintenance and repair systems for engineering weapons vehicles.

Polakov Andriy – Dr.Sc. (Eng.), Professor, head of the department of military training, Vinnytsia National Technical University, e-mail poliakovap61@gmail.com.

Tereschenko Oleksandr - Ph.D., Associate Professor of military training, Vinnytsia National Technical University, e-mail: atereschenko96@gmail.com

Moroz Larisa – Senior Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, e-mail: farv@inmt.vntu.edu.ua.

СУЧАСНІ МЕТОДИ БУДІВНИЦТВА ОБЛАДНАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК ЗА ДОПМОГОЮ 3-D ДРУКУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезі розглядаються сучасні підходи до створення та модернізації обладнання радіотехнічних військ із використанням технологій тривимірного (3D) друку. Проаналізовано можливості адаптації 3D-друку для виготовлення корпусних елементів, деталей кріплення, антенних конструкцій і засобів маскування. Особливу увагу приділено перевагам цієї технології, зокрема скороченню термінів виготовлення, зниженню вартості виробництва, підвищенню мобільності та гнучкості логістичних процесів. Запропоновано рекомендації щодо інтеграції адитивних технологій у систему забезпечення радіотехнічних військ.

Ключові слова: 3D друк, адитивні технології, радіотехнічні війська, військове обладнання, сучасні методи виробництва, цифрове моделювання.

У сучасних умовах розвитку військових технологій особливого значення набуває впровадження інноваційних підходів до виробництва та модернізації технічних засобів. Одним із перспективних напрямів є використання технологій тривимірного (3-D) друку для виготовлення елементів і комплектуючих обладнання радіотехнічних військ. 3-D друк відкриває нові можливості у швидкому створенні прототипів, зменшенні вартості виробництва, підвищенні мобільності ремонтних та технічних підрозділів. Враховуючи зростаючі вимоги до адаптивності та ефективності систем спостереження, виявлення й супроводу повітряних цілей, застосування адитивних технологій стає стратегічно важливим чинником у підвищенні боєздатності підрозділів радіотехнічних військ. Одним із найперспективніших напрямів сьогодення є застосування технологій адитивного виробництва, зокрема 3-D друку, у процесі будівництва та ремонту обладнання радіотехнічних військ [1, 2].

До особливостей використання 3-D друку в оборонній сфері можна віднести не тільки безпосередньо сам 3-D друк, а адитивне виробництво, яке базується на принципі пошарового створення об'єкта за цифровою моделлю.

У військовому контексті ця технологія відкриває нові можливості для швидкого виготовлення:

- елементів конструкцій радіолокаційного обладнання;
- захисних кожухів і корпусів;
- деталей для антенних систем;
- монтажних компонентів та кріплень;
- елементів охолоджувальних систем.

Технологія 3-D друку дозволяє оперативно виготовляти відсутні запчастини в умовах обмеженого доступу до традиційної логістики, що є особливо важливим у польових або бойових умовах. До переваги технології 3-D друку для радіотехнічних військ, в рамках виконання поставлених бойових завдань можна віднести [1, 2]:

- оперативність: мається на увазі, що виготовлення деталей на місці скорочує час на доставку та встановлення.

- гнучкість у проектуванні: можливість швидко модифікувати конструкцію залежно від специфіки завдання.

- зниження вартості: у порівнянні з традиційним машинобудуванням, адитивне виробництво часто вимагає менше матеріалу і ресурсів.

- автономність: це можливість створення мобільних 3-D друкарських станцій для використання безпосередньо у зоні бойових дій.

- зниження логістичних ризиків: відсутність необхідності транспортування великої кількості запасних частин.

У деяких країнах уже активно експериментують із застосуванням 3-D друку в збройних силах. Так, для прикладу:

- виготовлення легких антенних конструкцій із композитних матеріалів;
- друк корпусів для електроніки з екрануючими властивостями;
- створення засобів маскування та модулів радіотехнічної розвідки.

Такі підходи дозволяють зменшити загальну вагу обладнання, полегшити транспортування та забезпечити більш високу надійність завдяки швидкому відновленню несправностей.

Попри значні переваги, використання 3-D друку в оборонній сфері, впровадження цих технологій стикається з низкою викликів, які необхідно враховувати в перспективі застосування [2, 3]:

- необхідність сертифікації виробів для використання в умовах високих навантажень;
- матеріальні обмеження: не всі метали чи композити можуть бути використані для 3-D друку з бажаними характеристиками;
- захист цифрових моделей: питання кібербезпеки при збереженні та передачі CAD-файлів;
- потреба у кваліфікованих кадрах, здатних керувати адитивним обладнанням.

У найближчі роки очікується розширення спектра матеріалів, які можна використовувати для адитивного виробництва в оборонній сфері, зокрема полімерів із підвищеною термостійкістю та електропровідністю, а також металевих порошків для створення міцних несучих конструкцій. Інтеграція штучного інтелекту та автоматизованих систем управління дозволить вивести технологію на новий рівень ефективності [3, 4].

Таким чином, застосування 3-D друку в будівництві обладнання радіотехнічних військ є інноваційним та стратегічно важливим кроком. Це дозволяє підвищити мобільність, адаптивність та бойову ефективність підрозділів, зменшуючи залежність від традиційних логістичних каналів. Подальший розвиток цієї технології стане вагомим внеском у зміцнення обороноздатності держави.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Скородід , С. та Скляр , О. 2022. ПРОТИПОВІТРЯНА ОБОРОНА В ХОДІ ВСЕОХОПЛЮЮЧОЇ БОРОНИ УКРАЇНИ: ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ. Грааль науки . 12-13 (травень 2022), 145-153. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.29.04.2022.022>.

2. Лещенко С. П. Використання інформації ADS-B в інтересах підвищення якості ведення радіолокаційної розвідки повітряного простору / С. П. Лещенко, О. М. Колесник, С. А. Грицаєнко, С. І. Бурковський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХНУПС, 2017. – № 3(28). – С. 69–75.

3. Вибір способу формування цифрового коду азимутального положення антени в оглядових РЛС "старого" парку / О. А. Малишев, М. Р. Арасланов, О. М. Піскун, Є. С. Чекіров // Системи озброєння і військова техніка. – 2018. – № 1(53). – С. 175–182. http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2018_1_27

4. Колесник А.В., Напрямки розвитку радіотехнічних військ збройних сил України з врахуванням досвіду бойових дій / Матеріали IV Міжнародної науково-технічної інтернетконференції “Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки”, 13-14 листопада 2024 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс]. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 511 с. https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2025/materialy_confer_zbroya_11_2024.pdf

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Любич Володимир Володимирович – провідний експерт будівельний у частини забезпечення безпеки життя і здоров'я людини, захисту навколишнього природного середовища та забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення ТОВ «Інженерно-будівельне бюро», м. Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Колесникова Інна Миколаївна – викладач кафедри військової підготовки Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: innakolesnykova153@gmail.com

MODERN METHODS OF BUILDING EQUIPMENT FOR RADIO ENGINEERING TROOPS WITH THE HELP OF 3-D PRINTING

Abstracts

Abstract: The thesis discusses modern approaches to the creation and modernisation of equipment for radio engineering troops using three-dimensional (3D) printing technologies. The possibilities of adapting 3D printing for the manufacture of housing elements, fasteners, antenna structures and camouflage equipment are analysed. Particular attention is paid to the advantages of this technology, in particular, reduction of production time, lower production costs, increased mobility and flexibility of logistics processes. Recommendations for the integration of additive technologies into the system of support of radio engineering troops are proposed.

Keywords: 3D printing, additive technologies, radio engineering troops, military equipment, modern production methods, digital modelling.

Kolesnik Andrii V. - PhD student of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Lyubich Volodymyr V. – is a leading construction expert in the area of ensuring the safety of human life and health protection of the natural environment and provision of sanitary and epidemiological well-being of the population "Engineering and Construction Bureau" LLC, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Kolesnikova Inna M. - lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: innakolesnykova153@gmail.com

СУЧАСНІ МЕТОДИ БУДІВНИЦТВА ОБЛАДНАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК ЗА ДОПОМОГОЮ 3-D ДРУКУ

Анотація

У тезі розглядаються сучасні підходи до створення та модернізації обладнання радіотехнічних військ із використанням технологій тривимірного (3D) друку. Проаналізовано можливості адаптації 3D-друку для виготовлення корпусних елементів, деталей кріплення, антенних конструкцій і засобів маскування. Особливу увагу приділено перевагам цієї технології, зокрема скороченню термінів виготовлення, зниженню вартості виробництва, підвищенню мобільності та гнучкості логістичних процесів. Запропоновано рекомендації щодо інтеграції адитивних технологій у систему забезпечення радіотехнічних військ.

Ключові слова: 3D друк, адитивні технології, радіотехнічні війська, військове обладнання, сучасні методи виробництва, цифрове моделювання.

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Любич Володимир Володимирович – провідний експерт будівельний у частини забезпечення безпеки життя і здоров'я людини, захисту навколишнього природного середовища та забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення ТОВ «Інженерно-будівельне бюро», м. Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Колесникова Інна Миколаївна – викладач кафедри військової підготовки Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: innakolesnykova153@gmail.com.

**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПІДРОЗДІЛІВ РТВ В УМОВАХ
ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ**

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглядаються сучасні методи підвищення ефективності переміщення підрозділів радіотехнічних військ (РТВ) в умовах активних бойових дій. Аналізуються основні чинники, що впливають на якість і безпеку переміщення, зокрема оперативність прийняття рішень, маскування, використання сучасних навігаційних засобів та алгоритмів планування маршрутів. Запропоновано підходи до оптимізації логістики, враховуючи загрози з боку противника, складність рельєфу та зміни тактичної обстановки. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення підготовки особового складу та планування бойових дій із залученням РТВ.

Ключові слова: радіотехнічні війська, бойові дії, переміщення підрозділів, тактична мобільність, бойова ефективність.

У сучасних умовах ведення бойових дій ефективність застосування підрозділів радіотехнічних військ (РТВ) Збройних Сил України значною мірою залежить від здатності оперативно й безпечно здійснювати переміщення у зонах підвищеної бойової активності. Висока мобільність і збереження боєздатності підрозділів під час передислокації є ключовими чинниками, що забезпечують своєчасне виявлення повітряних загроз та безперервність інформаційного забезпечення командування. Враховуючи специфіку сучасного оперативного середовища — динамічність бойових дій, застосування високоточного озброєння противником, а також потребу в швидкій зміні позицій для уникнення ураження — постає необхідність у пошуку та впровадженні ефективних методів підвищення якості переміщення РТВ. Для підвищення якості переміщення підрозділів необхідний аналіз наявних підходів, виявлення актуальних проблем і формулювання практичних рекомендацій щодо оптимізації процесу передислокації радіотехнічних підрозділів в умовах бойових дій [1].

Від ефективності розгортання та передислокації підрозділів РТВ залежить стабільність роботи системи протиповітряної оборони, безперервність радіолокаційного контролю повітряного простору, а також живучість самих підрозділів.

Сучасний театр воєнних дій характеризується високою динамікою змін оперативної обстановки. РТВ мають забезпечувати постійне оновлення інформації про повітряну обстановку, швидко реагувати на зміну загроз, переміщатися з метою уникнення виявлення або знищення. У зв'язку з цим виникає необхідність пошуку ефективних методів організації та здійснення переміщення підрозділів РТВ з урахуванням бойової обстановки.

До основних методів підвищення якості переміщення підрозділів РТВ можна віднести:

- застосування сучасних засобів управління і навігації. Впровадження автоматизованих систем управління та навігаційних засобів (GPS/ГЛОНАСС, інерційні системи) дозволяє зменшити час на планування маршруту, уникати небезпечних ділянок, та швидко змінювати курс в разі загрози [2]. Забезпечення прохідності маршрутів — один з ключових факторів. Використання інженерних підрозділів для розмінування, обладнання переправ і укриттів дає змогу уникнути затримок та зниження темпів пересування. До засобів реалізації можна віднести: використання безпілотників для розвідки маршруту, встановлення тимчасових мостів і понтонів, протимінні заходи.

- ретельна розвідка маршрутів та вибір оптимальних шляхів. Попередня інженерна розвідка маршрутів, використання безпілотників для розвідки доріг, мостів і можливих вогневих засідок дозволяє зменшити ризики при переміщенні. Важливо також застосовувати декілька альтернативних маршрутів.

- маскування і дотримання радіомовчання. Переміщення підрозділів повинно здійснюватися з дотриманням заходів радіоелектронної безпеки. Використання маскувальних засобів, постановка димових завіс, а також імітація переміщення дозволяє вводити противника

в оману. З метою збереження бойової спроможності, переміщення має відбуватися з дотриманням усіх вимог маскуванню.

- чітке планування та взаємодія з іншими підрозділами [1-3]. Підвищення якості переміщення можливе лише за умови чіткої взаємодії з підрозділами забезпечення, охорони і прикриття. Наявність резервних сил для підтримки та евакуації у випадку обстрілу також є необхідною умовою.

- висока технічна готовність техніки. Своєчасне технічне обслуговування засобів переміщення, ремонт і перевірка транспортних засобів гарантують можливість швидкого та безперебійного пересування навіть в складних умовах.

- тренування особового складу. Проведення регулярних тренувань з маршів, розгортання, згортання та евакуації техніки в умовах, наближених до бойових, підвищує злагодженість дій і дозволяє уникнути помилок у кризових ситуаціях.

- використання тактики "розосереджених маршів". Зменшення щільності колон, розбиття груп на менші підрозділи з інтервалами в часі та просторі підвищує живучість підрозділів при можливому авіаційному або артилерійському ударі.

Підрозділи РТВ забезпечують радіолокаційне спостереження, виявлення повітряних цілей, передачу даних до командних пунктів і управління засобами ураження. Вони повинні зберігати високу мобільність, злагодженість та здатність до швидкого розгортання [3]. При цьому особливу увагу слід приділяти збереженню засобів зв'язку, маскуванню, забезпеченню електроживлення та дотриманню радіоелектронної безпеки. Успішне переміщення базується на глибокому аналізі оперативної обстановки. Завчасне планування маршів, прокладання альтернативних маршрутів та врахування ймовірних дій противника дозволяє уникнути втрат та забезпечити своєчасне розгортання [4]. До засобів реалізації можна віднести:

- використання геоінформаційних систем (ГІС);
- моделювання маршрутів;
- врахування даних розвідки.

Підвищення якості переміщення підрозділів РТВ в умовах ведення бойових дій є багатофакторною задачею, що вимагає комплексного підходу. Використання сучасних технологій, чітке планування, дотримання заходів безпеки, а також висока підготовка особового складу – це ключові складові успіху. В умовах постійно змінюваної обстановки саме ефективно переміщення дозволяє РТВ зберегти боєздатність і продовжувати виконання своїх завдань з виявлення та контролю повітряних загроз.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Титаренко, О. і Власенко, Є. 2024. Протиповітряна оборона в російсько-українській війні: уроки та рекомендації. Повітряна міць України. 1, 6 (Чер 2024), 49–55. DOI: <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2024-1-6-49-55>.
2. Вибір способу формування цифрового коду азимутального положення антени в оглядових РЛС "старого" парку / О.А. Малишев, М.Р. Арасланов, О.М. Піскун, Є.С. Чекіров // Системи озброєння і військова техніка. – 2018. – № 1(53). – С. 175-182. http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2018_1_27
3. Шаманов Д. О., Сорокін А. Р. Аналіз сучасних методів радіоелектронної боротьби. Системи управління, навігації та зв'язку. 2024. Т. 1 (75). С. 211-214. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.1.211>
4. Колесник А.В., Ю.В. Георгієв Варіанти реалізації захисту радіолокаційних станцій від потенційного противника в умовах військових дій / Матеріали IV Міжнародної науково-технічної інтернетконференції "Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки", 13-14 листопада 2024 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс]. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 511 с. https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2025/materialy_confer_zbroya_11_2024.pdf

Бондаренко Павло Якович – старший викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, ORCID 0009-0004-4223-4451, м. Вінниця, e-mail: pavlobondarenko1970@gmail.com

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Любич Володимир Володимирович – провідний експерт будівельний у частини забезпечення безпеки життя і здоров'я людини, захисту навколишнього природного середовища та забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення ТОВ «Інженерно-будівельне бюро», м. Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

METHODS OF IMPROVING THE QUALITY OF MOVEMENT OF RTV UNITS IN THE CONDITIONS OF COMBAT OPERATIONS

Abstracts

The article considers modern methods of increasing the efficiency of movement of radio technical troops (RTW) units in the conditions of active hostilities. The main factors affecting the quality and safety of movement are analysed, in particular, the efficiency of decision-making, camouflage, the use of modern navigation aids and route planning algorithms. Approaches to optimising logistics are proposed, taking into account threats from the enemy, the complexity of the terrain and changes in the tactical situation. The results of the study can be used to improve the training of personnel and planning of combat operations involving RTW.

Keywords: radio engineering troops, combat operations, movement of units, tactical mobility, combat effectiveness.

Bondarenko Pavlo Y. – senior Lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, ORCID 0009-0004-4223-4451, Vinnytsia, e-mail: pavlobondarenko1970@gmail.com.

Kolesnik Andrii V. - PhD student of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Lyubich Volodymyr V. – is a leading construction expert in the area of ensuring the safety of human life and health protection of the natural environment and provision of sanitary and epidemiological well-being of the population "Engineering and Construction Bureau" LLC, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПІДРОЗДІЛІВ РТВ В УМОВАХ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ

Анотація

Розглядаються сучасні методи підвищення ефективності переміщення підрозділів радіотехнічних військ (РТВ) в умовах активних бойових дій. Аналізуються основні чинники, що впливають на якість і безпеку переміщення, зокрема оперативність прийняття рішень, маскування, використання сучасних навігаційних засобів та алгоритмів планування маршрутів. Запропоновано підходи до оптимізації логістики, враховуючи загрози з боку противника, складність рельєфу та зміни тактичної обстановки. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення підготовки особового складу та планування бойових дій із залученням РТВ.

Ключові слова: радіотехнічні війська, бойові дії, переміщення підрозділів, тактична мобільність, бойова ефективність.

Бондаренко Павло Якович – старший викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, ORCID 0009-0004-4223-4451, м. Вінниця, e-mail: pavlobondarenko1970@gmail.com

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Любич Володимир Володимирович – провідний експерт будівельний у частини забезпечення безпеки життя і здоров'я людини, захисту навколишнього природного середовища та забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення ТОВ «Інженерно-будівельне бюро», м. Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ДАЛЬНІХ ДРОНІВ З ВРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ СУЧАСНОЇ ВІЙНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезі розглянуто перспективи розвитку дальніх безпілотних літальних апаратів (БПЛА) на основі аналізу досвіду їх застосування у сучасних військових конфліктах. Акцентується увага на ролі дальніх дронів у зміні характеру ведення бойових дій, зокрема у сфері розвідки, ударних операцій та стратегічного стримування. Приведено технічні, тактичні та організаційні особливості використання дронів великої дальності, визначено ключові виклики та переваги. Окрему увагу приділено тенденціям у розвитку технологій автономного управління, штучного інтелекту та захисту від радіоелектронної боротьби. Запропоновано напрями подальшого вдосконалення дальніх БПЛА з урахуванням уроків, отриманих під час повномасштабних збройних конфліктів останніх років.

Ключові слова: дальні дрони, безпілотні літальні апарати, сучасна війна, розвиток БПЛА, бойове застосування дронів, автономні системи.

Сучасні військові конфлікти, зокрема повномасштабна війна в Україні, кардинально змінили уявлення про роль безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у бойових діях. Дрони стали не лише засобом розвідки, а й ефективним інструментом для ураження цілей на великих відстанях, коригування вогню, ведення інформаційної боротьби та логістики. Особливе значення набувають дальні дрони, здатні проникати вглиб ворожої території, зберігаючи високу точність, автономність і здатність протидіяти засобам радіоелектронної боротьби. Досвід сучасної війни демонструє потребу в переосмисленні підходів до проектування, виробництва та застосування дронів дальньої дії, враховуючи не лише технічні характеристики, а й адаптивність до нових умов ведення бойових дій.

Під час російсько-української війни дальні дрони, зокрема українські «Бобри», модифіковані радянські «Стриж» та російські «Shahed-136» (іранського виробництва), стали інструментом стратегічного впливу. Вони дозволили сторонам здійснювати атаки на важливі об'єкти інфраструктури, логістичні вузли, склади боєприпасів і навіть аеродроми на значній відстані від лінії фронту.

Такий досвід засвідчив нову реальність: дрони можуть замінити дорогі крилаті ракети, оскільки коштують у десятки разів менше, але завдають співмірної шкоди. Крім того, вони створюють постійний психологічний тиск, знижують ефективність ППО, а також змушують витрачати ресурси противника на перехоплення [1].

Роль дальніх дронів у сучасних конфліктах важко переоцінити. Дальні дрони (з дальністю польоту від 100 км і більше) довели свою ефективність у:

- ураженні стратегічних цілей в тилу противника (склади, ППО, аеродроми);
- веденні розвідки на великих відстанях без ризику для життя пілотів;
- психологічному впливі – як засіб постійної загрози в глибокому тилу ворога;
- залученні до асиметричних операцій, де немає домінування у повітрі.

Зокрема, Україна успішно використовує безпілотники типу UJ-22 Airborne, Bober, Aeorrakt та імпровізовані дрони дальньої дії, що свідчить про гнучкість і інноваційність підходів [2].

Основні виклики з якими доводиться вирішувати для дальніх БПЛА, які вніс досвід сучасної війни:

- радіоелектронна боротьба (РЕБ): Системи РЕБ можуть глушити GPS, керування та зв'язок;
- системи ППО: сучасна протиповітряна оборона все ефективніше перехоплює дрони;
- обмеження по корисному навантаженню: Багато дальніх БПЛА мають малу бойову частину;
- енергетичні потреби: тривалі польоти вимагають нових технологій енергоефективності.

З урахуванням вищенаведених викликів, перспективи розвитку дальніх дронів можна поділити на кілька ключових напрямів [3]:

- збільшення автономності та ШІ. Використання штучного інтелекту дозволяє дронам самостійно ухилятися від загроз, змінювати маршрут, ідентифікувати цілі. Це особливо важливо в умовах глушіння зв'язку;

- удосконалення матеріалів та конструкцій. Легка, радіопрозора та малопомітна для радарів конструкція підвищує шанси на успішне виконання місії. Активно досліджуються композитні матеріали та конструкції з низькою ефективною площею розсіювання.

В свою чергу нові типи акумуляторів, використання сонячних панелей або гібридних двигунів дають змогу значно продовжити час польоту. Уніфіковані платформи, що можуть нести різні типи бойового навантаження (розвідка, удар, РЕБ), дозволяють швидко адаптуватися до зміни умов. Надійне шифрування та резервні канали управління стають критично важливими в умовах активної боротьби в кіберпросторі.

Дальні дрони стали важливим елементом сучасної війни. Їх ефективність доведена як на полі бою, так і в стратегічних операціях. Водночас, швидкість їх розвитку має йти в ногу з протидією противника – ППО, РЕБ та кіберзагрозами [4]. Саме тому інвестиції у штучний інтелект, енергоефективність, масовість виробництва та захищеність зв'язку визначатимуть конкурентоспроможність армій у майбутньому.

Враховуючи український досвід, країни світу отримали унікальну можливість випробувати та адаптувати дрони в умовах масштабного конфлікту. Це знання стане фундаментом нової епохи військових технологій, де безпілотні платформи відіграватимуть ключову роль.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Нехін М., Каневський Л., Мирончук Ю. (2023). Формування сукупності параметрів бойових можливостей ударних безпілотних літальних апаратів на основі фасетної системи класифікації. Військово-технічний збірник, (28), 87–99. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.28.2023.87-99>

2. Андерсон, Г.Г. 2024. Безпілотні системи військового призначення: досвід та перспективи застосування. Академічні візії. 35 (Вер 2024). <https://www.academy-vision.org/index.php/av/article/view/1346>

3. Корсунов С.І., Трансформація завдань безпілотної авіації: від створення до застосування у воєнних конфліктах сучасності.(2021)/ Корсунов С.І., Волков А.Ф., Оборонов М.І., Орехов С.В., Гуртовенко В.В., Федченко С.І.//Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України.-2021.- №3(44).- с.66-81. DOI: 10.30748/nitps.2021.44.08.

4. Колесник А.В. Подавлення зв'язку FPV-дронів методами активного впливу. / Матеріали IV Міжнародної науково-технічної інтернетконференції “Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки”, 13-14 листопада 2024 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс]. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 511 с. https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2025/materialy_confer_zbroya_11_2024.pdf

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Любич Володимир Володимирович – провідний експерт будівельний у частини забезпечення безпеки життя і здоров'я людини, захисту навколишнього природного середовища та забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення ТОВ «Інженерно-будівельне бюро», м. Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Колесникова Інна Миколаївна – викладач кафедри військової підготовки Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: innakolesnykova153@gmail.com

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF LONG-RANGE DRONES, TAKING INTO ACCOUNT THE EXPERIENCE OF MODERN WARFARE

Abstracts

The thesis examines the prospects for the development of long-range unmanned aerial vehicles (UAVs) based on the analysis of their use in modern military conflicts. Attention is focused on the role of long-range drones in changing the nature of warfare, in particular in the field of reconnaissance, strike operations and strategic deterrence. The author presents the technical, tactical and organisational features of the use of long-range drones, identifies key challenges and advantages. Particular attention is paid to trends in the development of autonomous control technologies, artificial intelligence and protection against electronic warfare. The author proposes directions for further improvement of long-range UAVs, taking into account the lessons learned during the full-scale armed conflicts of recent years.

Keywords: long-range drones, unmanned aerial vehicles, modern warfare, development of UAVs, combat use of drones, autonomous systems

Kolesnik Andrii V. - PhD student of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Lyubich Volodymyr V. – is a leading construction expert in the area of ensuring the safety of human life and health protection of the natural environment and provision of sanitary and epidemiological well-being of the population "Engineering and Construction Bureau" LLC, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Kolesnikova Inna M. - lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: innakolesnykova153@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ДАЛЬНІХ ДРОНІВ З ВРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ СУЧАСНОЇ ВІЙНИ

Анотація

У тезі розглянуто перспективи розвитку дальніх безпілотних літальних апаратів (БПЛА) на основі аналізу досвіду їх застосування у сучасних військових конфліктах. Акцентується увага на ролі дальніх дронів у зміні характеру ведення бойових дій, зокрема у сфері розвідки, ударних операцій та стратегічного стримування. Приведено технічні, тактичні та організаційні особливості використання дронів великої дальності, визначено ключові виклики та переваги. Окрему увагу приділено тенденціям у розвитку технологій автономного управління, штучного інтелекту та захисту від радіоелектронної боротьби. Запропоновано напрями подальшого вдосконалення дальніх БПЛА з урахуванням уроків, отриманих під час повномасштабних збройних конфліктів останніх років.

Ключові слова: дальні дрони, безпілотні літальні апарати, сучасна війна, розвиток БПЛА, бойове застосування дронів, автономні системи.

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Любич Володимир Володимирович – провідний експерт будівельний у частини забезпечення безпеки життя і здоров'я людини, захисту навколишнього природного середовища та забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення ТОВ «Інженерно-будівельне бюро», м. Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Колесникова Інна Миколаївна – викладач кафедри військової підготовки Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: innakolesnykova153@gmail.com.

БЕЗПІЛОТНІ ТРАНСПОРТНІ АПАРАТИ. ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ В УМОВАХ СУЧАСНОЇ ВІЙНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглядаються безпілотні транспортні апарати як один із ключових елементів сучасного військового протистояння. Проаналізовано основні типи безпілотних систем, їх функціональні можливості та сфери застосування на театрі бойових дій. Особливу увагу приділено перспективам розвитку безпілотних технологій у контексті трансформації методів ведення війни, зокрема збільшенню ролі штучного інтелекту, автономності та мережевої взаємодії. Також окреслено виклики та загрози, пов'язані з масовим використанням дронів, зокрема у сфері електронної боротьби та захисту від ворожих БПЛА. Зроблено висновки щодо стратегічного значення інвестування у розвиток вітчизняного безпілотного потенціалу в умовах гібридної війни та необхідності вдосконалення нормативно-правової бази для ефективної інтеграції таких систем у структуру Збройних сил.

Ключові слова: безпілотні апарати, БПЛА, сучасна війна, військові технології, автономні системи, тактика застосування.

У сучасних умовах ведення бойових дій технології відіграють вирішальну роль у досягненні переваги на полі бою. Одним із ключових напрямів технічного прогресу у військовій сфері стало стрімке розширення використання безпілотних транспортних апаратів (БПА), які суттєво змінюють тактику, стратегію та логістику сучасної війни. Безпілотники забезпечують розвідку, коригування вогню, удари по цілях, а також виконують логістичні й евакуаційні функції з мінімальним ризиком для особового складу. Їхня ефективність, відносна доступність та можливість швидкої модернізації роблять БПА одним із найперспективніших засобів ведення бойових дій у XXI столітті. Розглянемо основні типи безпілотних транспортних апаратів, їхнє значення в умовах сучасної війни та перспективи подальшого розвитку з урахуванням технологічних, тактичних та геополітичних змін [1, 2].

Безпілотні транспортні апарати — це механізми, здатні виконувати завдання без безпосередньої участі людини на борту. Вони поділяються на різні типи за сферою застосування: літальні апарати (БПЛА), наземні (UGV), морські (USV та UUV) та гібридні системи. Основною їх перевагою є здатність працювати в небезпечних або важкодоступних умовах, де застосування звичайної техніки або людей є надто ризикованим. У сучасних конфліктах, зокрема під час повномасштабної війни в Україні, безпілотники стали ключовим інструментом. Вони виконують десятки завдань: аеророзвідка, коригування артилерійського вогню, скидання вибухівки, доставка боєприпасів, евакуація поранених, мінування територій тощо. Війна Росії проти України показала безпрецедентне використання БПА в реальних бойових умовах. Українські захисники активно застосовують як комерційні дрони, модифіковані під військові потреби, так і високотехнологічні апарати військового зразка, наприклад, "Bayraktar TB2", "Punisher", FPV-дрони тощо [3].

Особливо ефективним стало застосування дронів-камікадзе, здатних вражати техніку й живу силу противника. Також набирає популярності так званий "дроновий рій" — одночасне використання великої кількості безпілотників для масованого удару або розвідки.

Завдяки мініатюризації, штучному інтелекту та високоточним сенсорам, БПА можуть діяти з високою ефективністю і точністю. Системи типу «дрон-камікадзе» (наприклад, Shahed-136 або український «Лютий») стали грізною зброєю в боротьбі з важкою технікою та інфраструктурою ворога [4].

До основних переваг використання БПА можна віднести наступні:

- зменшення втрат серед особового складу — бойові дії із застосуванням БПА знижують потребу в прямій участі людей у небезпечних операціях;
- висока точність і ефективність — сучасні дрони здатні з високою точністю вражати цілі, працювати вночі, в умовах поганої видимості;

- мобільність і швидкість — безпілотники можуть швидко проникати в тил ворога, передавати розвіддані в режимі реального часу;
- вартість — багато сучасних дронів є дешевшими за традиційні системи озброєння, що робить їх доступними навіть для невеликих армій.

Подальший розвиток безпілотних систем пов'язаний із кількома ключовими напрямками:
- автономність і штучний інтелект. Нові алгоритми дозволяють апаратам самостійно приймати рішення на полі бою, обходити перешкоди, уникати ППО та координуватися у роях;
- збільшення дальності та витривалості. Технології енергоефективності та нові джерела живлення дозволяють апаратам діяти на більших відстанях та протягом тривалішого часу;
- масштабування виробництва. Удешевлення компонентів та спрощення конструкцій дозволяє виробляти БПА масово, що забезпечує стратегічну перевагу;
- кіберзахист. Зі зростанням використання БПА важливим стає захист від хакерських атак, перехоплення сигналів і дезінформації.
- інтеграція у бойові системи. У майбутньому безпілотники діятимуть у зв'язці з танками, артилерією та авіацією, створюючи єдине бойове середовище.

Хоча безпілотні апарати відкривають нові можливості, вони також породжують виклики. Серед них — моральні аспекти автономного прийняття рішень про знищення цілі, ризики масового застосування дронів-убивць, а також потенціал їх використання в терористичних цілях [5].

Безпілотні транспортні апарати вже сьогодні змінюють хід воєнних дій, і їхня роль у майбутньому лише зростатиме. У сучасній війні, де важлива кожна секунда і кожен метр території, БПА дають змогу діяти швидко, точно й ефективно. Їхній розвиток — це не лише питання технологій, а й стратегічної безпеки держав, що прагнуть зберегти перевагу на полі бою. Тому інвестиції в цю сферу та розвиток власного виробництва — це шлях до зміцнення обороноздатності та національного суверенітету.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андерсон, Г.Г. 2024. Безпілотні системи військового призначення: досвід та перспективи застосування. Академічні візії. 35 (Вер 2024). <https://www.academy-vision.org/index.php/av/article/view/1346>
2. Корсунов С.І., Трансформація завдань безпілотної авіації: від створення до застосування у воєнних конфліктах сучасності.(2021)/ Корсунов С.І., Волков А.Ф., Оборонов М.І., Орехов С.В., Гуртовенко В.В., Федченко С.І.//Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України.-2021.- №3(44).- с.66-81. DOI: 10.30748/nitps.2021.44.08.
3. Венцюк, А., Бурдейна, Н., Федченко, О., та Косовський, С. (2024). Аналіз сучасного стану та перспектив розвитку логістичного забезпечення під час підготовки та під час бойових дій. Соціальний розвиток і безпека , 14 (3), 245-255. <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.3.17>
4. Коваль, В., Семененко, О., Баранов, С., Островський, С., Акініна, Т., та Сеченєв, О. (2023). Роль та місце роботизованих систем у сучасних війнах та збройних конфліктах: теоретичний аспект. Соціальний розвиток і безпека , 13 (5), 256-276. <https://doi.org/10.33445/sds.2023.13.5.24>
5. Горбулін, В. П. (2019). Забезпечення оборони та безпеки України: актуальні проблеми і шляхи їх вирішення. Visnik Nacional Noi Academii Nauk Ukrai Ni, (9), 3–18. <https://nasu-periodicals.org.ua/index.php/visnyk/article/view/7198>

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Віщун Ігор В'ячеславович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: viv@vntu.edu.ua.

Діденко Юрій Анатолійович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, місто Вінниця, e-mail: uradidenko2024@gmail.com.

UNMANNED VEHICLES. PROSPECTS FOR FURTHER DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF MODERN WARFARE

Abstract

The article considers unmanned vehicles as one of the key elements of modern military confrontation. The author analyses the main types of unmanned systems, their functionality and areas of application in the theatre of operations. Particular attention is paid to the prospects for the development of unmanned technologies in the context of the transformation of warfare methods, in particular, the increasing role of artificial intelligence, autonomy and networking. The author also outlines the challenges and threats associated with the massive use of drones, in particular in the field of electronic warfare and defence against enemy UAVs. The author draws conclusions about the strategic importance of investing in the development of domestic unmanned capabilities in the context of hybrid warfare and the need to improve the legal framework for the effective integration of such systems into the structure of the Armed Forces.

Keywords: unmanned aerial vehicles, UAVs, modern warfare, military technologies, autonomous systems, tactics of use.

Kolesnyk Andrii V. - PhD student of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Vishchun Igor V. – lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: viv@vntu.edu.ua.

Didenko Yuriy A. – speaker of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: uradenko2024@gmail.com.

БЕЗПІЛОТНІ ТРАНСПОРТНІ АПАРАТИ. ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ В УМОВАХ СУЧАСНОЇ ВІЙНИ

Анотація

Розглядаються безпілотні транспортні апарати як один із ключових елементів сучасного військового протистояння. Проаналізовано основні типи безпілотних систем, їх функціональні можливості та сфери застосування на театрі бойових дій. Особливу увагу приділено перспективам розвитку безпілотних технологій у контексті трансформації методів ведення війни, зокрема збільшенню ролі штучного інтелекту, автономності та мережевої взаємодії. Також окреслено виклики та загрози, пов'язані з масовим використанням дронів, зокрема у сфері електронної боротьби та захисту від ворожих БПЛА. Зроблено висновки щодо стратегічного значення інвестування у розвиток вітчизняного безпілотного потенціалу в умовах гібридної війни та необхідності вдосконалення нормативно-правової бази для ефективної інтеграції таких систем у структуру Збройних сил.

Ключові слова: безпілотні апарати, БПЛА, сучасна війна, військові технології, автономні системи, тактика застосування.

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Віщун Ігор В'ячеславович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: viv@vntu.edu.ua.

Діденко Юрій Анатолійович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, місто Вінниця, e-mail: uradidenko2024@gmail.com.

УЛАШТУВАННЯ ХИБНИХ ПОЗИЦІЙ ДЛЯ БОРОТЬБИ З ДРОНАМИ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ НА СВІТЛОВІ ПРОМЕНІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто методи улаштування хибних (імітаційних) позицій як засобу протидії безпілотним літальним апаратам (БПЛА), які здійснюють наведення або виявлення цілей за допомогою світлових (оптичних, інфрачервоних або лазерних) систем. Приведено сучасні технології дронів з оптичною навігацією, визначено їхні вразливості до дезінформації шляхом створення штучних світлових і теплових контурів. Запропоновано підходи до проектування хибних позицій, які імітують реальні об'єкти з урахуванням спектральних характеристик випромінювання, що дозволяє ефективно відволікати або вводити в оману ворожі дрони. Особливу увагу приділено маскуванню справжніх позицій шляхом керування світловим фоном.

Ключові слова: хибні позиції, боротьба з дронами, світлові промені, оптичне виявлення дронів, маскуванню позицій, оборонна інженерія

У сучасних умовах зростаючої ролі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у розвідці та веденні бойових дій, особливу загрозу становлять дрони, оснащені системами наведення, що використовують світлові промені – зокрема інфрачервоні або лазерні технології. Такі дрони здатні з високою точністю визначати цілі навіть в умовах обмеженої видимості, що значно ускладнює їх виявлення та знищення традиційними засобами. Одним із ефективних методів протидії цій загрозі є улаштування хибних позицій, які вводять в оману системи навігації та наведення дронів. Використання таких позицій дозволяє відволікати ворожі БПЛА, знижувати ефективність їхніх атак і зберігати справжні об'єкти інфраструктури та особовий склад. Розглянемо принципи побудови, типи та особливості застосування хибних позицій, а також їх ефективність у боротьбі з дронами, що працюють на основі світлових технологій.

Багато сучасних дронів оснащено тепловізорами, лазерними далекомірами, оптичними прицілами з автоматичним наведенням. Вони здатні фіксувати випромінювання, що йде від техніки або позицій, де присутні люди, двигуни, електронне обладнання. Ворог може з великої висоти виявляти й вражати такі об'єкти з високою точністю [1, 2].

Хибні позиції (імітаційні об'єкти) мають на меті: відволікання уваги розвідки противника, приманювання дронів на неправдиві цілі, знищення або виведення з ладу ворожих БПЛА, збереження реальних бойових одиниць та особового складу.

Принципи створення хибних позицій: тепла імітація, оптична імітація, активна протидія. Поговоримо про кожен принцип більш детально.

Теплова імітація передбачає під собою створення хибної позиції, яка повинна випромінювати тепло, подібне до людського тіла або двигуна техніки. Це можна досягти шляхом:

- використання нагрівальних елементів (термонагрівачів, хімічних джерел тепла);
- розміщення металевих об'єктів, які нагріваються від сонця;
- запуску димових шашок із тепловим ефектом.

Оптична імітація виконується для обману камер видимого спектру. Це передбачає:

- застосовуються макети озброєння та техніки з реалістичним зовнішнім виглядом;
- використовуються маскувальні сітки з включенням глянцевого, світловідбивного або поглинаючих матеріалів;

- симулюються сліди діяльності: імітація траншей, наметів, антен.

Іноді хибна позиція використовується для активного ураження дронів, наприклад:

- встановлення переносних РЕБ-засобів (радіоелектронної боротьби);
- замаскованих засобів ППО або систем з лазерним ураженням;
- приманка з вбудованим засобом спостереження для виявлення напрямку атаки.

Прикладами практичної реалізації можуть бути приведені наступні:

Хибна САУ або танк — з дерева та металу, із тепловим елементом усередині, який імітує роботу двигуна.

Фальшивий командний пункт — намет із антенами, генератором, імітацією радіообміну.

Хибна пускова установка ППО — зі світловідбивачами й оптичними пастками для прицільних систем дронів-камікадзе.

До переваг використання хибних позицій можна віднести: зменшення втрат техніки та особового складу; дешевизна у порівнянні з вартістю справжньої техніки; можливість ведення дезінформації [3].

До недоліків можна віднести наступні факти: Необхідність постійного оновлення імітацій через удосконалення сенсорів; ризик викриття при слабкій реалізації; потреба у ресурсах та логістиці.

Таким чином, улаштування хибних позицій — це стратегічно важлива й відносно доступна технологія боротьби з дронами, які використовують світлові промені для виявлення цілей. Успішне застосування таких засобів дозволяє виграти час, зберегти життя військових та критичну техніку, а також перенаправити ресурси противника на знищення «фантомних» об'єктів. В умовах сучасного бою це є одним із ключових елементів оборонної тактики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. С.І. Корсунов (2021). Трансформація завдань безпілотної авіації: від створення до застосування у воєнних конфліктах сучасності / С.І. Корсунов, А.Ф. Волков, М.І. Оборонов, С.В. Орехов, В.В. Гуртовенко, С.І. Федченко // ХНУПС, Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2021, № 3(44), 67–81. <https://scholar.archive.org/work/k2vqat4tx5cbnpiicmn3r4hj3u/access/wayback/https://journal-hnups.com.ua/index.php/nitps/article/download/701/604>

2. Мацуй А. (2022) Дослідження альтернативних методів навігації дронів / О. Майданик, А. Мацуй, Є. Мелешко // Автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві (АКІТ-2022): Матеріали міжнародної науковотехнічної конференції. – Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2022. – 33-35с. <https://dspace.kntu.kr.ua/bitstreams/704611dc-2643-49fc-9ca4-71fe7207d6b6/download#page=34>

3. Колесник А.В. (2025) Методи протидії оптоволоконним БПЛА на досвіді бойових дій. / Колесник А.В., Домненко М.Г. LIV Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2025). Вінниця, ВНТУ. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2025/paper/view/23391/19332>

Домненко Микола Григорович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: mikoladomnenko568@gmail.com

Любич Володимир Володимирович – провідний експерт будівельний у частини забезпечення безпеки життя і здоров'я людини, захисту навколишнього природного середовища та забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення ТОВ «Інженерно-будівельне бюро», м. Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

SETTING UP FALSE POSITIONS TO COMBAT DRONES THAT OPERATE ON LIGHT BEAMS

Abstract

The article considers the methods of establishing false (imitation) positions as a means of counteracting unmanned aerial vehicles (UAVs) that aim or detect targets using light (optical, infrared or laser) systems. The author presents modern technologies of optically guided drones and identifies their vulnerabilities to disinformation by creating artificial light and heat contours. Approaches to the design of false positions that mimic real objects, taking into account the spectral characteristics of radiation, are proposed, which can effectively distract or mislead enemy drones. Particular attention is paid to masking real positions by means of a controlled light background.

Keywords: false positions, drone warfare, light beams, optical drone detection, position masking, defence engineering.

Domnenko Mikola G. – speaker of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, e-mail: mikoladomnenko568@gmail.com.

Lyubich Volodymyr V. – is a leading construction expert in the area of ensuring the safety of human life and health protection of the natural environment and provision of sanitary and epidemiological well-being of the population "Engineering and Construction Bureau" LLC, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Kolesnik Andrii V. - PhD student of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

УЛАШТУВАННЯ ХИБНИХ ПОЗИЦІЙ ДЛЯ БОРОТЬБИ З ДРОНАМИ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ НА СВІТЛОВІ ПРОМЕНІ

Анотація

Розглянуто методи улаштування хибних (імітаційних) позицій як засобу протидії безпілотним літальним апаратам (БПЛА), які здійснюють наведення або виявлення цілей за допомогою світлових (оптичних, інфрачервоних або лазерних) систем. Приведено сучасні технології дронів з оптичною навігацією, визначено їхні вразливості до дезінформації шляхом створення штучних світлових і теплових контурів. Запропоновано підходи до проектування хибних позицій, які імітують реальні об'єкти з урахуванням спектральних характеристик випромінювання, що дозволяє ефективно відволікати або вводити в оману ворожі дрони. Особливу увагу приділено маскуванню справжніх позицій шляхом керування світловим фоном.

Ключові слова: хибні позиції, боротьба з дронами, світлові промені, оптичне виявлення дронів, маскування позицій, оборонна інженерія

Домненко Микола Григорович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: mikoladomnenko568@gmail.com.

Любич Володимир Володимирович – провідний експерт будівельний у частини забезпечення безпеки життя і здоров'я людини, захисту навколишнього природного середовища та забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення ТОВ «Інженерно-будівельне бюро», м. Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

**СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА КОМФОРТНОСТІ УКРИТТІВ ДЛЯ
ОСОБОВОГО СКЛАДУ НА ОСНОВІ ДОСВІДУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ**

Вінницький національний технічний університет

Анотація

На основі аналізу досвіду нещодавніх військових конфліктів, зокрема бойових дій в Україні, визначено основні проблеми існуючих систем укриттів, пов'язані з їх уразливістю до вогневих уражень, недостатнім захистом від кліматичних умов та обмеженими умовами для тривалого перебування. Запропоновано практичні рекомендації щодо конструктивного удосконалення укриттів, включаючи використання сучасних будівельних матеріалів, систем автономного енергозабезпечення, вентиляції, фільтрації повітря та оптимізації внутрішнього простору.

Ключові слова: особовий склад, інженерне забезпечення, захисні споруди, військові дії, бойовий досвід, модернізація укриттів, безпека військовослужбовців.

У сучасних умовах ведення бойових дій особливого значення набуває забезпечення надійного укриття для особового складу, що дозволяє зберегти життя та здоров'я військовослужбовців у зоні підвищеної небезпеки. Досвід збройних конфліктів, зокрема повномасштабної війни в Україні, наочно продемонстрував критичну роль якісно обладнаних укриттів у системі обороздатності підрозділів. Проблеми, пов'язані з недостатньою стійкістю до вогневого ураження, несприятливими кліматичними умовами та низьким рівнем комфорту, вимагають всебічного аналізу та пошуку ефективних інженерно-технічних рішень. Розглянемо основні способи підвищення надійності та комфортності укриттів для особового складу на основі реального бойового досвіду, з акцентом на практичні рекомендації, адаптовані до умов сучасної війни [1, 2].

Укриття для особового складу — ключовий елемент у системі інженерного забезпечення бойових дій. Надійні й комфортні укриття знижують бойові втрати, підтримують морально-психологічний стан військових і забезпечують ефективне виконання завдань. Досвід сучасних військових конфліктів, зокрема війни в Україні, виявив низку практичних рішень щодо підвищення як надійності, так і комфорту польових укриттів [3].

Одним з головних напрямків підвищення надійності укриттів є зміцнення їх конструкцій. Практика показала, що традиційні траншеї та бліндажі часто не витримують сучасних засобів ураження, таких як артилерійські снаряди великого калібру, касетні боеприпаси та дрони-камікадзе. У зв'язку з цим доцільним є [2]:

- використання бетонних або армованих конструкцій замість дерев'яно-земляних;
- застосування геотекстилю, плівки та гідроізоляційних матеріалів для підвищення водостійкості;
- встановлення металевих або пластикових перекриттів з амортизуючими вставками для зменшення впливу вибухової хвилі.

Забезпечення нормального мікроклімату у бліндажах є важливим чинником збереження здоров'я та боєздатності особового складу. Для цього рекомендується:

- встановлення примусової або природної вентиляції із системами фільтрації повітря;
- організація безпечного опалення — пічки з димоходом, що не накопичують чадний газ.
- утеплення стін і стелі за допомогою ізоляційних матеріалів (наприклад, пінопласт, мінеральна вата).

Сучасне укриття повинно мати мінімальні засоби комунікації та автономного живлення:

- використання генераторів або сонячних панелей для забезпечення освітлення та зарядки засобів зв'язку;

- обладнання укриттів радіозв'язком або проводовими лініями зв'язку;
- резервні джерела енергії та захист від електромагнітних імпульсів.

Тривале перебування у підземних укриттях вимагає створення мінімальних умов для відпочинку, харчування та гігієни:

- організація спальних місць на нарах із матрацами або утепленими настилами.
- встановлення ємностей для зберігання питної води та продуктів.
- облаштування тимчасових санітарних зон — біотуалетів або відведених місць для гігієни.

Ще один важливий аспект для уникнення виявлення укриттів противником [4]:

- маскування вхідних отворів рослинністю, сітками або імпровізованими укриттями.
- розташування укриттів з урахуванням природного рельєфу, в складках місцевості.
- розосередження кількох укриттів з одночасним створенням фальшивих об'єктів.

Традиційні землянки й бліндажі все частіше модернізуються за допомогою використання сучасних будівельних матеріалів з відповідними (необхідними) властивостями:

- геотекстильних мембран — для зміцнення стінок і захисту від вологи;
- бетонних або залізобетонних елементів — як перекриття чи каркаси;
- сучасних засобів маскування — для зменшення помітності укриттів з повітря.

Досвід ведення бойових дій в умовах постійної загрози артилерійського та авіаударів засвідчує доцільність:

- встановлення двошарових або багатошарових перекриттів із ґрунту, деревини й бетону;

- поглиблення укриттів для зменшення ураження при прямому влучанні;
- багатокамерності конструкцій, що дозволяє локалізувати наслідки ураження.

Підрозділи Збройних Сил України під час російської агресії у 2022–2024 рр. активно впроваджували наступні типи захасту:

- модульні бліндажі з дерев'яних щитів та арматурних каркасів;
- укриття з використанням шин, мішків із піском і залізобетонних плит;
- системи маскування з використанням сіток та природного ландшафту.

У міжнародній практиці, на досвіді військових НАТО використовують системи та матеріали, такі як: збірні конструкції на основі металевих каркасів і сендвіч-панелей, мобільні системи клімат-контролю та водоочистки, автоматизовані системи контролю доступу до укриттів [2, 4, 5].

Підвищення надійності та комфортності укриттів має безпосередній вплив на виживання, психологічний стан та бойову готовність військовослужбовців. Бойовий досвід останніх років свідчить про необхідність системного підходу до проектування, будівництва та експлуатації укриттів для особового складу. Сучасні засоби ураження вимагають нових технічних рішень, що забезпечують не лише надійний захист, а й гідні умови перебування. Залучення досвіду союзників, військових інженерів, а також практичних рекомендацій з фронту дозволить значно підвищити ефективність і життєздатність систем укриттів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Витримка та виживання на полі бою: підручник / [Н. Б. Вербин, С. М. Жембровський, О. В. Петрачков та ін.]. - К. : Національний університет оборони України ім. Івана Черняховського, 2023. - 190 с.
2. Терент'єва А. 2023. Досвід держави Ізраїль щодо управління безпекою цивільного населення в умовах кризових ситуацій. Науковий вісник: державне управління. 2 (14) (груд 2023), 310–333. [https://doi.org/10.33269/2618-0065-2023-2\(14\)-310-333](https://doi.org/10.33269/2618-0065-2023-2(14)-310-333)
3. Сенчихін Ю.М. 2023. Особливості забезпечення безпеки та захисту особового складу в умовах ведення бойових дій.// Сенчихін Ю.М., Дендаренко Ю.Ю./ Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, реагування та ліквідація їх наслідків. Матеріали круглого столу (вебінару). – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 23 лютого 2023. – 251с. http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/17264/1/36ірник%20стіл-2023_с.134-135.pdf
4. Водчиць О. Особливості облаштування укриттів тунельного та посиленого типів різних видів.// О.Г. Водчиць, Д.Ю. Кононенко, С.М. Левченко/ Національний авіаційний університет, Україна/ Всесвітній конгрес «Авіація XXI століття» - «Безпека в авіації та космічні технології» 2024. Київ. Перспективи та проблемні питання авіації. – Секція 10.2. <https://jrn1.nau.edu.ua/index.php/congress>
5. Колесник А.В., Томчук М.А., Томчук М.М. Особливості влаштування захисних споруд в умовах військового часу / Міжнародно науково-практична інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців. Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024) (2024) Вінниця, ВНТУ. [Електронний ресурс]. – Вінниця : ВНТУ, 2024. <https://confere.nces.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/21538>

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Записов Дмитро Васильович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: dzapisov@gmail.com

Терещенко Олександр Петрович – доц., к.т.н., кафедри військової підготовки Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: atereschenko96@gmail.com

WAYS TO IMPROVE THE RELIABILITY AND COMFORT OF SHELTERS FOR PERSONNEL BASED ON THE EXPERIENCE OF MILITARY OPERATIONS

Abstracts

Based on the analysis of the experience of recent military conflicts, in particular the fighting in Ukraine, the main problems of existing shelter systems are identified, related to their vulnerability to fire damage, insufficient protection from climatic conditions and limited conditions for long-term stay. Practical recommendations for the constructive improvement of shelters are proposed, including the use of modern building materials, autonomous power supply systems, ventilation, air filtration and optimisation of the internal space.

Keywords: personnel, engineering support, protective structures, military operations, combat experience, modernisation of shelters, safety of servicemen.

Kolesnik Andrii V. - PhD student of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Zapysov Dmytro V. – PhD student of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dzapisov@gmail.com

Tereshchenko Oleksandr P. – associate Professor, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: atereschenko96@gmail.com

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА КОМФОРТНОСТІ УКРИТТІВ ДЛЯ ОСОБОВОГО СКЛАДУ НА ОСНОВІ ДОСВІДУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

Анотація

На основі аналізу досвіду нещодавніх військових конфліктів, зокрема бойових дій в Україні, визначено основні проблеми існуючих систем укриттів, пов'язані з їх уразливістю до вогневих уражень, недостатнім захистом від кліматичних умов та обмеженими умовами для тривалого перебування. Запропоновано практичні рекомендації щодо конструктивного удосконалення укриттів, включаючи використання сучасних будівельних матеріалів, систем автономного енергозабезпечення, вентиляції, фільтрації повітря та оптимізації внутрішнього простору.

Ключові слова: особовий склад, інженерне забезпечення, захисні споруди, військові дії, бойовий досвід, модернізація укриттів, безпека військовослужбовців.

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Записов Дмитро Васильович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: dzapisov@gmail.com

Терещенко Олександр Петрович – доц., к.т.н., кафедри військової підготовки Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: atereschenko96@gmail.com

Г.А. Баглюк
А.І. Троцан
В.В. Коваленко
Г.О. Максимова
Г.М. Молчановська
Н.О. Уськова

СТРУКТУРА І ЯКІСТЬ СТАЛІ СИСТЕМИ Fe-Cr-Mo-V

Інститут проблем матеріалознавства НАН України

Анотація.

В роботі приведені результати металографічних, рентгеноструктурних, спектральних та механічних досліджень сталі системи Fe-Cr-Mo-V.

Ключові слова: мікроструктура, дифрактометрія, фазовий аналіз, спектральний аналіз, сорбітна сталь, механічні властивості.

Один з найбільш перспективних способів одержання та обробки сталей для виробництва зброї є метод заснований на використанні інтенсивної пластичної деформації крученням за умов високого гідростатичного стиснення. Цей метод дозволяє досягати максимальних ступенів деформації в експериментальних зразках за збереження їх цілісності. Метод інтенсивної пластичної деформації крученням при обробці трубних сталей забезпечує рівномірне фрагментування мікроструктури, призводить до формування мікророзмірних фаз і забезпечує суттєве підвищення характеристик міцності.

В роботі досліджувалась промислова сталь сорбітного класу зі стандартним хімічним складом (мас %: C-0,32; Mn-0,45; Si-0,35; Mo-0,9; Cr-3,00; V-0,25) її механічні властивості, структуру, оброблену інтенсивною пластичною деформацією крученням за різних температур.

Хімічний склад експериментальних зразків вивчали методом рентгенофлуоресцентного аналізу на спектрометрі EXPERT 3L W207U. Визначення вуглецю у зразках проводилося методом ізотермічної окисної екстракції на експрес-аналізаторі АН 7560М. Рентгенофазове дослідження складу проводили на дифрактометрі методами рентгенографії: рентгенофазового аналізу (РФА) та рентгеноструктурного аналізу (РСА) на дифрактометрі ДРОН-3 у відфільтрованому кобальтовому випромінюванні методом покрокового сканування в діапазоні кутів $2\theta \div 130^\circ$. Вивчення особливостей мікро- та макроструктури проводилися на оптичному мікроскопі ХЛ-17, а також на растровому електронному мікроскопі TESCANVEGA3 із рентгенофлуоресцентним аналізатором BRUKER. Оцінку характеристик міцності проводили методом неруйнівного контролю, вимірюючи мікротвердість за допомогою алмазної пірамідки Віккерса. Інші механічні характеристики досліджували стандартними методами.

Склад відповідає марці сталі 32CrMoV12-10 із вмістом вуглецю 0,30-0,32 мас.%. Дифрактограма сплаву 32CrMoV12-10 визначається дифракційними відображеннями ОЦК - решітки α -заліза з параметрами елементарної комірки $a=0,2865$ нм, що практично відповідає параметру решітки ($a=0,2866$ нм) нелегованого заліза. На дифрактограмі є відображення карбіду заліза, карбіду хрому і карбіду молібдену. Найбільш інтенсивна лінія (110) - заліза розділена на два піку, а дифракційні лінії на великих кутах значно розширені, що є результатом деформаційного впливу і виникненням мікрореформацій в решітці α -заліза. Мікроструктура є гетерогенною дрібнозернистою сорбіто-трооститного класу з розміром зерна від 0,5 мкм до 15 мкм зі слідами інтенсивної пластичної деформації. Великі зерна мають розвинену субзеренну структуру. У структурі є нерівномірна текстура вздовж напрямку дії деформації крученням. Карбіди мають в основному сферичну форму і розташовуються переважно на дефектах кристалічної будови - границь зерен і потрійних стиках, формуючи в деяких місцях карбідні колонії і викликаючи розміцнення решітки, призводячи до холодноламкості сталі.

Мікротвердість змінюється в межах від 227 МПа до 375 МПа та для експериментальних зразків не змінюється в площі перерізу зразка. Ударна в'язкість КСУ при +20 °С для даної сталі становить 1,33 МДж/м². В таблиці 1 наведено механічні властивості сталі 32CrMoV12-10.

Таблиця 1 – Механічні характеристики сталі 32CrMoV12-10

N	T	σ_{001}	σ_{02}	σ_b	$\delta_{р\ddot{u}в}$	$\delta_{загальн}$	$S_{ру\ddot{u}н}$	e	ψ
	°C	МПа	МПа	МПа	%	%	МПа		%
1	20	1049,5	1253,0	1399,9	4,48	12,67	2076,9	0,880	58,51
2	20	1009,7	1261,8	1399,9	4,19	13,36	1962,0	0,839	56,80
3	700	125,0	138,1	161,6	7,18	53,40	169,5	2,714	93,37

Досліджувана марка сталі відноситься до сталей перлітного класу. Оптимальна температура, що рекомендована для експлуатації, відповідає 500-510 °С. При знижених температурах сталь має холодноламкість, що обмежує температурний інтервал застосування. Як видно з механічних характеристик (табл. 1), сталь не може використовуватися при нагріві ствола до 700°С. Сфера застосування сталі – виробництво зброї.

Відомості про авторів:

Баглюк Геннадій Анатолійович, чл.-кор. НАН України, професор, директор Інституту проблем матеріалознавства НАН України, м. Київ, e- адреса: gbag@ukr.net;

Троцан Анатолій Іванович, д.т.н., професор, головний науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства НАН України, м. Київ, e- адреса: don1945@ukr.net;

Коваленко Валентина Володимирівна, старший науковий співробітник, к.т.н, старший науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства НАН України, м. Київ, e-адреса: vkovdp@gmail.com;

Максимова Галина Олексіївна, науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства НАН України, м. Київ, e- адреса: maksimova@i.ua

Молчановська Галина Михайлівна, науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства НАН України, м. Київ, e- адреса: galina_mm@ukr.net

Уськова Наталія Олексіївна, старший науковий співробітник, к.т.н, старший науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства НАН України, м. Київ, e-адреса:

STRUCTURE AND QUALITY OF STEEL SYSTEM Fe-Cr-Mo-V

Abstract

The paper presents the results of metallographic, X-ray structural, spectral and mechanical studies of steel of the Fe-Cr-Mo-V system.

Keywords: microstructure, diffractometry, phase analysis, spectral analysis, sorbite steel, mechanical properties.

Information about the authors:

Baglyuk Hennadiy Anatoliyovych, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Professor, Director of the Institute of Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine, cit. Kyiv, e-mail address: gbag@ukr.net;

Trotsan Anatoliy Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine, cit. Kyiv, e-mail address: don1945@ukr.net;

Kovalenko Valentina Volodymyrivna, Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Institute of Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine, cit. Kyiv, e-mail address: vkovdp@gmail.com;

Maksimova Galina Oleksiivna, Researcher, Institute for Problems of Materials Science, NAS of Ukraine, cit. Kyiv, e-mail: maksimova@i.ua

Molchanovska Galina Mykhailivna, Researcher, Institute for Problems of Materials Science, NAS of Ukraine, cit. Kyiv, e-mail: galina_mm@ukr.net

Uskova Natalya Oleksiivna, Senior Researcher, Ph.D., Senior Researcher, Institute for Problems of Materials Science, NAS of Ukraine, cit. Kyiv, e-mail:

О.А. Амеліна
О.В. Зайчук
Ю.С. Гордєєв
Ю.Р. Калішенко
Д.В. Філоненко
Я.С. Ставнича

СТРОНЦІЙ-АНОРТИТОВА КЕРАМІКА ДЛЯ РАКЕТНОЇ ТЕХНІКИ

Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)

Анотація

Розроблена стронцій-анортитова кераміка, яка володіє високими значеннями механічної міцності, нульовим водопоглинанням, високими показниками термостійкості та вогнетривкості. За значеннями діелектричних показників розроблена стронцій-анортитова кераміка відповідає вимогам, які висуваються до радіопрозорих матеріалів і може бути використана для виготовлення обтікачів ракет різного класу.

Ключові слова: стронцій-анортитова кераміка, обтікачі літальних апаратів

Відсутність власного виробництва ракетного озброєння в Україні спонукає для пошуку технічних рішень щодо розробки та виготовлення ракет різного класу. Однієї із важливих складових літального апарату є носовий антенний обтікач, який, як правило, виготовляють із керамічних або склокристалічних матеріалів. До обтікачів літальних апаратів висувають низку вимог, насамперед, це радіопрозорість в області радіочастот для передавання сигналу без викривлень, що обумовлює точність наведення на ціль. Окрім того, наявність комплексу фізико-технічних властивостей виробу буде забезпечувати його експлуатаційні властивості. Серед них високу ерозійну стійкість забезпечують нульові показники водопоглинання. Термостійкість в умовах швидкісного нагріву обумовлюють низькі значення термічного коефіцієнту лінійного розширення кераміки. Низькі показники діелектричних сталей (діелектричної проникності та діелектричних втрат) обумовлюють високу радіопрозорість виробів [1].

Серед матеріалів для виготовлення обтікачів літальних апаратів найбільш відомими є кварцова та літійалюмосилікатна кераміка, яку використовують для виготовлення головок самонаведення керованих ракет (ракети класу повітря-повітря, протирадіолокаційні ракети, протитанкові керовані ракети нового покоління). Перевагами кварцової кераміки є висока термостійкість та низька питома вага. Проте недостатніми є значення механічної міцності та висока поруватість виробів, яку необхідно додатково закривати вологонепроникним покриттям [2]. Висока механічна міцність, термостійкість є основними перевагами літійалюмосилікатної кераміки, основною кристалічною фазою якої є сподумен або екрипитит. Знижені показники діелектричних характеристик внаслідок наявного літію оксиду в складах кераміки є недоліком [3].

Пошук сучасних керамічних матеріалів для виробництва обтікачів літальних апаратів, які задовольняють комплексу діелектричних, фізико-технічних, експлуатаційних та польотних вимог є важливою і актуальною задачею.

Розробка та дослідження керамічних матеріалів, основною кристалічною фазою яких є стронцієвий анортит є перспективним напрямом у розробці високошвидкісного озброєння. Фахівцями кафедри хімічних технологій кераміки, скла та біомедичних матеріалів розроблена кераміка на основі стронцієвого анортиту з порівняно невисокою температурою випалу (1250°C), яка характеризується наступними фізико-технічними показниками: водопоглинання ($W = 0\%$), відкрита пористість ($P = 0\%$), уявна щільність ($\rho = 2,52 \text{ г/см}^3$), межа міцності на стискання ($\sigma_{\text{ст}} = 184 \text{ МПа}$), температурний коефіцієнт лінійного розширення в діапазоні 20–

400°C ($32-37,5 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), відносна діелектрична проникність на частоті 10^{10} Гц ($\epsilon = 5,3$), тангенс кута діелектричних втрат на частоті 10^{10} Гц ($\text{tg}\delta = 0,007$).

*Робота виконана за підтримки Національного Фонду Досліджень України
(реєстраційний номер проєкту 2024.04.0063).*

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Pilate P, Delobel F. Low thermal expansion ceramic and glass-ceramic materials. *Encyclopedia of Materials: Technical Ceramics and Glasses*. 2021; 2: 47–58. doi: 10.1016/B978-0-12-818542-1.00048-5.
2. Zaichuk AV, Amelina AA. Search for the ways to improve physical and technical parameters of quartz ceramics. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2017; 6: 63–67.
3. Lutpi HA, Mohamad H, Abdullah TK, Ismail H. Effect of sintering treatment time on the sintering behaviour and thermal shock resistance of $\text{Li}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ glass-ceramics. *J. Asian Ceram. Soc.* 2021; 9: 507–518, doi: 10.1080/21870764.2021.1896094.

Амеліна Олександра Андріївна, к.т.н., старш. досл., с.н.с. каф. Хімічних технологій кераміки, скла та біомедичних матеріалів, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, amelinaalex1@gmail.com.

Зайчук Олександр Вікторович, д.т.н., проф., зав. каф. Хімічних технологій кераміки, скла та біомедичних матеріалів, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, zaychuk_av@ukr.net.

Гордєєв Юрій Сергійович, PhD., старш. досл., с.н.с. каф. Хімічних технологій кераміки, скла та біомедичних матеріалів, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, yuriihordieiev@gmail.com.

Калішенко Юлія Русланівна, PhD., асист. каф. каф. Хімічних технологій кераміки, скла та біомедичних матеріалів, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, kalishenkoyuliya@gmail.com

Філоненко Даниїл Володимирович, мол. наук. співроб. каф. Хімічних технологій кераміки, скла та біомедичних матеріалів, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, darunafilonenko.df@gmail.com

Ставніча Яна Сергіївна студентка Українського державного університету науки і технологій, м. Дніпро.

Abstract

Strontium-anorthite ceramics have been developed, which have high mechanical strength values, zero water absorption, high heat resistance and fire resistance. In terms of dielectric properties, the developed strontium-anorthite ceramics meet the requirements for radio-transparent materials and can be used for the manufacture of rocket fairings of various classes.

Keywords:

Amelina Oleksandra Andriivna, Cand. Sc., Senior Researcher, Senior Researcher, Department of Chemical Technologies of Ceramics, Glass and Biomedical Materials, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, amelinaalex1@gmail.com.

Zaichuk Oleksandr Viktorovych, Dr. Sc., Professor, Head of , Department of Chemical Technologies of Ceramics, Glass and Biomedical Materials, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, zaychuk_av@ukr.net.

Hordieiev Yurii Serhiyovych, PhD., Senior Researcher, Senior Researcher, Department of Chemical Technologies of Ceramics, Glass and Biomedical Materials, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, yuriihordieiev@gmail.com.

Kalishenko Yuliya Ruslanivna, PhD., Assistant, Department of Chemical Technologies of Ceramics, Glass and Biomedical Materials, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, kalishenkoyuliya@gmail.com

Filonenko Danyil Volodymyrovych, Junior Researcher, , Department of Chemical Technologies of Ceramics, Glass and Biomedical Materials, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro darunafilonenko.df@gmail.com

Stavnycha Yana Serhiivna, student of the Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro.

ОЦІНКА МАНЕВРНОСТІ ПІДРОЗДІЛІВ МАТЕРІАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛОГІСТИКИ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

¹Харківський національний університет Повітряних Сил
ім. І. Кожедуба

Анотація

Розглянуто питання формування науково-методичних підходів щодо оцінювання маневреності підрозділів матеріального забезпечення логістики військових частин Збройних Сил України. Метою досліджень є розробка методичного підходу з оцінки маневреності підрозділів матеріального забезпечення щодо своєчасної доставки ресурсів та забезпечення матеріально-технічними засобами військових частин і підрозділів Збройних Сил України в умовах ведення бойових дій.

Ключові слова: логістика; маневр; маневреність підрозділів; матеріальне забезпечення.

Аналіз набутого досвіду ведення бойових дій (БД) під час виконання операції Об'єднаних сил на сході України та широкомасштабної збройної агресії з боку російської федерації проти України свідчить, що сучасні воєнні конфлікти характеризуються наступними особливостями: швидко мінливим станом бойової обстановки; високою імовірністю раптового нападу противника з різних напрямків; використанням сучасних зразків озброєння, в тому числі високоточної зброї та ударних безпілотних літальних комплексів (апаратів); застосування диверсійно-розвідувальних груп на шляхах доставки матеріальних ресурсів. Ці особливості в цілому можуть суттєво впливати на ефективність системи логістичного забезпечення (ЛЗ) Збройних Сил (ЗС) України [1-3]. В цих умовах набуває значної ваги питання організації та здійснення швидкого маневру силами та засобами ЛЗ військових частин ЗС України, чіткої та безперервної доставки матеріально-технічних засобів (МтЗ) військам при веденні БД.

Під маневреністю (англ. mobility) підрозділів матеріального забезпечення (МЗ) у системі ЛЗ військових частин ПС ЗС України треба розуміти здатність підрозділів до швидкого переміщення під час підготовки та в ході БД, розгортання у бойовий порядок щодо виконання завдань за призначенням з використання резервів МтЗ, їх перерозподілу та зміни прикріплення до забезпечення підрозділів військових частин. Основним показником маневреності підрозділів МЗ логістики військових частин ЗС України є здатність у короткий термін зосереджувати зусилля військових частин на виконанні найважливіших бойових завдань та перенацілювання їх на нові напрямки дій. До основних факторів, які впливають на організацію маневру підрозділами МЗ і здійснення доставки МтЗ в системі логістичного забезпечення ЗС України можливо віднести: види МтЗ за класами постачання, рівень забезпечення та місця їх утримання; транспортну мережу і засоби доставки МтЗ; стратегію поповнення запасів МтЗ; технологічність процесу доставки МтЗ до споживачів [1].

Підвищення ролі маневрових дій у сучасній війні розглядається протягом багатьох років як один з основних факторів успішного ведення БД. На практиці сутність виконання маневрових дій будь якої системи визначає закон економії часу. У зв'язку з цим маневреність підрозділів МЗ логістики військових частин ПС ЗС України є функцією часу (t) та витрат (С) на подолання відстані (простору) за і-й проміжок часу. Для практичної реалізації функцій параметра маневреності можливий прогноз маневреності підрозділів МЗ, якій передбачає здатність до швидкого переміщення, розгортання (згортання), тобто характеризує таку сторону як максимально можливу кількість переміщень елементів системи ЛЗ військових частин ЗС України на добу. Всі ці функції характеризуються часовими й іншими показниками (швидкістю переміщення, вантажопідйомністю транспортних засобів, величиною продуктивності засобів механізації вантажно-розвантажувальних робіт тощо) та пов'язані з рухомістю окремих елементів системи ЛЗ. Функціональна залежність маневреності підрозділів логістики військових частин ЗС України від її складових може бути виражена як:

$$M_{(t)} = f(V, T_3, T_p, L, N_{ij}, G_{kj})$$

де $M_{(t)}$ – маневреність підрозділів за одиницю часу; V – швидкість переміщення підрозділів, км/год; T_3, T_p – час згортання (розгортання) підрозділів, год; L – відстань переміщення запасів МтЗ підрозділами, км; N_{ij} – кількість j -х транспортних засобів, що виділяються для i -х МтЗ, од.; G_{jk} – вантажопідйомність j -го транспорту під час перевезення МтЗ k -ої номенклатури, т.

В доповіді розглянуто метод оцінювання маневреності підрозділів МЗ логістики військових частин ЗС України, для чого надані довідкові дані для проведення розрахунків [4-6]. Сутність зазначеного методу та наведений алгоритм дозволяє: визначити фактичні можливості транспортного забезпечення підрозділів МЗ логістики військових частин ЗС України з питань підвезення (доставки) МтЗ до споживачів та підвезення особового складу і поранених (хворих); оцінити маневреність підрозділів МЗ у системі ЛЗ військових частин ПС ЗС України; підвищити ефективність функціонування системи ЛЗ при підготовці та під час ведення БД шляхом розробки пропозицій щодо створення раціонального складу сил та засобів ЛЗ та розгляду можливих варіантів організаційної структури органів ЛЗ військових частин та підрозділів ЗС України. З урахуванням встановлених закономірностей та прийнятих відповідно до розробленої методики показників проводяться багатоваріантні розрахунки та дається прогноз зміни вантажопідйомності підрозділів МЗ логістики військових частин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Леках А. А., Гурін О. М., Старцев В. В., Просяник В. В. Аналіз факторів, які впливають на організацію доставки військових вантажів для потреб Повітряних Сил Збройних Сил України. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2021. № 1(42). С. 144–149. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.42.19>.
2. Леках А., Гурін О., Старцев В., Бровко М., Третяк В., Просяник В. Основні положення та структура методики визначення раціональної транспортної мережі в системі логістичного забезпечення угруповання військ в локальному збройному конфлікті. Збірник наукових праць ЛОГОС. Vinnytsia-Paris : Plateforme scientifique européenne & La Fedeltà, 2021. С. 109–114. <https://doi.org/10.36074/logos-05.02.2021.v2>.
3. Гурін О. М., Старцев В. В. Удосконалення науково-методичного апарату обґрунтування напрямів підвищення якості доставки матеріально-технічних засобів в системі логістичного забезпечення Повітряних Сил Збройних Сил України: Колективна наукова монографія [1-е вид.] / під ред. Валеренко Г. І. Вінниця : Європейська наукова платформа, 2021. С. 83–101. <https://doi.org/10.36074/csriteenat.ed-1.05>.
4. Воинские автомобильные перевозки : учебн. Москва : Воениздат, 2002. 192 с.
5. Техническое и тыловое обеспечение ПВО Сухопутных войск : учебн. Киев : ВА ПВО СВ, 1990. 327 с.
6. Сапіга Р. І., Задерієнко С. І., Яковлев М. Ю., Неуров І. В. Технічні засоби підвезення і зберігання продовольства та води : навч. посіб. Львів : Академія СВ, 2009. 92 с.

Леках Альберт Анатолійович – канд. техн. наук, ст. дослідник, начальник науково-дослідної лабораторії наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: super-albertlekakh@ukr.net

Старцев Володимир Вікторович – науковий співробітник науково-дослідної лабораторії наукового центру Повітряних Сил, e-mail: Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: startsevv1962@gmail.com

ASSESSMENT OF THE MANEUVERABILITY OF THE MATERIAL SUPPORT UNITS OF THE LOGISTICS OF THE MILITARY UNITS OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

Abstract: *The issue of forming scientific and methodological approaches to assessing the maneuverability of logistics units of military units of the Armed Forces of Ukraine is considered. The purpose of the research is to develop a methodological approach to assessing the maneuverability of logistics units in terms of timely delivery of resources and provision of logistical means to military units and subdivisions of the Armed Forces of Ukraine in the conditions of combat operations.*

Keywords: logistics; maneuver; maneuverability of units; material support.

Lekakh Albert – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Scientific and Research Laboratory of Scientific Center of Air Force, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: super-albertlekakh@ukr.net

Startsev Volodymyr – Researcher of Scientific Center of Air Force, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: startsevv1962@gmail.com

М. В. Грішин¹

В. В. Вознюк¹

О. Б. Максимова²

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ МІННИХ ЗАГОРОДЖЕНЬ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ДЕСАНТНИМ ОПЕРАЦІЯМ

Національний університет «Одеська політехніка»

Національний університет "Одеська морська академія"

Анотація.

У роботі розглянуто імітаційні моделі мінних загороджень з різними типами розподілу мін: пуасонівським та рівномірним. Проведено порівняльне дослідження впливу цих розподілів на ймовірність ураження кораблів, стійкість загородження та ефективність тралення з урахуванням перекриття проходів тральщика. Результати моделювання демонструють, що рівномірний розподіл забезпечує вищу ймовірність ураження кораблів (на 40-50% порівняно з пуасонівським), але водночас потребує на 15-25% більше часу для повного розмінування. Запропоновано аналітичні моделі оцінювання ефективності мінування та тралення для підтримки прийняття рішень щодо протидії десантним операціям.

Ключові слова: мінне загородження, пуасонівський розподіл, рівномірний розподіл, імітаційне моделювання, протидесантна оборона, тральні операції, стійкість загородження.

У сучасних умовах ведення бойових дій мінне загородження на морі є одним із найефективніших способів протидії десантним операціям [1]. Воно істотно ускладнює або повністю унеможливує пересування кораблів у прибережних районах та фарватерах. Від функціональних залежностей у розподілі мін залежить ймовірність ураження кораблів, а також складність тральних операцій, необхідних для пророблення проходів у мінних полях під час десантної операції [2].

Для аналізу просторового розташування мін та їхнього виявлення було використано два основні розподіли: рівномірний та пуасонівський. Рівномірний розподіл застосовано для моделювання випадкового розташування мін у водному просторі при відсутності пріоритетних зон мінування [3]. Пуасонівський розподіл використано для сценарію, який передбачає кластеризоване розміщення мін, що більш точно відображає реальні умови мінування з урахуванням тактичних заходів [5].

В результаті проведеного імітаційного моделювання встановлено:

1. Рівномірне розміщення мін підвищує ймовірність ураження кораблів протиборчої сторони на 40-50% порівняно з пуасонівським розподілом. При кількості 50 мін на 1 км² ймовірність ураження корабля становить 0,08 для пуасонівського розподілу та 0,23 для рівномірного. При збільшенні кількості мін до 300 мін на 1 км² показники зростають до 0,40 та 0,8 відповідно.
2. При рівномірному мінуванні час тралення збільшується в середньому на 15-25% порівняно з пуасонівським розподілом. Використання перекриття під час тралення майже вдвічі подовжує загальну тривалість операції, але знижує залишкову ймовірність ураження кораблів у 1,5-2 рази.

3. Стійкість мінного загородження (без перекриття) при щільності 50 мін/км² становить 291,58 хв для рівномірного розподілу (2 проходи тральщика) та 146,57 хв для пуасонівського (1 прохід тральщика). При 300 мінах/км² стійкість збільшується до 459,10 хв для рівномірного розподілу (3 проходи тральщика) та 314,00 хв для пуасонівського (2 проходи тральщика).

Уся інформація стосовно результатів моделювання наведена у Таблиці 1.

Таблиця 1. Результати імітаційного моделювання стійкості морських мінних загороджень

ρ	$W_{overall}$		clearing cycles(overall)		$W_{no_overall}$		clearing cycles(no overall)	
	uniform	poisson	uniform	poisson	uniform	poisson	uniform	poisson
50	291.58	146.57	2	1	221.73	148.24	3	2
75	293.99	148.71	2	1	224.80	151.20	3	2
100	296.39	151.03	2	1	227.77	154.16	3	2
125	442.97	297.70	3	2	303.69	229.54	4	3
150	445.30	300.12	3	2	306.78	232.55	4	3
175	447.61	302.51	3	2	309.87	235.53	4	3
200	449.90	304.86	3	2	312.95	238.50	4	3
225	452.19	307.18	3	2	316.04	241.46	4	3
250	454.49	309.47	3	2	319.12	244.41	4	3
275	456.79	311.74	3	2	322.20	247.35	4	3
300	459.10	314.00	3	2	325.29	250.29	4	3

Для зручності в табл. 1 введено наступні позначки. $W_{overall}$ стійкість мінного загородження при траленні с перекриттям та $W_{no_overall}$ без перекриття, clearingcycles(overall), clearingcycles(nooverall) кількість циклів для досягнення показника вірогідності підриву корабля десантної групи не більше ніж 0.015.

Таким чином, найдоцільнішою стратегією є комбінація рівномірного розподілу мін, який максимально ускладнює дії десантного загону, з подальшим застосуванням перекриття при тральних заходах. Це створює ситуацію, за якої противник змушений витратити значно більше часу та ресурсів на розмінування, одночасно зазнаючи підвищеної загрози ураження на всіх етапах руху в акваторії [5].

Вознюк Володимир Володимирович, Аспірант, Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, 8712105@as.op.edu.ua

Гришин Максим Володимирович, PhD, Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, grishyn.m.v@opu.ua

Максимова Оксана Борисівна, Кандидат технічних наук, Національний університет "Одеська морська академія", Одеса, oksana.maksymova@navy.mil.gov.ua

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Grishyn, M., Maksymova, O., Kirkopulo, K., & Klymchuk, O. (2025). Development of methods of artillery control for suppression of an enemy amphibious operation in video game simulations. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(81). <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.321797>
2. Kotsiuruba, V. I. (2015) "MODELING EXPLOSIVE ORDNANCE SEARCH AND DETECTION PROCEDURES BY RADAR TECHNIQUES", *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*. Київ, Україна, (2(23), pp. 65-69. doi: 10.33099/2311-7249/2015-0-2(23)-65-69.
3. Trang, A., Agarwal, S., Regalia, P.A., Broach, T., & Smith, T. (2007). A patterned and un-patterned minefield detection in cluttered environments using Markov marked point process. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 6553. 10.1117/12.721368.
4. Maksymov, O., Toshev, O., Demydenko, V., Maksymov, M. (2024). Simulation modeling of artillery operations in computer games: approach based on Markov processes. *Technology Audit and Production Reserves*, vol 5(2(79), 23-28. doi: 10.15587/2706-5448.2024.312873.
5. Hammond, T., Midtgaard, Ø., & Connors, W. (2021). A Bayesian Network Approach to Evaluating the Effectiveness of Modern Mine Hunting. *Remote Sensing*. 13. 4359. 10.3390/rs13214359.

SIMULATION MODELING OF NAVAL MINEFIELD RESILIENCE FOR COUNTERING AMPHIBIOUS OPERATIONS

Abstract.

This paper examines simulation models of minefields with different types of mine distributions: Poisson and uniform. A comparative study of the impact of these distributions on ship damage probability, minefield resilience, and sweeping efficiency considering minesweeper path overlaps was conducted. Simulation results demonstrate that uniform distribution provides a higher probability of ship damage (by 40-50% compared to Poisson distribution), but simultaneously requires 15-25% more time for complete demining. Analytical models for evaluating the effectiveness of mining and sweeping to support decision-making regarding countering amphibious operations are proposed.

Keywords: minefield, Poisson distribution, uniform distribution, simulation modeling, anti-landing defense, mine sweeping operations, minefield resilience

Volodymyr Vozniuk Volodymyrovych, PhD student, Odesa Polytechnic National University, Odesa, 8712105@as.op.edu.ua

Grishyn Maksym Volodymyrovych, PhD, Odesa Polytechnic National University, Odesa, grishyn.m.v@opu.ua

Oksana Maksymova Borisivna, Candidate of technical sciences, associate professor, National University «Odesa Maritime Academy», Odesa, oksana.maksymova@navy.mil.gov.ua

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ БОЄПРИПАСІВ ТА АРТИЛЕРІЙСЬКИХ СТВОЛІВ

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси

Анотація

Розроблено методики оцінювання надійності боєприпасів та артилерійських стволів за результатами випробувань за планами NUT та NUr. Також математично доведено взаємну відповідність вимог стандартів НАТО та України щодо надійності виробів озброєння та військової техніки і, зокрема, боєприпасів та артилерійських стволів.

***Ключові слова:** боєприпаси; артилерійські стволи; надійність; безвідмовність; експоненційний закон розподілу імовірності безвідмовної роботи; інтенсивність відмов; параметри надійності.*

Актуальність цієї доповіді обумовлена тим, що лише в березні 2024 року набув чинності ДСТУ В 15.206:2023 [1], в якому вказано, що програму забезпечення надійності на стадії “розроблення” загалом вважають реалізованою, якщо вжито всіх заходів щодо забезпечення досягнення заданих показників надійності виробу ОБТ, а виріб ОБТ відповідає встановленим вимогам щодо надійності згідно з ДСТУ 3004-95 [2].

Мета доповіді – порівняти вимоги НАТО та ДСТУ 3004-95 до надійності виробів ОБТ і розробити методики оцінювання надійності боєприпасів та артилерійських стволів за планами випробувань NUT та NUr.

Планування випробувань на надійність передбачає визначення початкового обсягу випробувань N для оцінювання показників надійності із заданою точністю $P(T)$, тобто імовірністю безвідмовної роботи протягом часу випробувань T , і достовірністю, тобто довірчою імовірністю, q .

План випробувань NUT – план випробувань, згідно з яким випробовують певну кількість N виробів ОБТ протягом запланованого часу T , вироби, що відмовили, не відновлюють і не замінюють, випробування припиняють після закінчення часу випробувань T , тобто час випробувань є фіксованим, а кількість виробів r , що відмовили, – змінною величиною.

План випробувань NUr – план випробувань, згідно з яким випробовують певну кількість N виробів озброєння та військової техніки, вироби, що відмовили, не відновлюють і не замінюють, випробування тривають до того часу, коли число об'єктів, що відмовили, досягає r , тобто кількість виробів r , що відмовили, є фіксованою, а час випробувань – змінною величиною.

ДСТУ 3004-95 передбачає такі значення [2]: $P(T)=(0,8; 0,85; 0,9; 0,95; 0,975)$ і $q=(0,8; 0,9; 0,95; 0,99)$. Стандарти НАТО передбачають такі значення для боєприпасів [3]: $P(T)=(0,97; 0,98; 0,99; 0,997; 0,999; 0,9994)$ і $q=0,95$. Тобто є лише одне співпадіння: $q=0,95$.

Стандарти НАТО (формула (1)) та ДСТУ 3004-95 (формула (2)) пропонують різні формули для обчислень, але результати обчислень кількості відмов співпадають з абсолютною точністю для $P(T)=(0,97; 0,98; 0,99; 0,997)$, і з точністю меншою 0,05% для $P(T)=(0,999; 0,9994)$, що математично доводить взаємну відповідність вимог стандартів НАТО та України щодо надійності виробів озброєння та військової техніки і, зокрема, боєприпасів та артилерійських стволів (таблиця 1) [4].

$$\sum_{x=0}^d \frac{N_d!}{x!(N_d-x)!} \cdot (1-P(T))^x \cdot (P(T))^{N_d-x} < 0,05 = 1-q. \quad (1)$$

$$N_d = N_q^{P(T)}(d) \approx \frac{d}{2} - \frac{\chi_q^2(2 \cdot d + 2)}{2 \cdot \ln P(T)}. \quad (2)$$

Таблиця 1 – Кількість боєприпасів N_1 за умови появи однієї відмови у разі плану NUT або NU1 для відповідних $P(T)$ і q .

$P(T)$, ймовірність безвідмовної роботи протягом певного часу $T/\ln P(T)$	q , довірна ймовірність/ $\chi_q^2(4)$, квантилі розподілу “хі-квадрат” для $d=1$ [2, с.33]			
	0,8/ $\chi_{0,8}^2(4)=5,992$	0,9/ $\chi_{0,9}^2(4)=7,773$	0,95/ $\chi_{0,95}^2(4)=9,492$	0,99/ $\chi_{0,99}^2(4)=13,273$
0,9/-0,1053605	⁽¹⁾ 29*	38*	46*	64*
0,95/-0,0512933	59*	77*	93*	130*
0,97/-0,0304592	99	129	157**	219
0,98/-0,020203	149	193	236**	329
0,99/-0,01005	299	388	473**	661
0,995/-0,005012	598	777	947	1325
0,997/-0,0030045	998	1295	1580**	2210
0,999/-0,0010005	2994	3889	4744 (4742**)	6637
0,9994/-0,00060018	4993	6477	7908 (7905**)	⁽²⁾ 11058

$$^{(1)}\text{Для } P(t)=0,9 \text{ і } q=0,8: N_1 \approx \frac{1}{2} - \frac{\chi_{0,8}^2(4)}{2 \cdot \ln(0,9)} = 0,5 - \frac{5,992}{2 \cdot (-0,1053605)} = 29;$$

$$^{(2)}\text{Для } P(t)=0,9994 \text{ і } q=0,99: N_1 \approx \frac{1}{2} - \frac{\chi_{0,99}^2(4)}{2 \cdot \ln(0,9994)} = 0,5 - \frac{13,273}{2 \cdot (-0,00060018)} = 11058.$$

*Розрахунки, які співпадають зі значеннями у табл. 2 [2, с. 24].

**Розрахунки, які співпадають зі значеннями у табл. 3 [3, с.60].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ В 15.206:2023. Система керування життєвим циклом озброєння та військової техніки. Програма забезпечення надійності. Основні положення. [Чинний від 01.03.2024]. Вид. офіц. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2024. 20 с.
2. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. [Чинний від 25.01.1995]. [Чинний для виробів ОВТ від 01.03.2024]. Вид. офіц. Київ: ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 1995. 123с.
3. Colin King, Ove Dullum, Grethe Østern. M85: An analysis of reliability. *Norwegian People's Aid*, 2007. 64 с. <https://www.npaid.org/files/Mine-action-and-disarmament/m85.pdf>
4. Ярмоленко, М., Кузьменко, В., Яриш, І., & Кубашко, О. (2024). МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ БОЄПРИПАСІВ ЗА ПЛАНОМ ВИПРОБУВАНЬ NUT. *Випробування та сертифікація*, 2(4), 63-74. <https://doi.org/10.37701/ts.04.2024.08>

Ярмоленко Михайло Вікторович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, провідний науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси, Україна, e-mail: yarmolenko.mv@knutd.com.ua

Кузьменко Віктор Олександрович – начальник науково-дослідного відділу Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси, Україна

Яриш Ігор Юрійович – старший науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси, Україна

AMMUNITION AND BARREL DEPENDABILITY EVALUATION METHODS

Abstract

Ammunition and barrel dependability evaluating methodology is created. It is based on test results according to the NUT or NUr plans. It is proved mathematically also that NATO and Ukraine standards requirements regarding of weapons and military equipment dependability and, in particular, ammunition reliability, are the same.

Keywords: *ammunition; barrel; dependability; dependability parameters; distribution exponential law; failure intensity; reliability; reliability coefficient.*

Mykhaylo Yarmolenko – PhD in Physical and Mathematical Sciences Leading Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certifications, Cherkasy, Ukraine

Viktor Kuzmenko – Head of Scientific Research Department of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certifications, Cherkasy, Ukraine

Ihor Yarysh – Senior Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certifications, Cherkasy, Ukraine

ПРО ДОСЛІДЖЕННЯ УДАРНИХ ХВИЛЬ ВІД ВІДСТРІЛУ КУЛЬ У ВОДЯНОМУ КУЛЕУЛОВЛЮВАЧІ

¹Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України

²Інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

Анотація.

Виготовлено макет циліндричного вертикального кулеуловлювача з орієнтацією на низькоенергетичні кулі. Засобами тензометрії за допомогою 8-канального реєстратора LMS SCADAS Mobile досліджено динаміку деформування зовнішньої поверхні циліндра в шести точках вздовж висоти. Зафіксовано поширення первинної та вторинної ударних хвиль. Обчислено швидкість поширення ударної хвилі у воді.

Ключові слова: циліндричний водяний кулеуловлювач, макет, експеримент, реєстратор LMS SCADAS Mobile, деформації, первинна та вторинна ударні хвилі.

Кулеуловлювачі застосовують для експертизи та ідентифікації зброї за слідами на кулях. Кожна зброя залишає унікальний слід кулі, що сприяє розкриттю злочинів. За кулею можна встановити власника зброї. За інтенсивного використання кулеуловлювачі можуть виходити з ладу, особливо у випадках високоенергетичних куль.

Теоретичною основою розрахунків водяних кулеуловлювачів є задача про удар твердих тіл об поверхню рідини, яка досліджувалась понад століття [1]. Вітчизняні конструктори притримуються експериментальних підходів [2]. Більшість публікацій в цій галузі стосується патентознавства, в яких механічні явища в кулеуловлювачах не розглядаються. Тому дослідження динамічних механічних явищ в корпусі кулеуловлювача і в рідині є актуальним.

Для визначення раціональних з погляду запасу міцності параметрів циліндричного гідрокулеуловлювача було виконано експерименти в Центрі колективного користування приладами «Аналізатор динамічних процесів» з використанням реєстратора LMS SCADAS Mobile.

На основі попередньої верхньої оцінки було виготовлено спрощений експериментальний макет вертикального кулеуловлювача. Для вимірювання деформацій ϵ на зовнішню поверхню сталеві труби висотою (l) 2 м, діаметром (d) 0,2 м і товщиною стінок (h) 5 мм було наклеєно вздовж висоти ряд тензорезисторів з базою 3 мм і опором 120 Ом. Маса труби з водою становила понад 100 кг. Відстрілювались кулі масою 7,45 г з початковою швидкістю 360 м/с.

На рис. 1 показана осцилограма колових деформацій одного з каналів (С2) від тензорезистора, наклеєного на висоті 0,55 м від дна циліндра. Вертикальні подвійні курсори відмічають проміжки часу між моментами осцилограми. На цій та інших осцилограмах спостерігались по три локальні сплески максимальних деформацій півшириною біля 0,5 мс (час t відраховується від початку запису приладом), що свідчить про поширення ударної хвилі в трубі. Перші сплески ($t_1 \approx 4,35$ с) відповідають моментам проходження фронту ударної хвилі. Другі сплески ($t_2 \approx 4,4$ с) виникають через порівняно короткий проміжок часу $\Delta t_{12} = 0,047$ с після перших, що було встановлено за допомогою вертикальних курсорів (рис. 1). Треті сплески ($t_3 \approx 4,6$ с) виникають через довший проміжок часу $\Delta t_{13} = 0,257$ с. Вони мають просте пояснення. Річ у тім, що кулеуловлювач, отримавши імпульс від кулі, ніби «підскакує» від підлоги (візуально на кілька сантиметрів). Після цього він вдаряється об підлогу, що викликає нову ударну хвилю, яка поширюється вгору. За час $\Delta t_{13} = 0,257$ с конструкція встигає піднятися й опуститися з висоти $\Delta H \approx 8,2$ см, що узгоджується з візуальним спостереженням.

В подібному експерименті [3] вторинна хвиля виникала приблизно через 7 мс після первинної. На підставі оптичних спостережень автори пояснили появу вторинної ударної хвилі явищем суперкавітації.

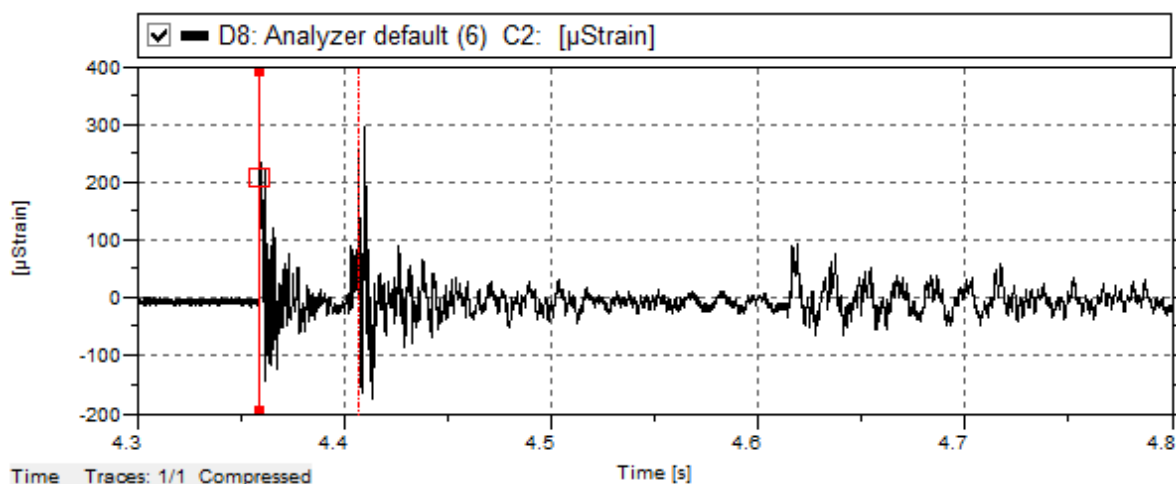


Рисунок 1 – Колові деформації на зовнішній поверхні циліндра

Таким чином, попереду кулі біжить ударна хвиля, яка викликає деформування, де ще кулі нема. Тобто вода на удар реагує як тверде тіло, практично миттєво передаючи деформацію на всю трубу. Для зменшення деформацій доцільно збільшувати всі геометричні розміри кулеуловлювача, включаючи його довжину.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Truscott, T. T., Epps, B. P., & Belden, J. (2014). Water entry of projectiles. *Annual review of fluid mechanics*, 46(1), 355-378.
2. Ганзюк, А. Л., Кравчук, О. В., & Гордєєв, А. І. (2023). Особливості будови, розрахунку та експлуатації гідрокулеуловлювачів. *Криміналістичний вісник*, 40 (2), 7–15.
3. Shi, H. H., & Kume, M. (2001). An experimental research on the flow field of water entry by pressure measurements. *Physics of Fluids*, 13(1), 347-349.

Максимюк Володимир Ананійович, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник., Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України, Київ, volmak@ukr.net

Ушакова Віра Сергіївна, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, вчений секретар відділу, Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України, Київ, creep@inmech.kyiv.ua

Ушаков Олексій Вікторович, заступник начальника центру, Інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, Київ, nddkr_ictc@ssu.gov.ua

ON THE RESEARCH OF SHOCK WAVES FROM SHOOTING BULLETS IN A WATER BULLET TRAP

Abstract.

A model of the cylindrical vertical bullet trap with an orientation towards low-energy bullets was manufactured. The dynamics of deformation of the outer surface of the cylinder at six points along the height was investigated by means of strain gauges using an 8-channel LMS SCADAS Mobile recorder. The propagation of the primary and secondary shock waves was recorded. The speed of shock wave propagation in water was calculated.

Keywords: *cylindrical water bullet trap, model, experiment, LMS SCADAS Mobile recorder, deformations, primary and secondary shock waves.*

Volodymyr Maksymyuk, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher, S.P. Tymoshenko Institute of Mechanics of NAS of Ukraine, Kyiv, volmak@ukr.net

Vira Ushakova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Scientific Secretary of the Department, S.P. Tymoshenko Institute of Mechanics of NAS of Ukraine, Kyiv, creep@inmech.kyiv.ua

Oleksiy Ushakov, Deputy Head of the Center, Institute of Special Equipment and Expertise of the Security Service of Ukraine, Kyiv, nddkr_ictc@ssu.gov.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ, МЕХАНІЧНИХ І ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТОНКОСТІННИХ ФРАГМЕНТІВ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ НА ЇХ ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН

¹ Національна Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

² Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація:

Досліджено температурне поле і обумовлений ним напружено-деформований стан системи двох несиметрично спряжених через кільце-стрижень кругових пластин. Проведений аналіз впливу геометричних, теплофізичних і механічних параметрів елементів системи на їх термонапружений стан.

Ключові слова: система пластин, стрижень, температурне поле, термонапружений стан, несиметричне спряження.

Фрагменти тонкостінних конструкцій (оболонкових або пластинчастих) широко використовуються в ракетобудуванні, авіабудуванні, суднобудуванні та інших галузях сучасної військової техніки. Це пов'язано з тим, що розвиток техніки на сучасному етапі характеризується, з одного боку, зростанням рівня напруженості несучих конструкцій у зв'язку з неперервним збільшенням потужностей, вантажопідйомності, швидкостей та інших параметрів, а з іншого – жорсткими вимогами щодо матеріалоемності створюваних машин. Задоволення цих двох вимог, які, на перший погляд, виключають одна одну, призводить до нових розрахункових схем; зокрема, з використанням пластинчастих та оболонкових елементів, а також їх систем. Зауважимо, що ці системи в багатьох випадках в процесі виготовлення або застосування зазнають впливу як силового, так і теплового навантажень. Тому достатньо повне вивчення роботи таких систем в реальних умовах вимагає комплексного дослідження температурних полів і напружено-деформованих станів.

Розповсюдженими елементами тонкостінних конструкцій є кругові пластинки, які із іншими елементами спрягаються (з'єднуються) із конструктивних міркувань з допомогою стрижня (ілюмінатори різних літальних апаратів, кришки люків тощо). Для дослідження напружено-деформованого стану в околі такого вузла як розрахункову схему використано систему спряжених через кільце-стрижень кругових пластин; серединні площини пластин розміщені в різних (паралельних) площинах, які не співпадають з площиною кривини осі стрижня; зовнішній край кільцевої пластини шарнірно закріплений. Система нагрівається зовнішніми середовищами, теплообмін з яким описується законом Ньютона. З використанням отриманих раніше умов неідеального теплового і термомеханічного контакту спряжених пластин і оболонок [1, 2] визначено температурне поле розглядуваної системи і обумовлений визначеним розподілом температур напружено-деформований стан її елементів.

Проведений параметричний аналіз отриманих розв'язків. Досліджували вплив геометричних і теплофізичних параметрів елементів системи, а також різномірності їх матеріалів на розподіл температур, зусиль і згинальних моментів в елементах системи. На основі числових досліджень показано, зокрема, що параметри, які характеризують несиметричність спряження, суттєво впливають як кількісно, так і якісно на температурні аналоги згинальних моментів в елементах системи (особливо у приконтатній зоні). Ексцентриситети з'єднання суттєво впливають і на термонапружений стан даної складеної конструкції: зі зміною цих параметрів можуть змінюватись не тільки значення зусиль і моментів в її елементах (в декілька разів), але й

характер розподілу цих величин навіть для однакових матеріалів елементів розглядуваного вузла спряження.

Розглядалися також випадки, коли матеріали різних елементів системи не є однаковими, зокрема, такі: кільцева (зовнішня) пластина виготовлена із дюралюмінію, кругла (внутрішня) пластина із кварцового скла, стрижневий елемент із вуглецевої сталі; зовнішня пластина і стрижневий елемент із вуглецевої сталі, внутрішній пластинчастий елемент із дюралюмінію. При цьому було встановлено, що для системи яка розглядається існує таке відношення зовнішнього радіуса кільцевої пластинки до внутрішнього її радіуса, починаючи з якого напруження і деформації в зоні спряження практично не реагують на його збільшення, тобто кільцева пластинка може розглядатися як нескінчена.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Подстригач Я.С., Чернуха Ю.А., Войтович Н.И. К определению температурных полей и напряжений в оболочках, сопряженных через стержень. В кн.: Математические методы в термомеханике. Киев, изд-во «Наукова думка», 1978, с. 3-11.
2. Войтович Н.И. Условия неидеального термомеханического контакта сопряженных оболочек. В кн.: Математические методы и физико-механические поля. Киев, изд-во «Наукова думка», вып. 24, 1986, с. 56-61.

Войтович Микола Іванович – канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки (озброєння і техніки інженерних військ), Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, voytovych.mykola@gmail.com.

Лампіка Роман Володимирович – старший викладач, кафедра Проектування машин і автомобільний інжиніринг, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, roman.v.lampika@lpnu.ua.

Study of the influence of geometric, mechanical and thermophysical parameters of thin-walled fragments of military equipment on their thermal stress state

Abstract

The temperature field and the resulting stress-strain state of the system of two circular plates asymmetrically connected through a ring-rod are investigated. The influence of geometric, thermophysical and mechanical parameters of the system elements on their thermal stress state is analyzed.

Keywords: plate system, shearing, temperature field, thermo-elastic condition, non-symmetric conjugation.

Voytovych Mykola I. – PhD, Associate Professor, Department Engineering Mechanics (weapons and equipment of engineering troops), Hetman Petro Sahaidachny National Army Academy, Lviv, voytovych.mykola@gmail.com

Lampika Roman V. – senior lecturer, Department of Mechanical Engineering and Automotive Engineering,, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, roman.v.lampika@lpnu.ua

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БОЙОВИХ МАШИН ПІХОТИ З ВРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ БОЙОВИХ ДІЙ В УКРАЇНІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто основні завдання, які повинні виконувати сучасні БМП, проаналізовано конструкції новітніх зразків БМП різних країн, запропоновано варіанти модернізації існуючих та створення нових сучасних українських БМП.

Ключові слова: бойова машина піхоти(БМП), озброєння, бронювання, рухливість, вимоги.

Вступ

Сучасна війна перевернула бачення про себе, яке було усталене декілька десятиліть. Частина ідей, розробок та розумінь для ведення війни були відкинута, переглянута і оновлена. Але певні питання залишаються відкритими, одним із них є транспортування особового складу до лінії зіткнення та забезпечення прикриття після висадки десанту. Для таких цілей і були створені бойові машини піхоти, які постійно оновлюються та змінюються. На початок війни Україна мала на озброєнні лише «совкові» зразки БМП-3[1], які, на сьогодні, абсолютно не відповідають жодним вимогам і є технічно та морально застарілими, тому створення сучасних зразків БМП є актуальною задачею.

Викладення основного матеріалу

Поле боя 2025 року створює значні виклики для БМП, в першу чергу це швидка доставка десанту до лінії зіткнення та подальша їх вогнева підтримка. Очевидно, що для вирішення цієї задачі БМП повинна мати значну мобільність та прохідність, а також достатню вогневу міць. Проте, сучасна лінія фронту перенасичена протитанковими засобами, мінними загородженнями та найбільш загрозливою зброєю цієї війни – FPV-дронами.

Враховуючи останнє, можна прослідкувати еволюційний розвиток БМП. Перші зразки таких машин були легкоброньованою, компактною бронетехнікою й мали на озброєнні кулемет і/або малокаліберну гармату(наприклад M113, БМП-1-2, Margder)[1]. Сьогодні ж можемо бачити значне збільшення маси БМП, що зумовлено прагненням виробників забезпечити якомога більший захист для екіпажу. Так шведська БМП CV-90[2] за своєю масою, яка становить 35 т, на пряму наближається до танків. Також збільшення маси техніки прослідковується за рахунок додаткових модифікацій вже існуючих зразків озброєння. Так, БМП Bradley модифікації M2A3 SSS rev. D важить 34 тони. Така маса зумовлена додатковим комплектом керамічних броньових елементів, що захищають машину від уламків та протитанкових засобів.

Поле бою показало що швидка БМП озброєна автоматичною гарматою калібром 30-40 мм є універсальним бійцем і може як підтримувати піхоту, так і руйнувати укриття і за сприятливих умов навіть боротися з ворожими танками. Тому, подальше збільшення калібру гармати може лише переважити і так не легку БМП і значно знизити її рухливість.

На даний момент найбільшою загрозою для більшості техніки, а також і БМП, є FPV-дрони. Використання засобів РЕБ не завжди здатне врятувати техніку через використання дронів на оптоволокну. Для вирішення цієї задачі БМП можна посилити комплексом активного захисту, який буде розрізняти цілі типу дронів та збивати їх своїм контрбоеприпасом, розробки таких систем активно ведуться в багатьох країнах [3, 4] та в Україні, зокрема.

Оптимальним вирішенням усіх поставлених задач буде створення принципово нової конструкції БМП українського виробництва, проте враховуючи час та бюджет на розробку, впровадження в виробництво, навчання персоналу та підготовку екіпажів для нового зразка озброєння, а також постійно обстріли об'єктів ВПК України розробку принципово нової БМП можливо розглядати лише в подальшій перспективі. На даний момент для забезпечення механізованих військ важкоброньованими БМП можна скористатись компромісним рішенням – створювати БМП на шасі танків.

Прикладом БМП на танковому шасі є БМП Ізраїльської армії «Ахзарит»[5], що виготовлена на базі танка Т-55 та «Намер»[6] базою для якої слугує танк «Меркава». Використання танків в якості бази для БМП має ряд переваг: використання готового шасі значно пришвидшує час на виготовлення, при демонтажі башти з гарматою звільняється значна частина навантаження на ходову частину, що дозволить підвищити захищеність і так гарно броньованого танкового корпусу шляхом додавання додаткових модулів бронювання та комплекту динамічного захисту, також слід зауважити значну кількість потенційних машин для подальшої модернізації, такі машини як Т-55, Leopard 1 та інші танки середини 20 ст. вже списані в більшості країн світу та просто стоять на складах.

Розробки таких машин велись також і в Україні, це машини БМП-55[7, 8] та БМПВ-64. БМП-55 – важка БМП на базі радянських танків Т-55 (рис1). Під час переналагодування танку в БМП, були внесені певні зміни в компоновку техніки – двигун був замінений на харківський 5ТДФ потужністю в 700 кінських сил, який Україна має змогу самостійно виготовляти та ремонтувати, а також він був перенесений з задньої частини в передню, разом із трансмісією, що збільшило заброневий захист десанту у випадку влучання та швидкість заміни цих компонентів у випадку їх виходу з ладу, за аналогією із «Намер». Бронювання було підсилене шляхом встановлення переднього листа броні під великим нахилом та оснащення техніки українським динамічним захистом «Ніж», що надає змогу БМП-55 витримувати влучання 90-мм бронебійних пострілів(лобова проекція), постріли від РПГ-7 та інших кумулятивних снарядів, а кормова частина – захист від калібру 14,5мм. Покращений захист нижньої частини корпусу дозволяє витримати відрив 10 кг вибухівки в тротиловому еквіваленті. Для забезпечення безпеки як техніки, так і піхоти, на ній встановлювався дистанційно керований модуль з 12,7 мм кулеметом НСВТ. Існує можливість встановлення інших бойових модулів Українського виробництва. Десантне відділення складає 10 осіб. Загальна вага техніки складає 28,5 тон, а швидкість – 70 км/год.



Рисунок 1 – Прототип БМП-55

Висновки

Базуючись на досвіді сучасної війни та досвіді успішного використання важких БМП «Намер» армією Ізраїлю, українські розробки БМПВ-64 та БМП-55 мають повноцінне право на існування та їх можна взяти до уваги як зразок техніки, котру можливо швидко виготовити в складних умовах війни. Проте представлені прототипи є лише дослідними зразками і потребують подальшого доопрацювання для можливості їх масового випуску, а також оснащення їх передовими засобами захисту від FPV-дронів та інших протитанкових засобів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://www.psdinfo.pro/post/бмп-мarder>
2. <https://military.com/uk/articles/cv-90-istoriya-varianty-operatoriy/>
3. <https://military.com/uk/news/ai-na-varti-bezpeky-oves-ta-msi-ob-yednalya-dlya-stvorenniya-avtonomnoyi-systemy-borotby-z-dronamy/>
4. <https://partner.hn.cz/c1-67726020-evpu-defence-cesky-inovator-v-evropskem-obrannem-prumyslu>
5. <https://www.ukrmilitary.com/2021/07/iff-achzarit.html>
6. <https://www.psdinfo.pro/post/namer>
7. <https://youtu.be/sJ-wfqwoSSM?si=r0yxpYzduGJaWUaL>
8. <https://www.psdinfo.pro/post/бмп-55>

Кудраш Віталій Олександрович – асистент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: lisovoy844@gmail.com

Резидент Богдан Сергійович – студент групи ІГМ-236, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bogdanrez1@gmail.com

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF INFANTRY FIGHTING VEHICLES BASED ON THE EXPERIENCE OF COMBAT OPERATIONS IN UKRAINE

Abstract

The main tasks that modern infantry fighting vehicles should perform are considered, the designs of the latest infantry fighting vehicles from different countries are analyzed, and options for modernizing existing ones and creating new modern Ukrainian infantry fighting vehicles are proposed.

Keywords: infantry fighting vehicle (IFV), armament, armor, mobility, requirements.

Kudrash Vilaty Oleksandrovyich – assistant of Department of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: lisovoy844@gmail.com

Rezydent Bohdan Sergiyovich – student of group ІГМ-236, Department of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bogdanrez1@gmail.com

КОНУСНИЙ ІНДЕКС CI (CONE INDEX) – БАЗОВИЙ ПОКАЗНИК ОЦІНКИ РУХУ МАШИН НА ГРУНТОВИХ ПОВЕРХНЯХ

Львівський національний університет природокористування

Анотація. За практикою країн НАТО запропоновано введення у національну нормативну базу оцінки твердості ґрунту на базі так зв. конусного індексу CI (cone index) з чітко визначеною геометрією конусного наконечника пенетрометра та регламентованим темпом замірів.

Ключові слова: колісна та гусенична техніка, ґрунт, рух, опорна поверхня, оцінка.

В Україні наразі відсутня нормативна база, що регламентує вимоги щодо оцінки прохідності та мобільності руху колісних і гусеничних машин (КГМ) та оцінки несної здатності ґрунтів/пісків як опорної поверхні (ОП) [1]. Остання відсутня і у стандарті рф [2] щодо оцінки прохідності військової автотехніки, однак у відповідних стандартах країн НАТО [3,4 і інш.] оцінка опорної поверхні базується на замірі твердості ОП спеціальним конусним наконечником пенетрометра на глибину 40 см з певним темпом занурення, рис.1 [3,5]. Слід зазначити, що віднедавня стандарт ISO [5] прийнято як державний ГОСТ Р і у рф.



Рис.1. Пьезоелектричний пенетрометр з конусним наконечником під вимоги НАТО

Слід зазначити, що форма наконечника дозволяє дати комбіновану оцінку опору вертикальної деформації та зсуву ґрунту, що власне характерні для взаємодії колеса з ОП (на відміну від нормативної за ДСТУ оцінки твердиміром Ревякіна, що ближча до механообробітку ґрунту [6]). Значення CI для різних типів ґрунтів корелюють і з прийнятим у дослідженнях прохідності КГМ радянської школи модулем деформації ґрунту E [7]:

$$\text{супісок} \quad E=12,151+5,420 \text{ in CI} \quad (1)$$

$$\text{суглинок} \quad E=8,914+5,019 \text{ in CI} \quad (2)$$

$$\text{глина} \quad E=7,583+7,521 \text{ in CI} \quad (3)$$

$$\text{для заболоченого ґрунту} \quad E=1,1315 \text{ CI} \quad (4)$$

У дослідженнях і вітчизняній нормативній базі щодо впливу КГМ на переущільнення – агроекологію ґрунтів акцент зроблено на оцінку щільності ґрунту [8], що трудомістко і вимагає лабораторного дослідження. Разом з тим з механіки ґрунтів відомий взаємозв'язок між щільністю та твердістю ґрунту, рис.2 [9], що однак обумовлює доцільність окремого кількісного уточнення для різних типів ґрунтів.

Загалом на базі значення CI розвинута і добре опрацьована методика розрахунку руху та енергетики КГМ бездоріжжям та ґрунтовими і піщаними дорогами. Відповідно і очевидна доцільність введення в Україні стандарту ISO в якості ДСТУ та опрацювання відповідних військових стандартів щодо КГМ для ЗС України.

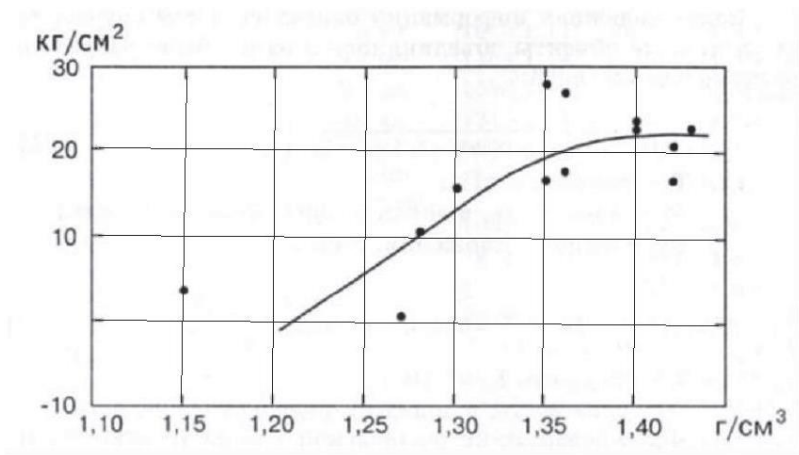


Рис. 2. Залежність між щільністю (г/см куб) та твердістю (кг/см кв) ґрунту [9]

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Грубель М. Г., Крайник Л. В., Андрієнко А. М. Основи формування національної нормативної бази щодо прохідності колісної військової автомобільної техніки. Системи озброєння і військова техніка. Харків: ХНУПС ім. Ів. Кожедуба. 2020. №2, (62). С. 7-17. URL: <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.62.01>
2. ГОСТ РВ 52048-2003. Автомобили многоцелевого назначения. Параметры проходимости и методы их определения. Москва, Госстандарт. 11 с.
3. DEF STAN 23-6. Guide to the Common Technical Requirements for Military Logistic Vehicles and Towed Equipment. Issue 3 Publication Date 25 August 2000. URL: <https://www.standards.globalspec.com/std/244958/def-stan-23-6>. (дата звернення 05. 10. 2022).
4. MIL-STD-1180B (NOTICE 1), Military Standard: Safety standards for military ground vehicles (7 AUG 1991). URL: http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1100-1299/MIL-STD-1180B_NOTICE-1_22182/
5. ISO 22476-1:2012. Geotechnical investigation and testing. Field testing. Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test. 6.
6. ДСТУ 5096:2008. Якість ґрунту. Визначення твердості ґрунту твердоміром Ревякіна. /Київ. Держспоживстандарт.2008. 8 с.
7. ДСТУ 4521:2006. Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт / Київ, Держспоживстандарт, 2006. 8с.
8. Rohani, B. and Baladi, G. Y. Correlation of mobility cone index with fundamental engineering properties of soil. US Army corps of engineers, US Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg, Mississippi: US Army, 1981. Miscellaneous Paper SL81-4, available at: <https://www.citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1029.7249&rep=rep1&type=pdf>.
9. Медведев В.В. Твердость почв. Харків: Вид. «Городская типография», 2009. 152 с.

Крайник Любомир Васильович – доктор технічних наук, професор кафедри автомобілів і тракторів Львівського національного університету природокористування, e-mail: l.kraunyk@gmail.com.

Сивулька Петро Михайлович - аспірант кафедри автомобілів і тракторів Львівського національного університету природокористування, e-mail: petr1111@gmail.com

Сукач Олег Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і тракторів Львівського національного університету природокористування, e-mail: 19oleg85@ukr.net

Abstract. Cone Index CI - Following the practice of NATO countries, it is proposed to introduce into the national regulatory framework an assessment of soil hardness based on the SI cone index with a clearly defined geometry of the penetrometer cone tip and a regulated measurement rate.

Key words: wheeled and tracked vehicles, soil, movement, support surface, assessment

Lubomyr Kraunyk – doctor of technical sciences, professor of the Department of Automobiles and Tractors, Lviv National Environmental University, e-mail: l.kraunyk@gmail.com.

Petro Sywulka - postgraduate of the Department of Automobiles and Tractors, Lviv National Environmental University, e-mail: petr1111@gmail.com

Oleg Sukach – candidate of technical sciences, dozent of the Department of Automobiles and Tractors, Lviv National Environmental University, e-mail: 19oleg85@ukr.net

КРИМІНАЛІСТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСТАНДАРТНОЇ ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ

Вінницький науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України

Анотація

У статті розглядаються особливості криміналістичного дослідження нестандартної вогнепальної зброї, яка не підпадає під традиційні категорії вогнепальних засобів. Зокрема, аналізується різноманіття форм нестандартної зброї, їх конструктивні елементи та способи виготовлення, що можуть бути використані для вчинення злочинів. Акцентовано увагу на важливості розробки ефективних методик і методів криміналістичних експертиз, спрямованих на ідентифікацію та дослідження таких видів зброї.

Ключові слова: вогнепальна зброя, балістичний облік, нестандартна вогнепальна зброя, кримінальне правопорушення.

Annotation

The article examines the features of forensic examination of non-standard firearms that do not fall under the traditional categories of firearms. In particular, it analyzes the variety of forms of non-standard weapons, their structural elements and manufacturing methods that can be used to commit crimes. Attention is focused on the importance of developing effective methods and techniques of forensic examinations aimed at identifying and studying such weapons.

Keywords: firearm, ballistics, non-standard firearm, criminal offense.

Актуальність дослідження. Зростання рівня протиправності та ускладнення методів скоєння кримінальних правопорушень призводить до того, що злочинці все частіше використовують нестандартну, саморобну чи модифіковану вогнепальну зброю. Така зброя може бути виготовлена з деталей, що легко доступні на ринку, або модернізована з легально придбаних зразків, що створює серйозні виклики для правоохоронних органів та експертних установ. Дослідження цього виду зброї вимагає специфічних знань і навичок, а також спеціалізованих методів і технічного обладнання. Криміналістичний аналіз нестандартної зброї має на меті встановлення її походження, механізму дії, технічних характеристик і можливості зв'язку з конкретними кримінальними правопорушеннями, ці аспекти мають вирішальне значення для доказування у кримінальних провадженнях, ігнорування яких може призвести до ускладнень у проведенні розслідувань та судових процесів. Актуальність теми посилюється необхідністю розробки нових методик дослідження, навчання фахівців та удосконалення законодавства, що регулює обіг та відповідальність за використання такої зброї. Удосконалення криміналістичного забезпечення допоможе підвищити ефективність роботи правоохоронних органів та сприятиме зміцненню безпеки у суспільстві, а також створенню більш дієвих механізмів запобігання протиправності.

Метою даного дослідження є аналіз криміналістичного дослідження нестандартної вогнепальної зброї.

Виклад основного матеріалу. Вогнепальна зброя, що використовується в протиправних цілях, поділяється за способом виготовлення на стандартну промислову, кустарну, саморобну. Як відомо, стандартна зброя виготовляється серійно в спеціалізованих заводських (фабричних) умовах, у відповідності з еталонами і вимогами ДСТУ (ТУ). Вона має власне цільове призначення. Кустарною вважається зброя, виготовлена не в заводських умовах майстрами-

зброярами. Від промислової і кустарної суттєво відрізняється за якістю (гіршою) виготовлення саморобна вогнепальна зброя. Атипова зброя має своєрідні балістичні і конструктивні характеристики, тому повинна розглядатися як самостійний вид вогнепальної зброї. У криміналістичній літературі вказано, що атипова зброя є зброєю особливого виду [4, с. 206].

Для правильної кваліфікації протиправних діянь, пов'язаних із незаконним обігом вогнепальної зброї (атипової, саморобної), важливе значення має правильне визначення групової характеристики зброї. У слідчій та експертній практиці відомо багато різновидів вогнепальної зброї, які відрізняються від стандартних заводських зразків способом виготовлення, конструктивними характеристиками, технічними та балістичними даними. У криміналістичній і правовій літературі зустрічаються назви, які відрізняються від назв, офіційно присвоєних зброї, а також різні за змістовними ознаками, характерними для певних груп зброї [2, с. 125].

З вилученої саморобної зброї багато є однозарядних пістолетів спрощеної конструкції, т. зв. пістолети-ручки калібру 5,6 мм. Їх кількість, що надходить на дослідження, а також типовість конструкції дозволяють з упевненістю стверджувати, що з розряду атипової сформувався самостійний тип вогнепальної зброї спрощеної конструкції. Крім пістолетів-ручок значного розповсюдження набули саморобні пістолети, револьвери, пістолети-кулемети та ін. Найпоширеніші калібри – 5,6 мм під патрони кільцевого запалення і 9 мм – пістолетні патрони до ПМ. Чимало зброї переробляється злочинцями з таких поширених моделей газових пістолетів і револьверів іноземного виробництва, як Valtro-85 Combat, Walther Super P-35, ME-38 та ін. Принцип роботи ударно-спускового механізму, а також основні конструктивні характеристики частин (за винятком стволів) пістолетів ІЖ-78 та ІЖ-79 майже не відрізняються від ПСМ і ПМ відповідно, тобто їх легко можна переробити для стрільби патронами калібру 5,45 мм та 9 мм відповідно. Зі зброї самозахисту газові пістолети і револьвери перетворюються у зброя вбивства, тому інформація про кримінальні правопорушення з її застосуванням займає дедалі більше місця у статистичних даних Міністерства внутрішніх справ України [1, с. 120].

Як показує практика, на експертизу переважно надходять перероблені пістолети Zoraki, Atmaka, Kral, Blow, які згідно з маркувальними позначеннями класифікуються як сигнальні (стартові). Такі пістолети можуть бути двох типів конструкції: із заглушеним металевим незйомною заглушкою каналом ствола; зі ствольною втулкою, яка може легко вилучатися з каналу ствола, через що їх відносять до категорії вогнепальної зброї. Спрощена конструкція пістолетів зі зйомною ствольною втулкою, доступна ціна та можливість вільного придбання в неспеціалізованих торговельних закладах зумовлюють їх попит серед різних верств населення. Особливості конструкції таких пістолетів, зокрема ствола, дозволяють швидко й технічно не складне перероблення з категорії сигнальних (стартових) у вогнепальну зброя (найчастіше викручують заглушки з дульної частини каналу ствола звичайним побутовим інструментом без внесення незворотних змін, а в деяких випадках замінюють ствол). Переробляють майже всі моделі газових пістолетів, установлюючи саморобний ствол, видаляючи одну чи декілька перетинок або втулок. Отже, такі пістолети дозволяють стріляти патронами калібру 9 мм, спорядженими гумовими чи аналогічними за своїми властивостями металевими снарядами не смертельної дії («Терен-3Ф», ПНД-9П, «Терен-3П», «Форт-Р», АЕ-9 тощо) або саморобними патронами, установлюючи шротини діаметром майже 6,2 мм у холості (шумові) набої. При цьому швидкість польоту снарядів під час стрільби саморобними набоями становить 300 м/с, унаслідок чого пістолети мають достатню для ураження людини питому кінетичну енергію стріляних куль і належать до категорії нестандартної вогнепальної зброї [3, с. 251].

Власне термін «атипова» є спірним. Мабуть, неправильно використовувати зазначений термін до будь-якого зразка вогнепальної зброї, виготовленої неза заводським і некустарним способом. По-перше, далеко не кожен зразок такої зброї виготовляється без наслідування будь-якому відомому зразку вогнепальної зброї. По-друге, окремі види неза заводської зброї мають доволі типову конструкцію і принцип дії, «атипової» або нетипової зброї, тобто виготовленої без урахування конструктивних ознак іншої зброї, не існує. Атиповою можна вважати унікальну зброя або виготовлену за спеціальним замовленням. При цьому до атипової він включив зброя, виготовлену у вигляді авторучок. Крім пістолетів-ручок, до атипової відносять і «замасковану» зброя (палиці, парасольки, гаманці та ін.). Не погоджуючись із наведеним вище, зазначимо, що така зброя сама по собі є типовою, тобто виготовленою за зразком замаскованої, незалежно від її зовнішнього вигляду. В окремих джерелах таку зброя називають «бойовою спеціальною»,

«прихованого монтажу», основною конструктивною особливістю якої є здатність до імітації за зовнішнім виглядом інших предметів або спеціальне монтування у такі предмети. Виділили загальні вимоги, що пред'являються до такої зброї: максимальна непомітність при носінні, маскуванню під звичайні, які не привертають уваги, предмети; висока боєготовність і можливість раптового застосування (інколи навіть без використання рук); ефективність застосування із незначних (до кількох метрів) відстаней [2, с. 125].

Методика ідентифікаційних досліджень атипової вогнепальної зброї розроблена на науковій основі теорії криміналістичної ідентифікації. Науковими передумовами судово-балістичної ідентифікації атипової вогнепальної зброї є: а) теоретичні положення криміналістичної ідентифікації; б) загальні положення балістики; в) судово-балістичні відомості про особливості атипової зброї (бойова і конструктивна характеристика зброї, боєприпасів і ін.); г) дані трасології про індивідуальність і стійкість зовнішньої будови об'єктів. Судові експертизи зазначених об'єктів вирішують питання як ідентифікаційного характеру, так і неідентифікаційного. У процесі їх проведення вирішуються три основні завдання: віднесення предмета до вогнепальної зброї; придатність до стрільби; встановлення наявності або відсутності тотожності і групової приналежності. В методичних цілях криміналістичні ідентифікаційні дослідження в літературі поділяють на декілька взаємозв'язаних і послідовно проводимих стадій. На кожній стадії вирішуються специфічні завдання за допомогою притаманних їй методів і прийомів, використовуються різні науково-технічні засоби. Серед вчених-криміналістів немає єдиної думки про стадії криміналістичного дослідження об'єктів. Узагальнення матеріалів експертної практики дозволяють так класифікувати умови, що перевіряються в ході експертного експерименту при дослідженні атипової зброї і слідів пострілу: а) надані слідчим, виходячи з встановлених по кримінальному провадженню обставин і перевірямих слідчих версій; б) наданих обвинуваченим чи потерпілим; в) визначені експертом шляхом вивчення конструкції бойових якостей досліджуємої зброї і слідів пострілу [4, с. 213].

Висновки. Нестандартна зброя становить значну загрозу через її поширення та використання у протиправній діяльності, вона може бути саморобною, модифікованою або складатися з частин, які легко придбати, що ускладнює її виявлення та аналіз. Криміналістичне дослідження такої зброї вимагає специфічних методик, включаючи аналіз конструктивних особливостей, механізму дії та слідів, залишених при використанні. Експерти повинні мати спеціалізовані знання і доступ до сучасних технологій для встановлення походження зброї, оцінки її потужності та функціональності. Це дозволяє ефективніше проводити розслідування та підвищувати якість доказової бази. Законодавче врегулювання та навчання фахівців є важливими кроками для підвищення ефективності роботи правоохоронних органів у цій сфері.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Мельник Р. В., В. А. Гамера, І. А. Голдинський. Про зростання кількості злочинів з використанням переробленої газової та стартової вогнепальної зброї. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2016. С. 119-121. URL: http://www.lsej.org.ua/5_2016/35.pdf (дата звернення: 15.11.2024).
2. Мельник Р. В., В. А. Гамера, Д. В. Толочин. Щодо деяких питань про класифікації атипової (саморобної) вогнепальної зброї. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2016. С.
3. Мельник Р.В. Щодо криміналістичного дослідження нестандартної вогнепальної зброї. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. 2015. С. 250-256. URL: <http://surl.li/nbdpkx> (дата звернення: 15.11.2024).
4. Кофанов А. В. Деякі дискусійні аспекти дослідження сучасних зразків атипової вогнепальної зброї. *Криміналістика і судова експертиза*. 2017. С. 206-215. URL: <http://surl.li/zpdorx> (дата звернення: 15.11.2024).

Ніжньовська Альона Анатоліївна – судовий експерт сектору балістичного обліку відділу криміналістичних видів досліджень Вінницького НДЕКЦ МВС, Вінницький НДЕКЦ МВС, м.Вінниця, e-mail: nizhnovska@ukr.net

Лазаренко Роман Ігорович – судовий експерт сектору балістичного обліку відділу криміналістичних видів досліджень Вінницького НДЕКЦ МВС, Вінницький НДЕКЦ МВС, м.Вінниця, e-mail: lzrnkroman@gmail.com

ГІБРИДНИЙ ПРИВІД ВІЙСЬКОВОГО БАГГІ

1 - Львівський національний університет природокористування

2 – Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Проведений аналіз схем гібридного приводу автотехніки підвищеної прохідності зарубіжних армій засвідчив докорінні відмінності від домінуючої схеми у гібридних автомобілях загального призначення. З аналізу умов використання, проведеного патентного огляду та доступних джерел інформації сформовано основи конструктивного синтезу такого приводу для військових баггі.

Ключові слова: військовий автомобіль - баггі, гібридний привід, бездоріжжя .

Поява і прийняття на озброєння впродовж останніх 2-3-х років військової автотехніки (ВАТ) з гібридним приводом в арміях США, Франції, Ізраїлю, Литви і ряді інших країн (з значним запізненням щодо автотехніки цивільного призначення) обумовлено зовсім не пріоритетами екології, а, насамперед, зменшенням локації руху ВАТ противником у інфрачервоному (тепловізори) та звуковому спектрах [1,2 і інш.]. Проведений огляд та аналіз доволі обмеженої інформації щодо конкретних конструкцій гібридного приводу ВАТ, у т.ч. і патентів, засвідчив і докорінні відмінності самих схем приводу у порівнянні з автомобілями загального, цивільного призначення [3,4]. Зокрема, на відміну від домінуючої в автомобілях загального призначення паралельної схеми гібридного приводу (parallel), в основу схем гібридного приводу ВАТ покладена послідовна (seriell) або змішана (mish-hybrid) з можливістю автономного руху бездоріжжям на певні дистанції при непрацюючому двигуні внутрішнього згоряння [4]. Окрім цього підвищена потужність генератора з умов більш швидкої зарядки акумуляторів, відчутно більшого споживання електроенергії військовим обладнанням, що встановлюється на колісні машини у цій сфері, а також використання машини з гібридним приводом як джерела електроенергії іншим споживачам у польових умовах.

Запити з фронту щодо модифікації військового баггі LTV 02 «Мамай», рис.1, з гібридним приводом (насамперед з умов мінімізації руху при евакуації поранених з поля бою та розвідувально-диверсійних операцій), поява в рф військового баггі з гібридним приводом концерну «Калашніков» [3], зумовили розгортання відповідних дослідно-конструкторських робіт з використанням доступної елементної бази та обмежених фінансових ресурсів. Зокрема в основу покладено тяговий привід масового електромобіля Nissan Leaf ZEO з дообладнанням за схемою seriell дизель-генератором потужністю 5-10 кВт та виходом змінної напруги 220В для зовнішніх споживачів. Природно, що змінені і посилені карданні вали і маточини ведучої осі,



Рис.1 – Базова модель військового баггі LTV 02 «Мамай» під забудову гібридного приводу.

розширена колісна база під забудову батареї та її додатковий захист з умов переїзду певних водних перешкод. Потужність тягового електродвигуна 80 кВт, як показує досвід експлуатації близьких за потужністю дизельних версій цього багі, є достатньою в умовах бездоріжжя і при моноприводі задньої осі, на яку припадає 60-65% ваги автомобіля.

Окрім цього, враховуючи реалії потреб ЗСУ в автотехніці переднього краю, реальною є використання і видозміненої схеми combined-axle [3]. У МВС України накопичено сотні пошкоджених автомобілів Toyota Prius III (ZVW30), з яких можна використати певну кількість систем приводу (очевидно з доукомплектуванням новими батареями більшої ємності – до 20-24 кВтгод та необхідних змін в системі управління приводу – з умов синхронізації роботи двигунів). Враховуючи меншу потужність тягового електродвигуна (60 кВт) – у т.ч. з приводом задньої осі за схемою mish-hybrid 1 mode – перероблений привід Toyota Prius III та установкою приводу передньої осі окремим електродвигуном з електронною синхронізацією частот обертання з тяговим електродвигуном задньої осі (так зв. електричний е-кардан). Звично, що ця агрегатна база дозволяє і варіант модифікації з моноприводом та підключенням, при необхідності, базового бензинового двигуна.

Враховуючи реалії війни та відповідні невеликі терміни експлуатації ВАТ переднього краю внаслідок бойових втрат використання вживаної агрегатної бази, що має значний ресурс і використана з вищезазначених автомобілів, як правило після ДТП. Разом з тим існуючий вітчизняний потенціал щодо базових агрегатів (окрім літій-іонних батарей при наявних трьох родовищ літію – сировини) дозволяє, при відповідній державній підтримці, забезпечити власне виробництво.

Список використаних джерел

1. Giesbrecht J. Feasibility of Hybrid Diesel-Electric Powertrains for Light Tactical vehicles./ Defence Research and Development Canada DRDC-2018-D049, June 2018. – 21p. [Електронний ресурс] <http://cradpdf.drdc-rddc.ca>PDF>unc319/>
2. Mittal V., Novoselich B., Rodriguez A. Hybridization of US Army Combat Vehicles. *SAE Technical Paper 2022-01-0371*. doi: 10.4271/2022-01-0371.
3. Крайник Л.В., Кіхтан А.В., Кохан В.Ф., Волощук М.Я. Концептуальні основи формування гібридного приводу автомобіля високої прохідності / *Військово-технічний збірник*, № 27/2022, НАСВ ім. гетьмана П. Сагайдачного. С. 10-18
4. Кіхтан А. Аналіз існуючих конструкцій та формування схеми гібридного приводу колісної автотехніки високої прохідності // *Вісник ЛНУП „Агроінженерія”*, № 28, 2024, Львів. – С. 63-71

Кіхтан Андрій Володимирович - аспірант кафедри автомобілів і тракторів Львівського національного університету природокористування, e-mail: kwest@ukr.net

Налесник Дмитро Васильович - аспірант кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу НУ «Львівська політехніка», e-mail: dmytro.nalesnyk@gmail.com

Крайник Тарас Любомирович – аспірант кафедри автомобілів і тракторів Львівського національного університету природокористування, e-mail: taras.kraynyk@gmail.com.

Hybrid Power-Trains for military Buggy

Abstract. *An analysis of hybrid drive schemes for off-road vehicles of foreign armies showed fundamental differences from the dominant scheme in general-purpose hybrid vehicles. Based on the analysis of the conditions of use, the review of patents and available sources of information, the foundations of the constructive synthesis of such a drive for military buggies have been formed.*

Keywords. *Military vehicles – buggy, hybrid power, off-road.*

Andriy Kikhtan - postgraduate of the Department of Automobiles and Tractors, Lviv National Environmental University, e-mail: kwest@ukr.net

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТА КІНЕМАТИКИ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ ДЛЯ БЕЗДОРІЖЖЯ

Львівський національний університет природокористування

Анотація. Поточний перехід нового покоління військової автотехніки на незалежні підвіски типу Timoney з збільшеною у 1,8-2,5 рази амплітудою ходів обумовлює необхідність опрацювання методики експериментальної оцінки ефективності відповідних конструкцій.

Представлено результати випробувань 2-х моделей військових автомобілів з різними типами підвіски з умов оцінки енергоємності та кінематики і визначення порогових значень швидкості руху, при якій відбувається «пробій» та поява недопустимих віброколивних навантажень на екіпаж.

Ключові слова: автомобіль, бездоріжжя, підвіска, кінематика, енергоємність.

Зростаючі вимоги до мобільності руху бездоріжжям військової автотехніки (ВАТ) зумовили поточний перехід машин нового, 4-го покоління армій НАТО з використанням так зв. довгоходових незалежних підвісок типу Timoney / Oshkosh TAK-4 з збільшеною у 1,8-2,5 рази амплітудою ходів, що дозволяє відповідно і збільшити середні швидкості руху з умов обмеження гранично допустимими віброколивними навантажнями на екіпаж [1]. Звично, що при цьому значно збільшується і довжина поперечних А-подібних важелів підвіски з кріпленням уже до спеціального картера головної передачі або до зближених поздовжніх лонжеронів каркасу основи кузова ВАТ, рис.1.



Рис. 1. Незалежна довгоходова підвіска легкого ударного автомобіля переднього краю – military buggy LTV 02 «Мамай»

Існуюча нормативна база, у т.ч. військові стандарти базових країн НАТО, передбачає оцінку ефективності підвіски тільки з умов плавності руху на автодорозі з твердим покриттям або випробувальній ділянці типу «бельгійська бруківка», що, однак, з-за незначних перепадів висот мікропрофілю опорної поверхні, не дозволяє дати оцінку амплітуди ходів та граничної енергоємності конкретних конструкцій. Разом з тим практично всі приймальні випробування ВАТ щодо оцінки відповідності вимогам руху на бездоріжжя проводяться на ділянках з твердим покриттям, що обумовлено розмаїттям та нестабільністю характеристик деформації бездоріжжя.

Проведений огляд та аналіз можливих варіантів випробувальних ділянок для оцінки амплітуди і власне динаміки ходів підвіски з врахуванням конкретних пружно-демпфуючих характеристик та навантажень під час руху [2] зумовив вибір на вже стандартизовану і в Україні (згідно ДСТУ 4123:2020) перешкоду – засіб заспокоєння руху “підвищений пішохідний перехід” висотою $H=10$ см

та довжиною пандуса в'їзду в діапазоні $L_1=1,25-1,5$ м (обмеження швидкості до 30 км/год.) та іншими характеристиками, що визначені у стандарті [3]. Останній дозволяє визначити і максимальну швидкість руху, при якій відбувається так зв. «пробій» підвіски – спрацювання до упору в відбійники-обмежувачі ходу, що супроводжується ударним навантаженням на екіпаж та є фактичним чинником обмеження швидкості руху в реаліях руху бездоріжжям. При цьому здійснюється власне комплексна, реальна оцінка ефективності підвіски – поєднання як геометрії, так і пружно-демпфуючих характеристик при різній динаміці навантажень на вісь залежно від швидкості руху. На рис.2 представлено результати запису віброприскорень для 2-х моделей ВАТ – військового баггі «Мамай» з незалежною, довгоходовою підвіскою, та УАЗ 3151 з ресорною залежною підвіскою.



Рис.2. Порівняльні графіки віброприскорень на місці водія при переїзді підвищеного пішохідного переходу згідно ДСТУ 4123:2020 з швидкістю 30 км/год (проїзд переходу – 4-5 секунди)

Проведені випробування засвідчили суттєву різницю енергоємності вищезазначених підвісок – критична швидкість руху для появи «пробою» в УАЗ – 30 км/год (рис.2) та 45 км/год для «Мамай».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Манзяк М.О., Крайник Л.В., Грубель М.Г. Тенденції розвитку конструкцій підвісок військових автомобілів. *Науково-технічний журнал "Системи озброєння і військова техніка"*. Харків, 2021. №1(65). С. 27-35. DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.65.04>.
2. Манзяк М.О., Крайник Т.Л. Оцінка адекватності моделювання роботи підвісок зразків колісної військової автомобільної техніки у порівнянні з даним експериментальних випробувань. *Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ*, 2024, Вип. 4(22). С.90-98. ISSN 2706-7386
3. ДСТУ 4123:2020. Безпека дорожнього руху. Засоби заспокоєння пуху. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2020-11-01]. Київ, 2020. 19 с. (Інформація та документація)

Крайник Тарас Любомирович – аспірант кафедри автомобілів і тракторів Львівського національного університету природокористування, e-mail: taras.kraynyk@gmail.com.

Мельник Дмитро Петрович - аспірант кафедри автомобілів і тракторів Львівського національного університету природокористування, e-mail: dimasinlviv@gmail.com.

Ковалишин Степан Михайлович – кандидат технічних наук, професор кафедри автомобілів і тракторів Львівського національного університету природокористування, e-mail: stkovalyshyn@gmail.com

Experimental assessment of energy consumption and kinematics of off-road vehicle suspension

Abstract. The current transition of a new generation of military vehicles to independent suspensions of the Timoney type with a travel amplitude increased by 1.8-2.5 times necessitates the development of a methodology for experimentally assessing the effectiveness of the corresponding structures. The results of testing 2 models of military vehicles with different types of suspension are presented, from the point of view of assessing energy consumption and kinematics and determining the maximum speeds at which breakdown occurs and unacceptable vibration loads appear on the crew.

Key words: car, off-road, suspension, kinematics, energy consumption.

Taras Krainyk – postgraduate of the Department of Automobiles and Tractors, Lviv National Environmental University, e-mail: taras.kraynyk@gmail.com.

Dmytro Melnyk - postgraduate of the Department of Automobiles and Tractors, Lviv National Environmental University, e-mail: dimasinlviv@gmail.com.

Stepan Kovalyshyn – candidate of technical sciences, professor of the Department of Automobiles and Tractors, Lviv National Environmental University, e-mail: stkovalyshyn@gmail.com

РОЗРОБКА РОЗМІРНОГО РЯДУ КЛИНОШАРНІРНИХ ПРЕСІВ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ ПРОКАТУ

Донбаська державна машинобудівна академія

Анотація. На підставі розробленої класифікації клиношарнірних механізмів і проведених досліджень обґрунтована доцільність застосування в пресах для реалізації процесів безвідходного розділення клиношарнірного механізму з увігнутим клином, у якого графік зміни сили деформування найбільш наближений до технологічного типового графіка зміни сили при розділенні. На основі аналізу запропонованих математичних моделей розроблена методика розрахунків геометричних, кінематичних і силових параметрів клиношарнірного механізму з увігнутим клином для процесів розділення сортового прокату. Запропоновано використати нову систему переважних чисел для розробки параметричного розмірного ряду пресів з клиношарнірним приводом з увігнутим клином для реалізації безвідходних способів розділення сортового прокату.

Ключові слова: жорсткість, енергія, класифікація, кінематичні і силові параметри, система переважних чисел, золотий переріз, геометрична прогресія.

Одним із напрямків підвищення жорсткості преса є застосування компактних виконавчих механізмів. Аналіз їх конструкцій виявив найбільш перспективний із них – клиношарнірний механізм.

Клиношарнірний механізм преса (рис. 1) складається з увігнутого клина 1, шарніра 2 і повзуна 3. Клин 1 має дві робочі поверхні, одна з яких виконана плоскою й опирається на упорну деталь – верхню поперечку преса. Друга робоча поверхня клина виконана увігнутою циліндричною радіусом R і сполучається з опуклою циліндричною поверхнею шарніра 2. Шарнір 2 має другу робочу поверхню, яка виконана опуклою циліндричною радіусом r і сполучається з увігнутою циліндричною поверхнею повзуна 3. Під дією сили привода F_r , увігнутий клин 1 переміщується горизонтально на величину ходу h_r , діє на шарнір 2, який, повертаючись навколо своєї осі, переміщує повзун 3. Повзун 3 робить вертикальний робочий хід h_b і діє на заготовку силою F_b , яка дорівнює за величиною силі корисного опору заготовки, і, доходячи до крайньої нижньої точки, повертається у вихідне положення [1]. У клиношарнірному механізмі із увігнутим клином рух починається з положення увігнутого клина при куті повороту шарніра 0° , коли сила на повзуні максимальна, а отже графік сили деформування найбільш наближений до технологічного типового графіка зміни сили при розділенні (рис. 2).

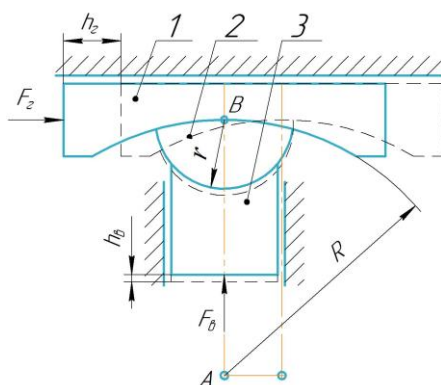


Рис. 1. Схема клиношарнірного механізму з увігнутим клином [1]

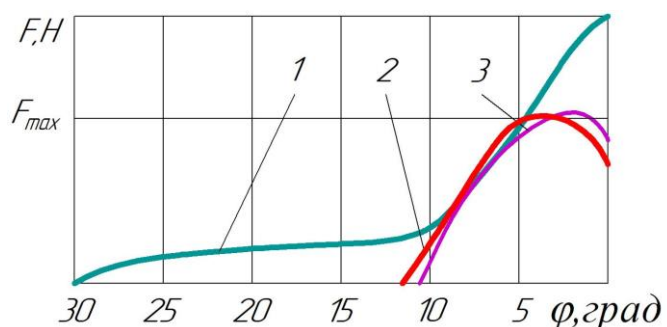


Рис. 2. Типові графіки зусиль ковальсько-пресових машин: 1 – з кривошипно-повзункним та клиношарнірним механізмом з опуклим клином; 2 – з клиношарнірним механізмом з увігнутим клином; 3 – типовий графік сил при відрізці зсувом [1]

У процесі проектування технічних систем важлива роль відводиться модульності розмірів виробу, що сприяє уніфікації, агрегатуванню і виконанню антропометричних вимог, прийнятих для усіх галузей промисловості [2]. Найбільш часто у стандартизації використовують ряди переважних чисел, побудованих на підставі геометричної прогресії. На основі геометричної прогресії створюють системи переважних чисел, в основу яких покладено: $3,15 \approx \pi$; $\sqrt[5]{10} \cong 1,6$. За висновками ряду вчених, гармонійна пропорційність природного середовища людині і пропорцій людського тіла об'єктам, які створюються ним, мають взаємозв'язок із «золотим перерізом» $\Phi = 1,618 \dots$ та її зворотним значенням $1/\Phi = 0,618 \dots$ [2]. З урахуванням недоліків основних принципів формування діючої системи переважних чисел, можна говорити про необхідність розробки нової, більш досконалої системи переважних чисел на підставі найбільш часто виявляємих у природі «золотих» геометричних прогресій.

Застосування нової системи переважних чисел дозволить виконати гармонізацію стандартів при створенні параметричних рядів пресів, уніфікувати і економічно оптимально (раціонально) ув'язати ці преси між собою з метою виконання основних вимог для реалізації техніко-економічних характеристик. Іншими словами, за допомогою нової системи переважних чисел можна автономно і більш гармонічно, без додаткових узгоджень між розробниками складальних частин складної технічної системи, регулювати і вибирати масо-габаритні параметри виготовляємої продукції.

У роботі [2] запропонована нова системи переважних чисел: $R_6, R_{11}, R_{16}, R_{31}, R_{46}, R_{91}, R_{181}$, яка описується математичними моделями, що одночасно враховують закон формування зворотних значень переважних чисел.

З урахуванням необхідності виконання даних вимог для нової системи переважних чисел, її загальна математична модель для неї має наступний вид:

$$R_m = \Phi^{n/m}. \quad (1)$$

У випадку, коли у формулі (17) $n = -N; \dots; -2; -1; 0; 1; 2 \dots; N$, формуються нові ряди системи переважних чисел:

- при $m = 1$ (розширення R_6)

$$R_1 = \Phi^{n/1}, \quad (2)$$

тобто $R_1: \dots; 0,381 \dots; 0,618 \dots; 1,0; 1,618 \dots; 2,618 \dots$

Запропонована нова система переважних чисел (розширення R_6) застосована для розробки параметричного розмірного ряду пресів з клиношарнірним приводом з увігнутим клином для реалізації безвідходних способів розділення сортового прокату (рис. 3).



Рис. 3. Розмірний ряд пресів з клиношарнірним механізмом з увігнутим клином для розділення сортового прокату (розширення R_6)

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Karnaukh S. G., Chosta N. V., Markov O. E., Kukhar V. V. Development and research of the press operating mechanism, made in the form of the wedge-joint mechanism with a curving wedge for separation operations. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021. 116, pp. 3305–3314, <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07718-8>.

2. Цюцюра С. В., Цюцюра В. Д. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація: Навчальний посібник. К.: Знання. 2005. 242 с., ISBN 966-8148-67-3.

Карнаух Сергій Григорович, канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, karnaukh.sergii@gmail.com.

Чоста Наталія Вікторівна, канд. техн. наук, доцент, завідувачка кафедри основ проектування машин, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, natalychosta@i.ua.

Development of a size range of wedge-hinge presses for rolled product separation

Abstract. *Based on the developed classification of wedge-hinge mechanisms and conducted research, the feasibility of using a wedge-hinge mechanism with a concave wedge in presses for the implementation of waste-free separation processes has been justified. Based on the analysis of the proposed mathematical models, a methodology for calculating the geometric, kinematic, and force parameters of the wedge-hinge mechanism with a concave wedge for the processes of separating sectional rolled products has been developed. It is proposed to use a new system of preferred numbers for the development of a parametric size range of presses with a wedge-hinge drive with a concave wedge for the implementation of waste-free methods of separating sectional rolled products.*

Keywords: stiffness, energy, classification, kinematic and force parameters, system of preferred numbers, golden ratio, geometric progression.

Karnaukh Sergii Gryhorovych, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Doctoral Candidate at the Department of Metal Forming, Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, karnaukh.sergii@gmail.com.

Chosta Nataliia Viktorivna, .D. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Machine Design Fundamentals, Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, natalychosta@i.ua.

УТОЧНЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ФУНКЦІЙ ПОРИСТОСТІ ПРИ ПЛАСТИЧНОМУ ДЕФОРМУВАННІ МАТЕРІАЛІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Фізико-механічні властивості порошкових матеріалів значно залежать від особливостей і величини початкової пористості. В статті представлена методика описання механічних характеристик пористих тіл єдиними функціями, що відображають закономірності зміни пористості під час пластичного формозмінення. Дана методика базується на основних положеннях механіки пластичної деформації пористих тіл і дозволяє отримувати достовірні функції пористості для даного матеріалу, шляхом уточнення теоретичних функцій експериментальними дослідженнями. Ґрунтуючись на проведених теоретичних та експериментальних дослідженнях отримано функції пористості для матеріалів на основі міді, представлена методика розрахунку накопиченої деформації матеріалу основи та побудовано криві течії.

Ключові слова: пористе тіло, формозмінення, функція пористості, обробка тиском, холодна пластична деформація, крива течії, напруження, деформації.

Аналіз відомих експериментальних і теоретичних результатів показує, що умови пластичності засновані на гіпотезі про існування поверхні пластичності пористого тіла, які враховують вплив першого та другого інваріанта тензора напружень і другого інваріанта девіатора напружень, досить добре описують механізм пластичного деформування пористих матеріалів, якщо виходити з припущення, що треті інваріанти не чинять впливу на поведінку пористого тіла. Але з врахуванням ізотропії та підходу пов'язаного із завданням властивостей дисипативної функції [1, 2] була отримана умова пластичності матеріалу, що ущільнюється

$$\frac{p^2}{f_2(\theta)} + \frac{\tau^2}{f_1(\theta)} = (1-\theta)k^2, \quad (1)$$

де $k = \sqrt{\frac{3}{2}}\sigma_T$, σ_T - границя текучості твердої фази при одноосному розтягу, $f_1(\theta)$, $f_2(\theta)$ -

функції пористості, $p = \frac{1}{3}\sigma_{ij}\delta_{ij}$ - середнє напруження.

Якщо $p=0$, то при об'ємному напруженому стані асоційований з умовою пластичності пористих тіл закон течії [3] приводить до того, що при пластичній деформації пористого тіла має місце зміна об'єму при відсутності сферичної компоненти тензора напружень.

Сучасні спеціалізовані програмні системи не завжди достовірно описують процеси і явища, які мають місце при пластичній деформації пористих тіл. Підвищення точності розрахунків в таких складних процесах потребує створення низки альтернативних постановок і наближених методів розв'язку, що дозволить розширити клас таких задач. Створення і розвиток нових технологічних процесів обробки тиском порошкових матеріалів потребують методики прогнозування необхідних експлуатаційних характеристик виробів. Якщо для дослідження формоутворення порошкових матеріалів використовувати рівняння пластичності пористого тіла, які встановлюють співвідношення між середнім напруженням, інтенсивністю девіатора напружень і функціями пористості запропоновані [3], то теоретичні залежності отримані із основних рівнянь теорії течії пористого тіла потребують уточнення функцій пористості через коефіцієнти, які визначаються експериментально і є різними для кожного пористого матеріалу.

Для визначення функцій пористості матеріалу на основі міді проводили досліди на осадку з мінімальним тертям на торцях для трьох вихідних значень пористості ($\theta_0=0.246$, $\theta_0=0.194$, $\theta_0=0.0775$) [4, 5].

При осадці вимірювались висота зразка h , діаметр d та зусилля P . Напруження σ , деформація e_φ , пористість θ розраховувались по формулах

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d^2}; e_r = e_\varphi = \ln \frac{d}{d_0}; \theta = 1 - \frac{V_0}{V} (1 - \theta_0) = 1 - \frac{d_0^2 h_0}{d^2 h} (1 - \theta_0). \quad (2)$$

Відповідні графіки показані на рис. 1-3 Для визначення коефіцієнтів m та n і отримання кривої течії $\tau_0=f(\Gamma_0)$ проводили чисельні інтегрування диференціальних рівнянь

$$t = -\int_0^\theta \frac{1 + \alpha_0^m(\theta_*)}{3(1 - \theta_*)\alpha_0^m(\theta_*)} d\theta_*; \frac{d\Gamma_0}{d\theta} = -\frac{1}{\sqrt{6}} (1 - \theta)^{n-0.5} \frac{\sqrt{1 + \alpha_0^m}}{\alpha_0^m}; \tau_0 = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{\sqrt{1 + \alpha}}{\sqrt{f_1(\theta)(1 - \theta)}} \sigma = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{\sqrt{1 + \alpha_0^m(\theta)}}{(1 - \theta)^{n+1.5}} \sigma \quad (3)$$

Остаточно для функцій пористості отримані наступні вирази

$$f_1(\theta) = \varphi_{10}^{1+n}(\theta) = ((1 - \theta)^2)^{1+1.35} = (1 - \theta)^{4.7}$$

$$f_2(\theta) = \frac{1}{6\alpha_0^m} f_1(\theta) = \frac{(1 - \theta)^{4.7}}{b \left(\frac{\theta}{4(1 - \theta)} \right)^{0.97}} = 0.64 \frac{(1 - \theta)^{5.67}}{\theta^{0.97}}, \quad (4)$$

Отримана в результаті інтегрування (3) крива течії $\tau_0=f(\Gamma_0)$ може бути апроксимована степеневу залежністю:

$$\tau_0 = 11 + 51.36\Gamma_0^{0.902} \quad (\Gamma_0 \geq 0.01) \quad (5)$$

Залежність $\tau_0=f(\Gamma_0)$ та її лінійна і степенева апроксимації приведені на рис. 4.

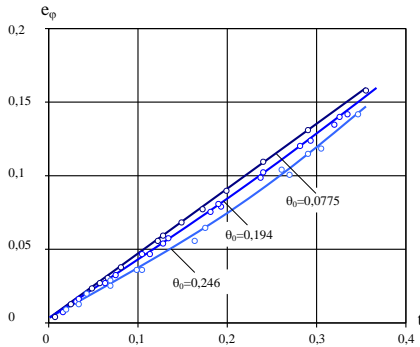


Рис. 1. Залежність деформації e_φ від ступеню осадки t (мідь)

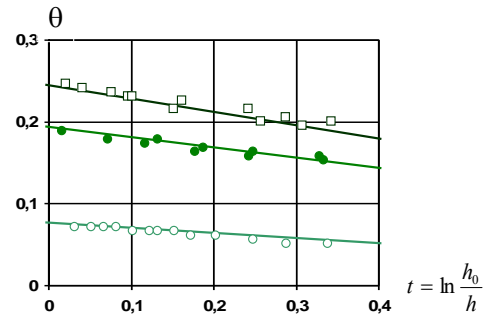


Рис. 2. Зміна пористості при осадці (мідь)

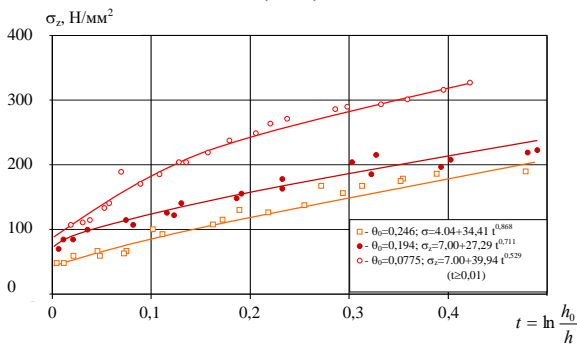


Рис. 3. Осьові напруження в пористих мідних зразках при осадці

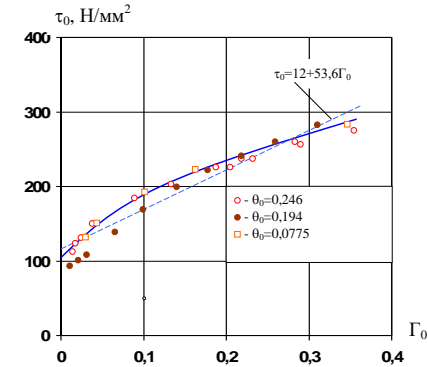


Рис. 4. Крива течії матеріалу основи (мідь)

Показані на графіку точки відповідають розрахункам по (3) для зразків різної вихідної пористості при $m=0.97$, $n=1.35$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Shtern, M. B., Mikhailov, O. V., Mikhailov, A. O. Generalized Continuum Model of Plasticity of Powder and Porous Materials. *Powder Metallurgy and Metal Ceramicsthis*, 2021, 60(1-2), pp. 20–34.
2. Skorokhod, V. V., Shtern, M. B. Rheological Model of Sintering and Viscous Flow of Porous Materials with 2D Defects. *Powder Metallurgy and Metal Ceramicsthis*, 2019, 58(7-8), pp. 399–405.
3. Kuzmov, A. V., Shtern, M. B., Kirkova, O. G. The Effect of Additional Shear Strains Induced by Die Rotation on the Radial Pressing of Metal Powder Billets. *Powder Metallurgy and Metal Ceramicsthis*, 2020, 59(3-4), pp. 127–133.

4. Sivak, R., Kulykivskiy, V., Savchenko, V., Minenko, S., & Borovskyi V. Determination of porosity functions in the pressure treatment of iron-based powder materials in agricultural engineering. *Scientific Horizons*, 2023, 26(3), 124-134.

5. Sivack I. O. The evaluation of Deformability of the Porous Bodeis. *The Bulletin of Politehnic Institute of Jassi*, 1996, XLII(XLVI), N3 – 4, p. 607 - 611.

6. Polishchuk L., Bilyy O., and Kharchenko Y. Life time assessment of clamp-forming machine boom durability. *Diagnostyka*, 2015, 16, № 4, p. 71–76.

7. Zvirko O., Tsyrunyk O., and Polishchuk L. Assessment of hydrogen assisted degradation of stacker conveyor boom steel. *Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*, 2023, Part F1379, p. 200–207.

Сивак Роман Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, sivak_r_i@ukr.net.

Поліщук Леонід Клавдійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, leo.polishchuk@gmail.com.

Gao Xianan, аспірантка, кафедра галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

REFINEMENT OF THEORETICAL POROSITY FUNCTIONS DURING PLASTIC DEFORMATION OF MATERIALS

Abstract

The physical and mechanical properties of powder materials significantly depend on the features and value of the initial porosity. The article presents a method for describing the mechanical characteristics of porous bodies by single functions that reflect the regularities of porosity changes during plastic deformation. This method is based on the basic principles of the mechanics of plastic deformation of porous bodies and allows obtaining reliable porosity functions for a given material by refining theoretical functions by experimental studies. Based on the theoretical and experimental studies, porosity functions for copper-based materials were obtained, a method for calculating the accumulated deformation of the base material was presented, and flow curves were constructed.

Key words: porous body, deformation, porosity function, pressure treatment, cold plastic deformation, flow curve, stresses, deformations.

Roman Sivak, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, sivak_r_i@ukr.net.

Leonid Polishchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, leo.polishchuk@gmail.com.

Gao Xianan, PhD student, Department of Industrial Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

УТОЧНЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ФУНКЦІЙ ПОРИСТОСТІ ПРИ ПЛАСТИЧНОМУ ДЕФОРМУВАННІ МАТЕРІАЛІВ

Анотація

Фізико-механічні властивості порошкових матеріалів значно залежать від особливостей і величини початкової пористості. В статті представлена методика описання механічних характеристик пористих тіл єдиними функціями, що відображають закономірності зміни пористості під час пластичного формозмінення. Дана методика базується на основних положеннях механіки пластичної деформації пористих тіл і дозволяє отримувати достовірні функції пористості для даного матеріалу, шляхом уточнення теоретичних функцій експериментальними дослідженнями. Ґрунтуючись на проведених теоретичних та експериментальних дослідженнях отримано функції пористості для матеріалів на основі міді, представлена методика розрахунку накопиченої деформації матеріалу основи та побудовано криві течії.

Ключові слова: пористе тіло, формозмінення, функція пористості, обробка тиском, холодна пластична деформація, крива течії, напруження, деформації.

Сивак Роман Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, sivak_r_i@ukr.net.

Поліщук Леонід Клавдійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, leo.polishchuk@gmail.com.

Gao Xianan, аспірантка, кафедра галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

COMBINED FRACTURE MODELS OF PLASTIC MATERIALS

Ingenieurbüro Prof. H. Dell

Abstract *This paper discusses the influence of the type of stress-strain state on the fracture prediction accuracy of AA7108-T6 aluminum alloy in numerical simulation. The plasticity curve of the extruded profile, approximated using the plasticity condition of Barlatt et al. demonstrates that plane deformation in the direction of maximum stress produces a stress state with a principal stress ratio close to nearly uniform biaxial tension. Nevertheless, the experimental tests showed significant differences in the fracture strain values. This indicates the necessity to take into account not only the nature of the stress state, but also the peculiarities of the deformed state when predicting the fracture of materials. The obtained results emphasize the importance of an integrated approach in the development of fracture criteria and the construction of combined models.*

In order to improve the accuracy of prediction, a combined model of tear-off fracture was developed, in which the character of the stress-strain state is described by a certain parameter. In this case, the fracture plane is oriented perpendicular to the direction of maximum normal stress. A combined model of shear fracture is also presented, in which fracture occurs along the plane of action of maximum tangential stresses, taking into account the corresponding parameter of the stress-strain state.

The dynamic fracture diagrams obtained by the developed models were compared with the test results of various specimens.

The models demonstrate a high degree of correspondence with experimental data, confirming their applicability for the description of complex loading modes. The results emphasize the effectiveness of the combined approach to fracture modeling and its prospects for further research and engineering applications.

Keywords: plastic materials, fracture, aluminum alloy AA7108-T6, combined model of fracture, stress-strain state, plasticity curve, Barlatt's condition, numerical simulation, finite elements, dynamic diagram.

Fracture of plastic materials under complex loading conditions is one of the most important problems of modern deformable solid mechanics. The safety and durability of critical engineering structures in the aerospace, transport, energy and construction industries directly depend on the reliability of predicting the behavior of structural materials under ultimate loads. Aluminum alloys, having high specific strength and good machinability, are widely used in structures subjected to intensive operational loads. However, even for such materials, failure can occur by various mechanisms - from breakaway to shear - depending on the local stress-strain state.

Classical fracture criteria, as a rule, are based on either stress or strain states and often do not provide an adequate description of real fracture processes, especially for complex loading paths. This requires the development of more universal models capable of taking into account the complex interaction of various factors. One of the effective approaches is the use of combined fracture models, which allow integrating the influence of several material characteristics and loading conditions.

This work is aimed at investigating the fracture characteristics of AA7108-T6 aluminum alloy using a combined approach that includes both breakaway and shear simulations, taking into account the relevant stress-strain state parameters.

Fig. 1 shows the plasticity curve of a pressed profile made of aluminum alloy AA7108-T6 from [1], approximated by the plasticity condition of Barlat et al. [2]. If in finite element modeling the plasticity surface is used as a plastic potential, then at plane deformation in the x direction, which corresponds to the maximum stress σ_x , a stress state with the ratio of principal stresses σ_y/σ_x , approximately equal to 0,9 is established, i.e. very close to biaxial uniform tension. Meanwhile, in corresponding bending tests of wide specimens, i.e., under plane deformation, a fracture strain of about 0,2 was measured, and in drawing tests with a spherical punch under approximately uniform biaxial tension, a fracture strain of 0,44 was obtained. It follows that in such cases, in addition to the type of stress state, the type of deformed state should be taken into account when calculating the fracture strain.

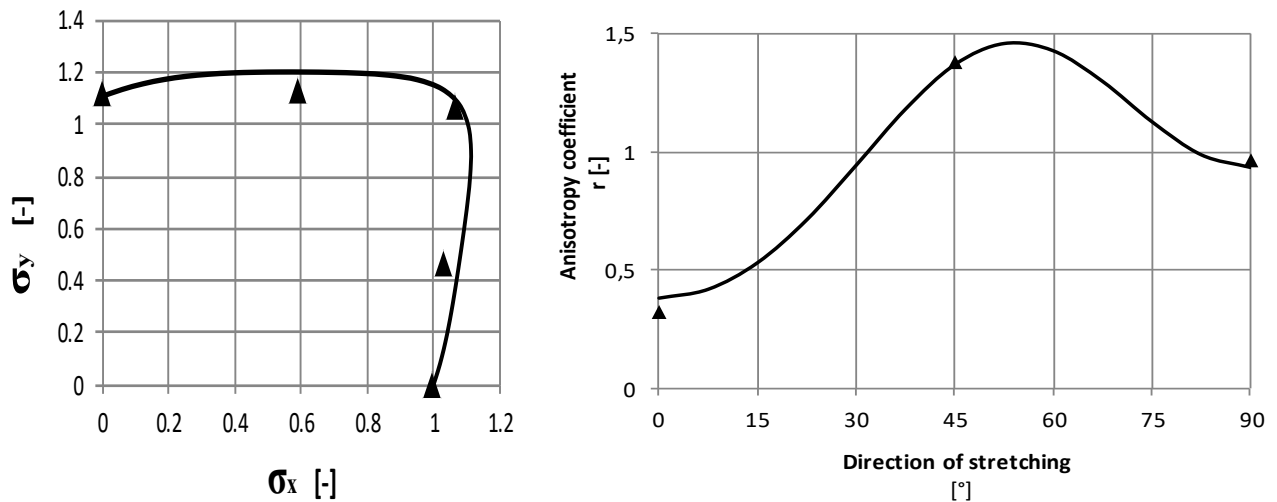


Fig. 1. Plasticity surface and dependence of the anisotropy coefficient of the aluminum profile on the tensile direction from [1]. Stresses are referred to the tensile strain resistance in the direction of pressing

In accordance with this, a model of break-off fracture was developed (in break-off fracture, the fracture plane is close to the plane where the maximum normal stress acts), in which the type of stress-strain state is characterized by the parameter

$$\rho = \frac{1 - s\eta}{\dot{\epsilon}_{\max} / \dot{\epsilon}_g}$$

Here $\eta = \sigma_{ii} / \sigma_M$ is the stiffness of the stress state, where σ_M is the stress intensity, $\dot{\epsilon}_{\max} > 0$ is the maximum strain rate, $\dot{\epsilon}_g = \sqrt{2\dot{\epsilon}_{ij}\dot{\epsilon}_{ij}/3}$ is the geometric equivalent strain rate, and S is a material parameter.

The breakaway diagram is approximated by the equation $\epsilon^{**} = d \exp(q\rho)$, with two material parameters d and q .

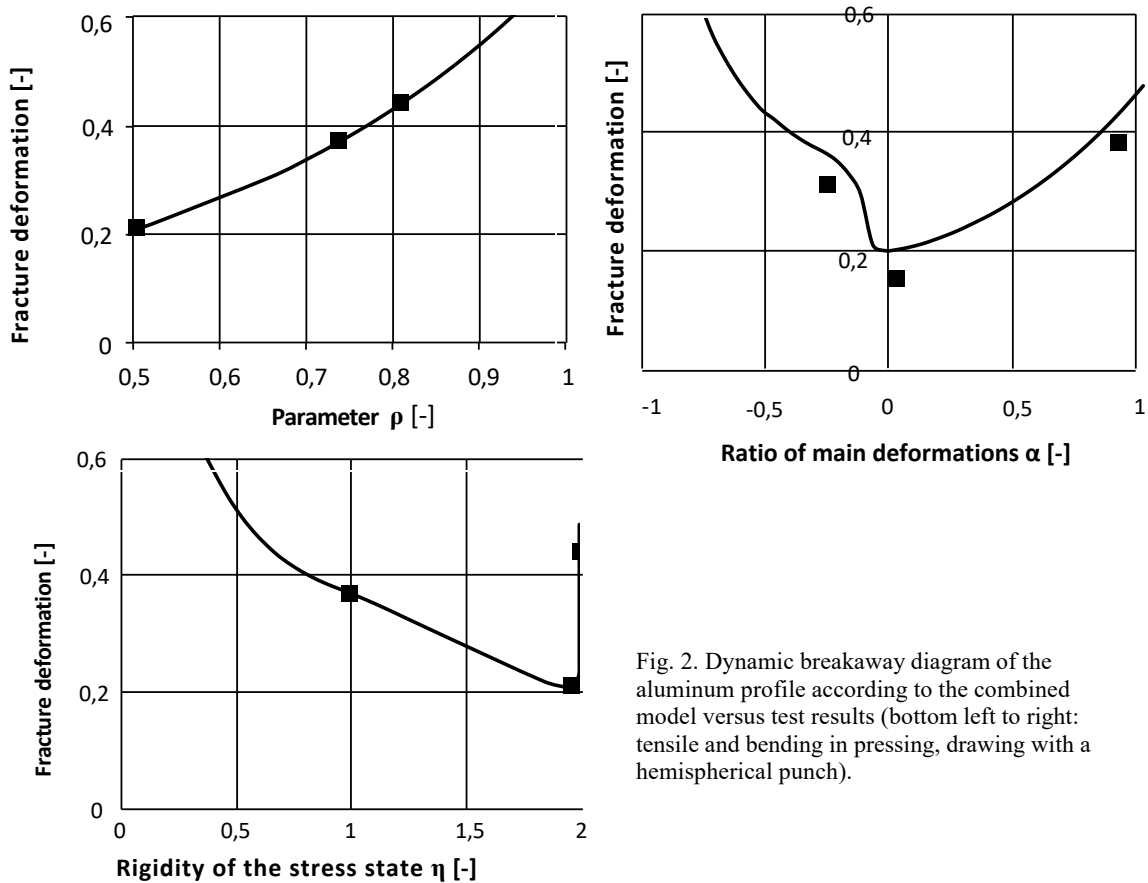


Fig. 2. Dynamic breakaway diagram of the aluminum profile according to the combined model versus test results (bottom left to right: tensile and bending in pressing, drawing with a hemispherical punch).

Fig. 2 shows in different coordinates the dynamic (100 1/s) breakaway diagram of the aluminum profile, whose ductility curve is shown in Fig. 1. The results of uniaxial tensile, bending and drawing tests with a hemispherical punch are compared with the calculation according to the given breakaway model with the following parameters $s = 0.287$, $d = 0.062$, $q = 2.4264$.

In the combined shear model (in shear fracture, the fracture plane is close to the plane on which the maximum tangential stress acts), the parameter of the stress-strain state type is written as

$$\omega = \frac{1 - k\eta}{g}$$

Here $g = \dot{\gamma}_{\max} / \dot{\epsilon}_g$, where $\dot{\gamma}_{\max}$ is the maximum plastic shear rate, k is the material parameter.

The shear diagram is approximated by the equation

$$\varepsilon_{sf}^{**} = b_1 \exp(-f\theta) + b_2 \exp(f\theta),$$

with the three material parameters b_1 , b_2 and f .

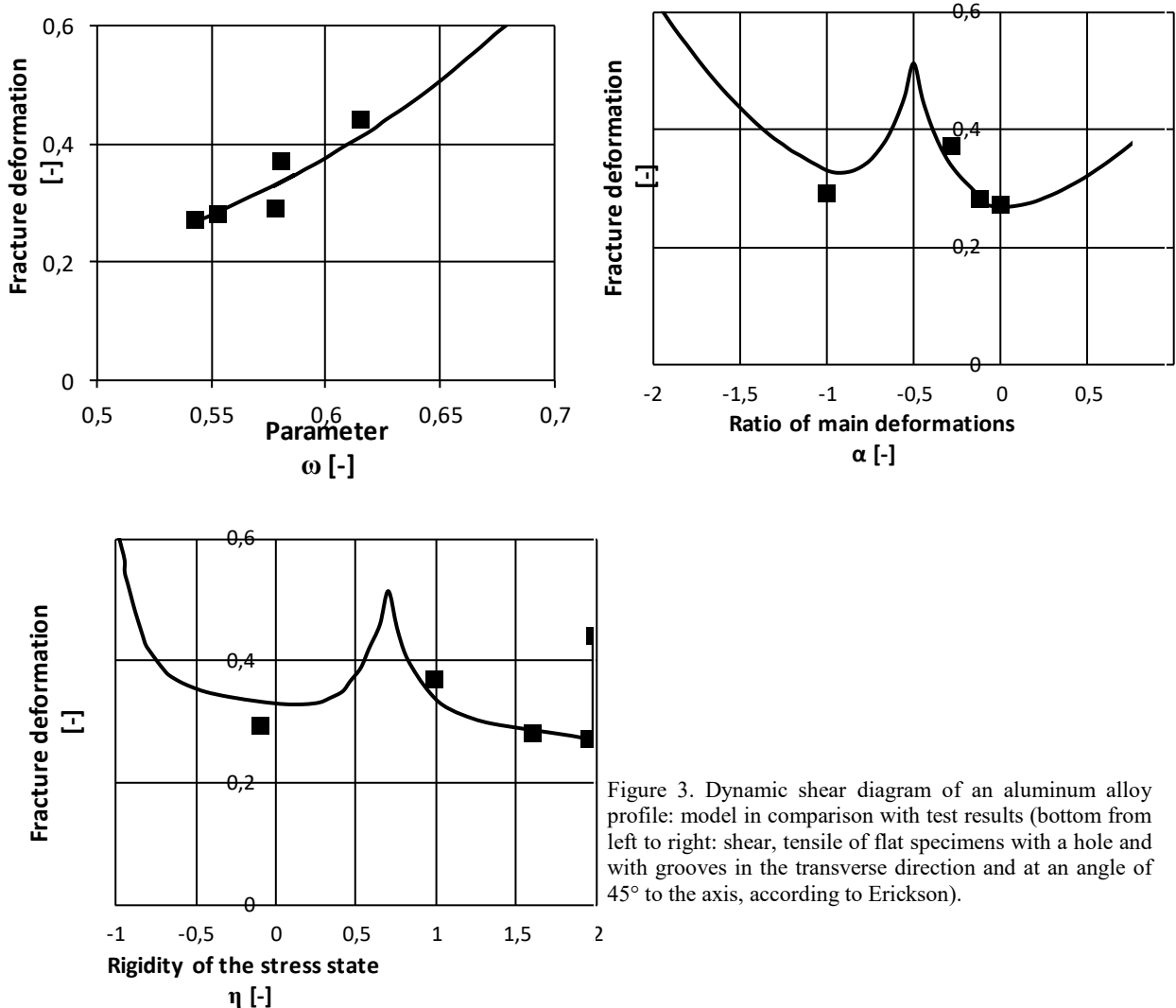


Figure 3. Dynamic shear diagram of an aluminum alloy profile: model in comparison with test results (bottom from left to right: shear, tensile of flat specimens with a hole and with grooves in the transverse direction and at an angle of 45° to the axis, according to Erickson).

Fig. 3 shows in different coordinates the dynamic shear diagram of the aluminum profile, the plasticity curve of which is shown in Fig. 1. The test results are compared with the shear model calculation with the following parameters $k = 0.03$, $b_1 = 0.032$, $b_2 = 0.0107$, $f = 5.931$.

Conclusions

1. The character of the deformed state has a significant influence on the failure of plastic materials, and it must be taken into account along with the stress state in numerical simulation.
2. The use of plasticity curve approximated by Barlatt's condition allows to adequately describe the behavior of aluminum alloy AA7108-T6 under complex loading paths, especially under conditions of plane deformation.
3. The developed combined models of fracture – by detachment and shear – provide a more accurate description of the fracture mechanism, reflecting the influence of both normal and tangential stresses, and their corresponding parameters of the stress-strain state.
4. The example of aluminum alloy AA7108-T6 shows that at close stress states (e.g., uniform biaxial tension), but different deformation paths, significant differences in ultimate strains are observed, up to more than twofold increase. This confirms the necessity to take into account the influence of the deformation path when building fracture models, especially in numerical simulations using finite element analysis.
5. The presented models have high predictive ability and can be used for fracture analysis of aluminum and other ductile alloys in engineering practice.
6. The combined approach to fracture modeling is a promising direction in the field of fracture mechanics and can be adapted for different types of materials and loading conditions.

REFERENCE

1. Hooputra, H., Gese, H., Dell, H., Werner, H.: A Comprehensive Failure Model for Crashworthiness Simulation of Aluminum Extrusions, IJCrash, 2004, Vol. 9, No. 5, pp. 449-463.
2. Barlat, F.; Brem, J. W.; Yoon, J. W.; Chung, K.; Dick, R. E.; Lege, D. J.; Pourboghrat, F.; Choi, S.-H.; Chu, E.: Plane stress yield function for aluminium alloy sheets, Part 1: Formulation. Int. J. Plasticity, 19(12) (2003) pp. 1297-1319

Dell Harry Danilovich, Doctor of Technical Sciences, Professor. Germany, München

КОМБІНОВАНІ МОДЕЛІ РУЙНУВАННЯ ПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. В даній роботі розглядається вплив виду напружено-деформованого стану на точність прогнозу руйнування алюмінієвого сплаву AA7108-T6 під час чисельного моделювання. Крива пластичності пресованого профілю, апроксимована з використанням умови пластичності Барлата та ін., демонструє, що в разі плоского деформування в напрямі максимального напруження формується напружений стан із відношенням головних напружень, близьких практично до рівномірного двовісного розтягу. Проте експериментальні випробування показали істотні відмінності в значеннях деформації руйнування. Це вказує на необхідність враховувати не тільки характер напруженого стану, а й особливості деформованого стану при прогнозуванні руйнування матеріалів. Отримані результати підкреслюють важливість комплексного підходу під час формування критеріїв руйнування та побудови комбінованих моделей.

З метою підвищення точності прогнозу було розроблено комбіновану модель руйнування відривом, у якій характер напружено-деформованого стану описується певним параметром. При цьому площину руйнування орієнтовано перпендикулярно до напрямку максимального нормального напруження. Також представлено комбіновану модель руйнування зрізом, у якій руйнування відбувається за площиною дії максимальних дотичних напружень, з урахуванням відповідного параметра напружено-деформованого стану.

Проведено зіставлення динамічних діаграм руйнування, отриманих за розробленими моделями, з результатами випробувань різних зразків.

Моделі демонструють високий ступінь відповідності експериментальним даним, підтверджуючи їхню застосовність для опису складних режимів навантаження. Результати підкреслюють ефективність комбінованого підходу до моделювання руйнування і його перспективність для подальших досліджень та інженерного застосування.

Ключові слова: пластичні матеріали, руйнування, алюмінієвий сплав AA7108-T6, комбінована модель руйнування, напружено-деформований стан, крива пластичності, умова Барлата, чисельне моделювання, скінченні елементи, динамічна діаграма.

Дель Гаррі Данилович, доктор технічних наук, професор. Німеччина, Мюнхен

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМОВНОСТІ МЕТАЛУ ПРИ РАДІАЛЬНОМУ ВИДАВЛЮВАННІ

Донбаська державна машинобудівна академія
 Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України
 Вінницький національний технічний університет

Анотація

Для отримання деталей з фланцями ефективна технологія радіального видавлювання комбінованого з осадкою, яка дозволяє підвищити ступінь деформування. Деформовність металу при радіальному видавлюванні залежить від геометричних параметрів фланця і матриці, схеми та історії деформування. Для процесу комбінованого двостадійного видавлювання стрижня з фланцем з характерним немонотонним навантаженням запропоновано послідовність розрахунків ресурсу пластичності, що включає етапи визначення напружено-деформованого стану анізотропного зміцнюваного тіла з урахуванням впливу ефекту Баушінгера і історії навантаження.

Ключові слова: видавлювання металу, деталі з фланцем, схеми деформування, деформовність, ступінь формоутворення.

Розробка та освоєння нових наукомістких технологічних процесів об'ємного пластичного деформування – один із найважливіших напрямів інтенсифікації машинобудування, зокрема заготівельного виробництва [1]. Створення та дослідження нових способів видавлювання та моделей розрахунку процесів деформування в умовах складного навантаження є важливими напрямками розвитку процесів точного об'ємного штампування (ТОШ) [2].

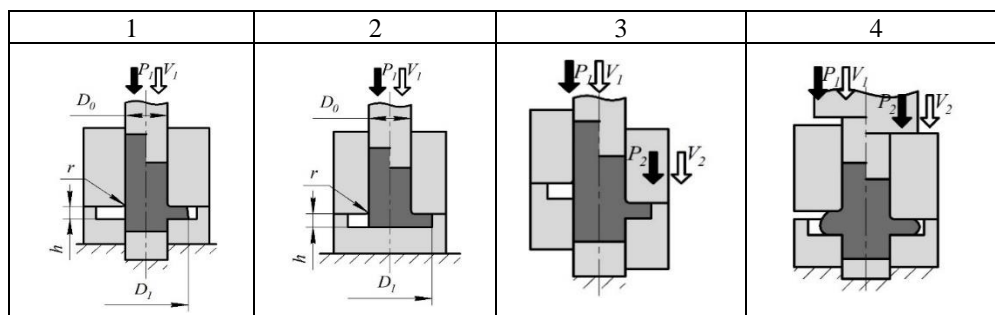
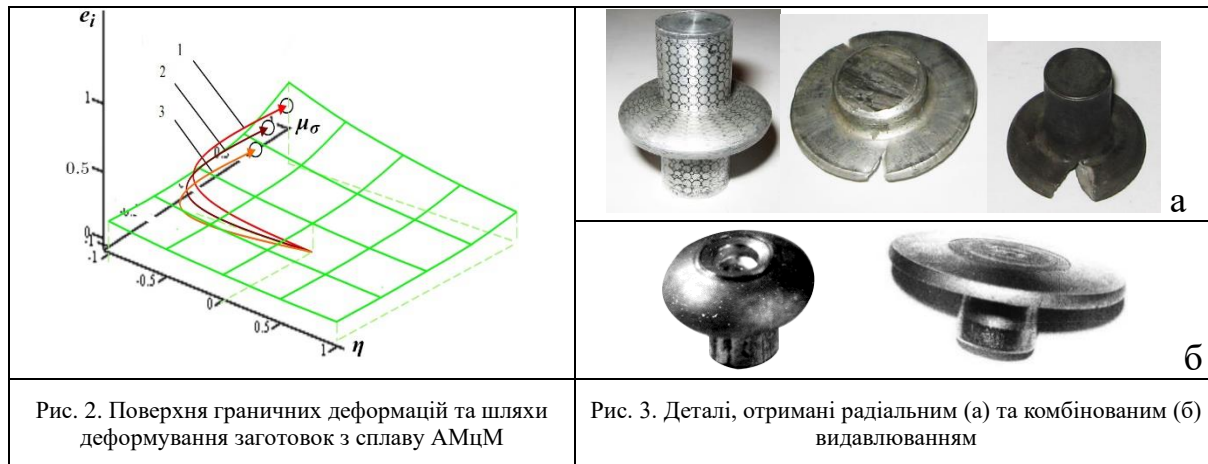


Рис. 1. Кінематичні варіанти радіального видавлювання обрані для дослідження деформовності

В ДДМА і ВНТУ розроблено гаму способів поперечного та комбінованого видавлювання за різними кінематичними варіантами деформування в рухомих та роз'ємних матрицях [3, 4]. На рис. 1 наведено деякі способи (кінематичні варіанти) радіального видавлювання. Прийоми кінематичного впливу є ефективним шляхом підвищення якості деталей, що штампуються у процесах точного об'ємного штампування видавлюванням. Запропоновані способи регулюють положення зон максимального зміцнення металу, ступінь заповнення приймальної порожнини матриці і форму фланця, що видавлюється. Фактором, що обмежує можливості радіального видавлювання, є відносно низький ступінь деформації при формуванні фланців, що пов'язано з наявністю в області фланця "жорсткої" схеми напружено-деформованого стану, близької до лінійного розтягування. Для проведення серії дослідів щодо визначення граничного ступеня радіального видавлювання та встановлення закономірностей

деформовності використовували заготовки з матеріалів АМГ6, АМЦМ та Сталь 10 з діаметрами D_0 , рівними 15,2; 21,2 та 28,2 мм.

При монотонній деформації шляхи деформування у координатах «інтенсивність деформацій e_i – показник напруженого стану η » побудовано з урахуванням впливу основних параметрів деталей: відносних товщини фланця h/D_0 та радіуса заокруглення матриці $r/2R_0$. Облік історії деформування вели із застосуванням критерію деформовності Деля-Огороднікова, що враховує нелінійне накопичення пошкоджень та наявність різних шляхів деформування [4].



Для процесу комбінованого двостадійного видавлювання стрижня з фланцем з характерним немонотонним навантаженням запропоновано послідовність розрахунків використаного ресурсу пластичності, що включає оцінку напруженого стану анізотропно зміцнюваного тіла з урахуванням впливу ефекту Баушінгера, впливу історії навантаження та особливостей накопичення та заліковування пошкоджень. Експериментальне дослідження радіального видавлювання з висадкою показали, що запропонований підхід для оцінки граничної формозміни призводить до значного підвищення точності визначення величини використаного ресурсу пластичності.

Спосіб комбінованого двоетапного радіального видавлювання з висадкою фланця ефективно застосований для виготовлення деталей типу сердечника магнітопроводу з діаметром рівним 4,0 діаметрам заготовки (див. рис. 3, б).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Aliev I.S. Radial extrusion processes. *Soviet Forging and Metal Stamping Technology. English Translation of Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo*. 1988. Part 3, pp. 54–61. ISSN 0891-334x.
2. Алієв І.С. Методи пошуку нових технологічних способів видавлювання. Теорія та практика обробки матеріалів тиском. *Колективна монографія*. Запоріжжя: Мотор-Січ. 2016. С. 364–485. ISBN 978-966-2906-60-8. 16.
3. Алиева Л.И. Совершенствование процессов комбинированного выдавливания : *монографія*. Краматорск: ООО «Тираж-51». 2018. 352 с. ISBN 978-966-379-846-2.
4. Aliiev I. S., Sivak R. I., Markov O. E., Levchenko V.N. The evaluation of workpiece deformability for the process of two-stage extrusion of hollow hull. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2023. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12353-6>

Алієв Іграмотдін Серажутдінович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, igramaliev@gmail.com.

Левченко Володимир Миколайович, кандидат технічних наук, докторант, Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, м. Харків, goldangel271@gmail.com.

Сивак Роман Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, sivak_r_i@ukr.net.

STUDY OF METAL DEFORMABILITY DURING RADIAL EXTRUSION

Abstract

To obtain parts with flanges, the technology of radial extrusion combined with upsetting is effective, allowing to increase the degree of deformation. The deformability of metal during radial extrusion depends on the

geometric parameters of the flange and matrix, the scheme and history of deformation. For the process of combined two-stage extrusion of a part with a flange with characteristic non-monotonic loading, a sequence of calculating the plasticity resource is proposed, including stages of determining the stress-strain state of a hardening anisotropic body, taking into account the influence of the Bauschinger effect and the history of loading.

Keywords: metal extrusion, parts with a flange, deformation schemes, deformability, forming stage.

Aliyev Igramotdin, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Metal Processing by Pressure, Donbas State Machine-Building Academy, Kramatorsk-Ternopil, igramaliev@gmail.com.

Levchenko Volodymyr, Candidate of Technical Sciences, Doctoral Student, O. Ya. Usykov Institute of Radiophysics and Electronics, NAS of Ukraine, Kharkiv, goldangel271@gmail.com.

Sivak Roman, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Industrial Machine-Building, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, sivak_r_i@ukr.net.

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИДАВЛЮВАННЯ

Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Донбаська державна машинобудівна академія

Анотація

Ефективним шляхом підвищення конкурентоспроможності продукції машинобудування є освоєння ресурсозберігаючих технологій точного об'ємного штампування видавлюванням. Зараз спостерігається тенденція до розширення можливостей процесів видавлювання за рахунок додавання до традиційних способів поздовжнього видавлювання нових способів поперечного (радіального та бокового) видавлювання, а також способів комбінованого поперечно-поздовжнього видавлювання, які спрямовані на виготовлення заготовок складних, недоступних раніше форм із розмірами і якістю, які наближені до параметрів готових деталей.

Ключові слова: способи видавлювання, кінематичні варіанти, формоутворення, складні деталі, дефекти.

Способи точного об'ємного штампування (ТОШ) видавлюванням дозволяють отримувати заготовки із розмірами і якістю, які наближаються до параметрів готових деталей, завдяки чому зменшується або повністю виключається доопрацювання механічною обробкою [1]. Останнім часом спостерігається стійка тенденція до розширення можливостей процесів ТОШ за рахунок підвищення складності конструкції деталей, що штампуються. На додаток до традиційних способів видавлювання все більше застосування знаходять нові способи поперечного радіального (рис. 1) та бокового видавлювання, які спрямовані на виготовлення складних деталей з фланцем або з одним чи декількома бічними відростками [2].

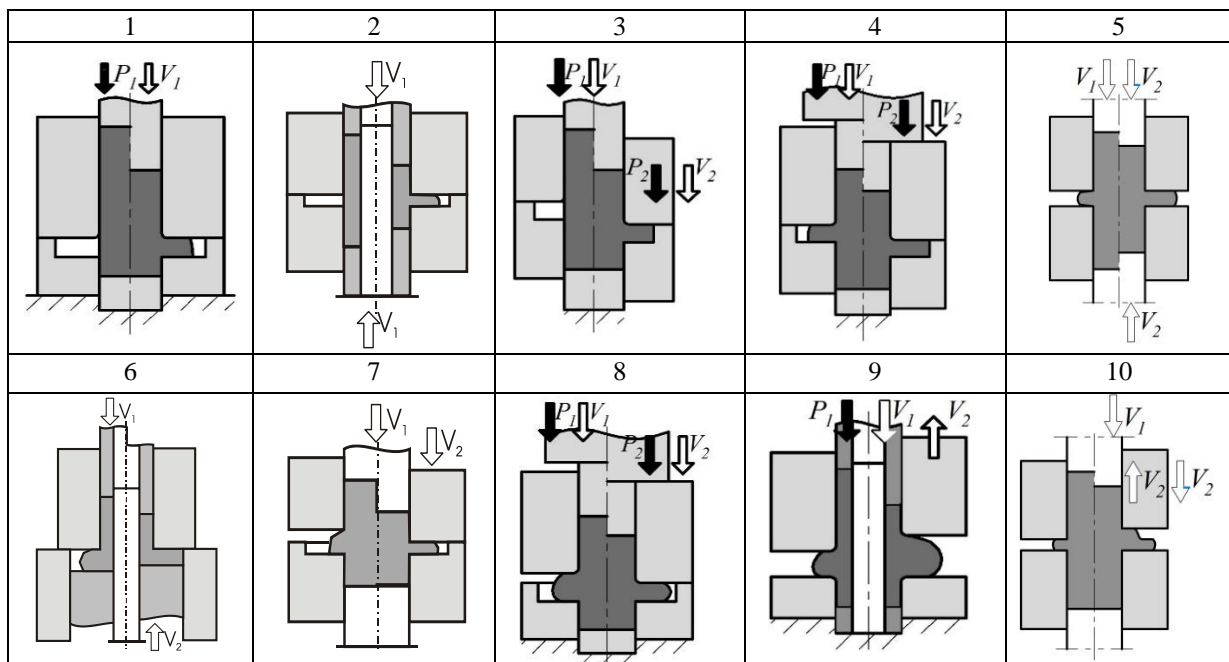


Рис. 1. Способи регулювання кінематики процесу радіального видавлювання

Способи видавлюванням відрізняються можливістю активного керування режимами обробки металів і кінематикою течії [3]. Прийоми кінематичного впливу є ефективним шляхом

підвищення якості деталей, що штампуються у процесах видавлювання. Найпростіші кінематичні варіанти радіального видавлювання (рис. 1, схема 1) здійснюються з односторонньою подачею металу в робочу порожнину нерухої матриці. видавлювання із поєднаною двосторонньою подачею металу здійснюється зустрічним рухом пуансонів (схема 2) або примусовим переміщенням матриці зі швидкістю, меншою приблизно в 2 рази швидкості руху пуансона (схема 3). За 4-м варіантом здійснюється видавлювання з послідовною двосторонньою подачею, що забезпечує краще заповнення радіальної порожнини.

Різні поєднання рухів і навантажень пуансонів дозволили створити ряд технологічних способів, які регулюють положення зони максимального зміцнення металу по висоті осередку деформації, ступінь заповнення приймальної порожнини матриці і форму фланця, що видавлюється. Для усунення небезпеки руйнування деталі на перехідній до фланця ділянці за одночасного забезпечення достатньої міцності одностороннє видавлювання доповнюють двостороннім деформуванням на заключній стадії (схема 5). З цією ж метою та для зниження грибоподібності фланців радіальне видавлювання фланця доповнюють висадкою, що виконується на тому ж переході по ходу процесу (схеми 6–7) або в заключній стадії (схема 8). Усуненню дефектів типу утяжини сприяє радіальне видавлювання металу в порожнину змінної висоти (схема 9), а знакомінне переміщення напівматриць дозволяє формувати ступінчасті фланці (схема 10).

Подальший розвиток цих технологій пов'язано з розробкою способів комбінування схем поздовжнього та поперечного видавлювання. Це є особливо актуальним для виготовлення прецизійних складних деталей типу хрестовин, стаканів з фланцями, профільованих втулок і глибоких гільз. Способи комбінованого поздовжньо-поперечного видавлювання відрізняються багатоваріантністю здійснення та передбачають послідовне, поетапне або суміщене комбінування простих схем деформування. видавлювання з елементами радіальної течії (роздачою) металу є також методом зниження сил деформування та підвищення стійкості інструменту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алиева Л.И. Совершенствование процессов комбинированного выдавливания : монография. Краматорск: ООО «Тираж-51». 2018. 352 с. ISBN 978-966-379-846-2.
2. Aliev I.S. Radial extrusion processes. *Soviet Forging and Metal Stamping Technology. English Translation of Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo*. 1988. Part 3, pp. 54–61. ISSN 0891-334x.
3. Алієв І.С. Методи пошуку нових технологічних способів видавлювання. Теорія та практика обробки матеріалів тиском. *Колективна монографія*. Запоріжжя: Мотор-Січ. 2016. С. 364–485. ISBN 978-966-2906-60-8.16.

Левченко Володимир Миколайович, кандидат технічних наук, докторант, Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усукова НАН України, м. Харків, goldangel271@gmail.com.

Алієва Лейла Іграмовічна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, leilialieva2017@gmail.com.

Абхари Пейман, доктор технічних наук, професор, професор кафедри обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, payharies@gmail.com.

Малій Олександр Геннадійович, аспірант, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль.

PROSPECTIVE DIRECTIONS OF EXTRUSION TECHNOLOGIES DEVELOPMENT

Abstract

An effective way to increase the competitiveness of engineering products is the development of resource-saving technologies of precise volume forming by extrusion. Currently, there is a tendency to expand the capabilities of extrusion processes by supplementing traditional methods of longitudinal extrusion with new methods of transverse (radial and lateral) extrusion, as well as methods of combined transverse-longitudinal extrusion, which are aimed at manufacturing workpieces of complex, previously inaccessible shapes with dimensions and quality that are close to the parameters of finished parts.

Keywords: *extrusion methods, kinematic variants, forming, complex parts, defects.*

Levchenko Volodymyr, Candidate of Technical Sciences, Doctoral Student, O. Ya. Usykov Institute of Radiophysics and Electronics, NAS of Ukraine, Kharkiv, goldangel271@gmail.com.

Alieva Leyla, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Metal Processing by Pressure, Donbas State Machine-Building Academy, Kramatorsk-Ternopil, leilialieva2017@gmail.com.

Abhari Peyman, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Metal Processing by Pressure, Donbas State Machine-Building Academy, Kramatorsk-Ternopil, payharies@gmail.com.

Maliy Oleksandr, Postgraduate Student, Donbas State Machine-Building Academy, Kramatorsk-Ternopil.

Ya. Frolov¹
 F. Nürnberger²
 O. Bobukh¹
 V. Boiarkin¹
 D. Konovodov¹
 O. Kuzmina¹

FRACTAL ARCHITECTURE PRINCIPLES IN SOLID-STATE ALLOYING WITH KIRIGAMI STRUCTURES

¹ Ukrainian State University of Science and Technologies

² Leibniz University Hannover

Abstract

This report presents an innovative approach to solid state alloying using a kirigami inlay to produce functional gradient materials (FGMs). This deformable inlay, which dissolves into the matrix according to the principles of fractal architecture, allows the distribution of alloying elements in the matrix to be controlled during roll-bonding and subsequent heat treatment. The resulting structures exhibit self-similarity due to the geometry of the inlay, which is scalable at different levels. This paves the way to materials with new functional properties.

Keywords: solid-state alloying, functionally graded materials, kirigami inlay, fractal architecture, roll bonding

Innovative approaches to create materials with superior properties are required for the rapid advancement of materials science and engineering. This drives to explore and develop the principles of fractal architecture in solid-state alloying processes to create Functionally Graded Materials (FGMs). FGMs are generally considered to be advanced composite materials characterized by a gradual variation in composition and structure that enhances their performance in targeted applications. The hallmark of the approach, presented here, is the use of kirigami, the ancient Far Eastern art of cutting sheet materials to distribute alloying elements within the matrix during pressure bonding. In simplified terms, such a process can be thought of as the hot roll bonding of at least two half-matrices of sheet with expanded mesh [1] between them. In such a process (Figure 1a), the kirigami inlay (1) is placed between sheet matrices (2) and rolled in rolls (3) under certain thermal-deformation conditions until the two halves of the matrices are completely bonded, surrounding the deformed inlay [2].

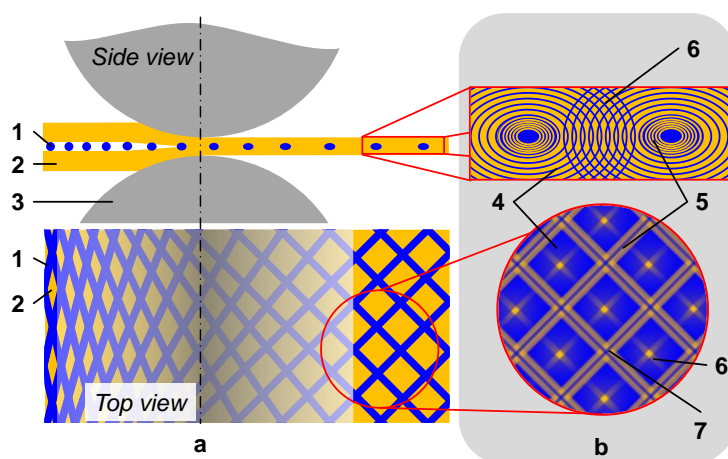


Figure 1. The schematic visualization of solid-state alloying using roll bonding with subsequent heat treatment; a – transformation of the inlay during the roll bonding; b – mutual diffusion of the matrix and the inlay. 1 – kirigami inlay; 2 – matrix material; 3 – roll; 4 – isophase (isotonic) lines, illustrating the diffusion of the alloying inlay in the matrix (A→M); 5 – isophase (isotonic) lines, illustrating the diffusion of the matrix material in the alloying inlay (M→A); 6 – area of intersections of 4, which can be described with principles fractal geometry. 7 – area of intersections of 5, which can be described with principles fractal geometry.

The resulting composite is then thermally treated to achieve the desired phase content and distribution. Figure 1b schematically illustrates the diffusion of the mesh inlay into the matrix (4) and the matrix material into the inlay (5) during the subsequent heat treatment. This architects the fractal diffusion patterns of isophase (isotonic) cross-points (6 and 7) in the Mandelbrot set [3], [4] of the ellipsoid surfaces, which is called to provide geometric rigidity of potentially brittle phases. The kirigami-inspired deformed inlay, in this case, appears as a solid alloy structure. Such an approach uses patterns of the alloy structure to manipulate and control diffusion and precipitation at the microscale, with subsequent scaling down to the nanoscale and up to the macroscale. This means that the final content and distribution of the alloying element within the matrix is strictly predetermined by the shape and size of the basic element of solid alloying structure, which in this case, plays the role of the fractone. This term describes a fractal's basic building block, from which self-similarity and recursion build its structure. It was implemented by F. Mercier, a neurologist, who wrote in his work [5] that fractones capture growth factors from the brain ventricles, then bind and send these molecules to the neurogenic zone or adjacent neural structures. Thus, the solid-state alloying can be represented as the evolution of the composite material with kirigami inspired 3D shape of inlay obtained with plastic deformation into a sequence of intermetallic phases as well as solid solutions. The shape of the space occupied by the current phase with current concentration at the macroscale is similar to the initial shape of the inlay, and the dimensions are scaled in a fractal recursive manner. Distribution and stoichiometry of these phases depend on the diffusion potential, location of the inlay within the matrix, as well as the density and character of microstructural defects. This evolution is driven by a heat treatment whose time-temperature line must navigate to the required phase content as well as the dimensions of the 3D figures built of family of isophase as well as isotonic surfaces. 3D crossings of such surfaces (Figure 1b) architect recurring patterns according to fractal geometry. In this way, the resulting structure is architected as a fractal volumetric network composed of both isophase and isotonic lines of solid solutions and intermetallic phases, which has the potential to lead to novel material properties and functionalities [6]. Complex polynomial equations of the Mandelbrot set can be used to describe the set of shapes of isophase (isotonic) points formed during solid state diffusion of the 3D structure of the alloying element in the matrix. Such hypothesis is based on the approach presented in the fundamental work [3], where the possibility of such scenario is predicted both mathematically and thermodynamically. More recent work [4] describes how the shape of the internal alloy structure inspires the fractal recursion. The legacy of many years of research on the effect of severe plastic deformation [7] provides us with the effect of turbulence of shear flow in some areas of roll bonding of wire-reinforced aluminum composites [8]. Modern development of computational methods as well as the capability of available computational resources allow to summarize these mathematical and engineering phenomena.

Acknowledgements. The research was conducted during the implementation of project No 2023.04/0156 "Development of technology for the use of kirigami structures in the deformation-thermal processing of composite materials", a grant from the National Research Foundation of Ukraine within the competition "Science for strengthening the defense capability of Ukraine".

REFERENCES

1. Deformation of expanded steel mesh inlay inside aluminum matrix during the roll bonding / Y. Frolov et al. *Journal of Manufacturing Processes*. 2020. Vol. 58. P. 857–867. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.08.049> (date of access: 09.05.2025).
2. Transformation of the kirigami-type deformable inlay during roll bonding / Y. Frolov et al. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2025. No. 1. P. 34–39. URL: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2025-1/034> (date of access: 09.05.2025).
3. Peitgen H.-O., Richter P. H. The mandelbrot set in a model for phase transitions. *Lecture Notes in Mathematics*. Berlin, Heidelberg, 1985. P. 111–135. URL: <https://doi.org/10.1007/bfb0084587> (date of access: 09.05.2025).
4. Yu D., Ta W., Zhou Y. Fractal diffusion patterns of periodic points in the Mandelbrot set. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2021. Vol. 153. P. 111599. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111599> (date of access: 09.05.2025).
5. Mercier F. Fractones: extracellular matrix niche controlling stem cell fate and growth factor activity in the brain in health and disease. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2016. Vol. 73, no. 24. P. 4661–4674. URL: <https://doi.org/10.1007/s00018-016-2314-y> (date of access: 09.05.2025).
6. Hu Y.-C., Bai H., Wang W.-H. Accessing versatile tensile ductility of amorphous materials by fractal nanoarchitecture design. *Acta Materialia*. 2024. P. 120100. URL: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2024.120100> (date of access: 09.05.2025).
7. Tavooosi M. The Kirkendall void formation in Al/Ti interface during solid-state reactive diffusion between Al and Ti. *Surfaces and Interfaces*. 2017. Vol. 9. P. 196–200. URL: <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2017.09.013> (date of access: 09.05.2025).

8. Beygelzimer Y., Filippov A., Estrin Y. 'Turbulent' shear flow of solids under high-pressure torsion. *Philosophical Magazine*. 2023. P. 1–12. URL: <https://doi.org/10.1080/14786435.2023.2180681> (date of access: 09.05.2025).

Frolov Yaroslav, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Metal Forming Department, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, frolov@metal-forming.org

Nürnberg Florian, Dr.-Ing., Institute of Materials Science, Leibniz University Hannover, Hannover, nuernberger@iw.uni-hannover.de

Bobukh Oleksandr, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Metal Forming Department, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, bobukh@metal-forming.org

Boiarkin Viacheslav, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Metal Forming Department, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, boiarkin@metal-forming.org

Konovodov Dmytro, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Metal Forming Department, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, konovodov@metal-forming.org

Kuzmina Olha, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Metal Forming Department, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, kuzmina@metal-forming.org

Використання принципів фрактальної архітектури у твердотільному легуванні кіригами структурами

Анотація

У доповіді представлено інноваційний підхід до твердотільного легування з використанням плоскої кіригами-вставки для створення функціональних матеріалів (FGM). Пластично деформована вставка, яка розчиняється в матриці у відповідності до принципів фрактальної архітектури, дозволяє керувати розподілом легуючих елементів у матриці під час прокатки-з'єднання та подальшої термообробки. Отримані структури демонструють самоподібність, зумовлену геометрією вставки, що масштабуються на різних рівнях. Це відкриває шлях до матеріалів з новими функціональними властивостями.

Ключові слова: твердотільне легування, функціональні матеріали, кіригами-вставка, фрактальна архітектура, прокатка-з'єднання

Фролов Ярослав Вікторович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри обробки металів тиском, Український державний університет науки і технологій, Дніпро, frolov@metal-forming.org

Florian Nürnberger, доктор-інженер, Інститут матеріалознавства, Ганноверський університет ім. Лейбніца, Ганновер, nuernberger@iw.uni-hannover.de

Бобух Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри обробки металів тиском, Український державний університет науки і технологій, Дніпро, bobukh@metal-forming.org

Бояркін Вячеслав Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обробки металів тиском, Український державний університет науки і технологій, Дніпро, boiarkin@metal-forming.org

Коноводов Дмитро Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обробки металів тиском, Український державний університет науки і технологій, Дніпро, konovodov@metal-forming.org

Кузьміна Ольга Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обробки металів тиском, Український державний університет науки і технологій, Дніпро, kuzmina@metal-forming.org

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИДАВЛЮВАННЯ КОНІЧНОГО СТАКАНУ МЕТОДОМ ВЕРХНЬОЇ ОЦІНКИ

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна

Анотація

У роботі представлено результати аналітичного дослідження процесу видавлювання деталей з конічною порожниною. Використано метод верхньої оцінки на основі побудови кінематичних модулів для зон прямого видавлювання та обтиску. Отримано аналітичний вираз приведенного тиску для зони видавлювання, а також аналітичне вираження оптимальної висоти осередку деформування

Ключові слова: стакан з конічною порожниною, метод верхньої оцінки, кінематичні модулі, приведений тиск, осередок деформації.

У літературі представлено роботи присвячені окремим аспектам видавлювання конічних деталей [1, 2]. Проте здебільшого ці дослідження мають імітаційний або експериментальний характер. Побудова ж узагальненої теоретичної моделі процесу видавлювання порожнистих конічних виробів, і виробів з конічними порожнинами відповідно, з отриманням інженерних розрахункових залежностей, залишається актуальним завданням.

У роботі розглянуто задачу моделювання процесу точного об'ємного штампування видавлюванням деталей з конічною порожниною з визначенням оптимальної висоти осередку деформації. Схема видавлювання і деталь після видавлювання (з третинним вирізом) приведено на рис. 1.

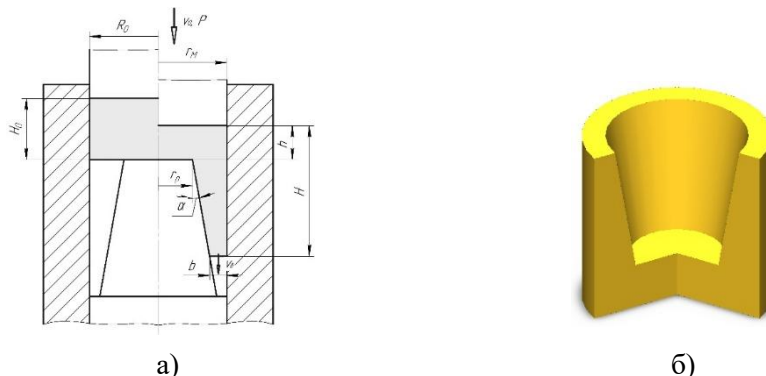


Рисунок 1 – Схема видавлювання (а) і деталь після видавлювання (б)

Моделювання процесу виконано методом верхньої оцінки (МВО) з використанням варіанту - методу кінематичних модулів [3]. Кінематичне можливе поле і годограф швидкостей видавлювання деталі з конічною порожниною приведено на рис. 2. Осередок деформації розділено на два основних модуля (зони): модуль прямого видавлювання (елементи 1–3) та обтиску стінки (елементи 5–9 і частинна 4). В залежності від розмірів стакану модуль прямого видавлювання можна представити у вигляді двох послідовних зон- модулю осадження (елементи 1 та 2) і модулю розвороту (елементи 1, 3 і частинна 4). Приведений тиск видавлювання складається з тисків деформування в межах модулів прямого видавлювання \bar{p}_1 та обтиску \bar{p}_2 :

$$\bar{p} = \bar{p}_1 + \bar{p}_2 \quad (1)$$

Після визначення довжин граничних ліній та швидкостей ковзання на межах кінематичних елементів (див. рис. 1б) відповідно МВО отримано вираз приведенного тиску для модулю прямого видавлювання:

$$\bar{p}_1 = \frac{1}{2r_m} \left(\frac{1}{h_0} (r_p^2 + h_1^2) + \frac{1}{h_0} (r_p^2 + (h_0 - h_1)^2) + \frac{1}{r_m - r_p} [r_m (h_0 - h_1) + r_p (h_1 - h_2)] \right) + \frac{r_p}{h_0 (r_m - r_p)} \left[(r_m - r_p)^2 + (h_0 - h_2)^2 \right] + \frac{r_p}{h_0 (r_m - r_p)} \left[(r_m - r_p)^2 + h_2^2 \right] + 2\mu \frac{r_m}{r_m - r_p} h_2. \quad (2)$$

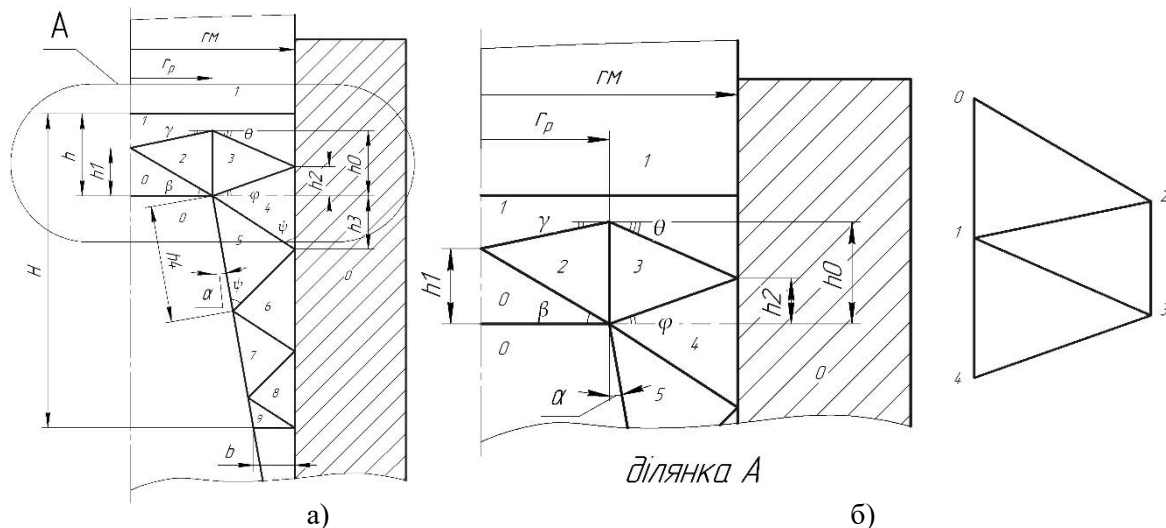


Рисунок 2 – Кінематичне можливе поле швидкостей для видавлювання деталі (а), поле і годограф швидкостей для модулю прямого видавлювання (б)

Для модулю обтиску приймаємо розрахункові вирази для приведенного тиску з відомих джерел [1].

Важливою особливістю МВО є можливість поліпшення отриманого рішення шляхом мінімізації верхньої оцінки. Для цього необхідно встановити оптимальні значення технологічних або геометричних параметрів процесу. В нашому випадку необхідно вирішити систему частинних похідних приведенного тиску \bar{p}_1 взятих для кожного параметру оптимізації h_0 , h_1 і h_2 . Оскільки модуль обтиску не пов'язаний зі змінними зон 1 та 2, відповідні частинні похідні від її тиску дорівнюють нулю. Таким чином отримано вираз для висоти осередку деформації:

$$h_0 = 4r_p \sqrt{\frac{r_m - r_p}{(12\mu + 7)r_p - 4\mu^2 r_m}}. \quad (3)$$

Отримане значення оптимальної висоти осередку деформації для модулю видавлювання може бути використано для оптимізації силових параметрів процесів ТОШ видавлюванням за іншими схемами простого та комбінованого деформування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алиев И.С., Гнездилов П.В. Комбинированное выдавливание полых конических деталей из заготовок различной формы. *Обработка материалов давлением*. Краматорск: ДГМА. 2015. (41). С. 162-165.
2. Kaliuzhnyi V., Alieva L., Yarmolenko O., Sytnyk S. Hot extrusion of high carbon steel cone hollow products. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2022, 6 (3). pp. 302-308.: <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2022.6.3.269897>
3. Алиев И.С. Методика аналізу процесів ТОШ за допомогою модульних полів швидкостей. *Обробка металів тиском: тематичний зб. наук. праць*. Київ: УМК ВО. 1990. С. 7–17.

Грановський Антон Євгенович – аспірант, кафедра обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, anton.hranovskyi@gmail.com

Analytical Modeling of the Conical Cup Extrusion Process Using the Upper-Bound Method

Abstract

The research presents the results of an analytical study of the extrusion process for parts with a conical cavity. The upper-bound method has been applied based on the construction of kinematic modules for the direct extrusion and wall compression zones. An analytical expression for the reduced pressure in the extrusion zone has been derived, as well as a formula for the optimal height of the deformation zone.

Keywords: conical-cavity cup, upper-bound method, kinematic modules, reduced pressure, deformation zone.

Hranovskyi Anton Yevgenovych – Postgraduate Student. The Department of Metal Forming. Donbass State Engineering Academy/ Kramatorsk-Ternopil/ anton.hranovskyi@gmail.com

NUMERICAL ANALYSIS OF RADIAL-FORWARD EXTRUSION USING FINITE ELEMENT METHOD

Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk – Ternopil, Ukraine

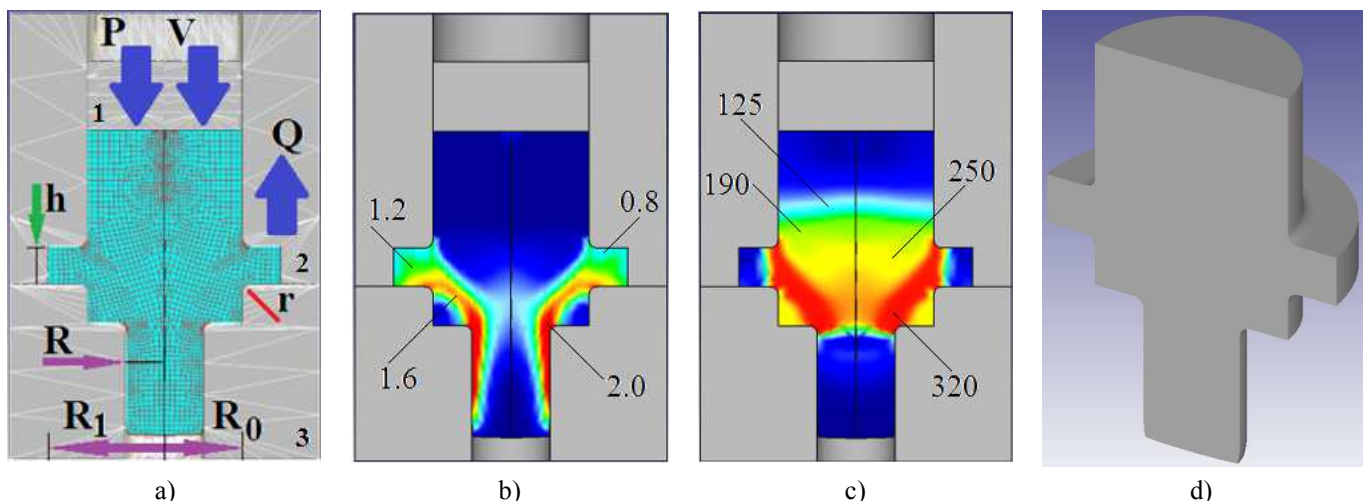
Abstract: This paper investigates the radial–forward extrusion process at room temperature through numerical analysis. The simulation was conducted using the rigid-plastic finite element software, Deform 2D. The study considered multiple parameters such as die configurations, die geometry, axisymmetric billet dimensions, and power mode settings to analyze key forming characteristics. These include the distribution of effective strain and stress, as well as the punch and die disclosure load–stroke curves throughout the process.

Keywords: extrusion, finite element method, strain, stress, punch load, die disclosure load

Extrusion, encompassing cold, warm, and hot forming, is a key metal forming method used to produce complex shapes. Modeling in extrusion predicts material flow, stress, and strain, aiding in tool force evaluation and failure analysis. Cold extrusion, performed at room temperature, offers advantages such as superior surface finish, mechanical strength, and precision making it increasingly favored in cost-conscious industries. Types include forward, backward, radial, and combined extrusion, where a billet is compressed into a die cavity to form a desired shape. Finite Element Method (FEM), especially via tools like Deform 2D, is vital in simulating extrusion, optimizing parameters, and enhancing design accuracy in computer-aided engineering [1].

This study employs finite element simulations to elucidate the effective strain and stress distributions during radial–forward extrusion, using AA 6060 aluminum alloy as the workpiece material. The simulation also generates corresponding punch load–stroke and upper die disclosure load–stroke curves.

Detailed specifications for the die geometry, billet dimensions, and power mode parameters are provided below (Fig. 1): R_0 – the radius of billet ($R_0=20\text{mm}$), R_1 – the flange radius ($R_1=30\text{mm}$), R – the radius of the axial branch ($R=10\text{mm}$), the billet height (70mm), h – the flange height ($h=10\text{mm}$), r – the die fillet ($r=2\text{mm}$), V – punch velocity ($V=1\text{mm/s}$), P – punch load, Q – upper die disclosure load and the friction factors between the billet and tools are constant (Zibel's law, $\mu=0.08$).



1 – punch, 2 – upper die, 3 – under die

Figure 1. The radial–forward extrusion process with gridlines distortion (a), effective strain distributions (b), effective stress distributions, MPa (c) and final formed part (d)

The analysis reveals a uniform distribution of effective strain and stress within the billet, indicating a symmetrical deformation pattern. In the radial–forward extrusion process, the maximum effective strain and stress are calculated as $\varepsilon_{\max} = 2.0$, $\sigma_{\max} = 320\text{MPa}$, respectively (Fig. 1).

Figure 2 presents the variations of punch and upper die disclosure loads with punch displacement (stroke). The curves reveal a progressive increase in loads throughout the punch stroke, emphasizing the impact of tool geometry on the overall performance of the Radial–forward extrusion process.

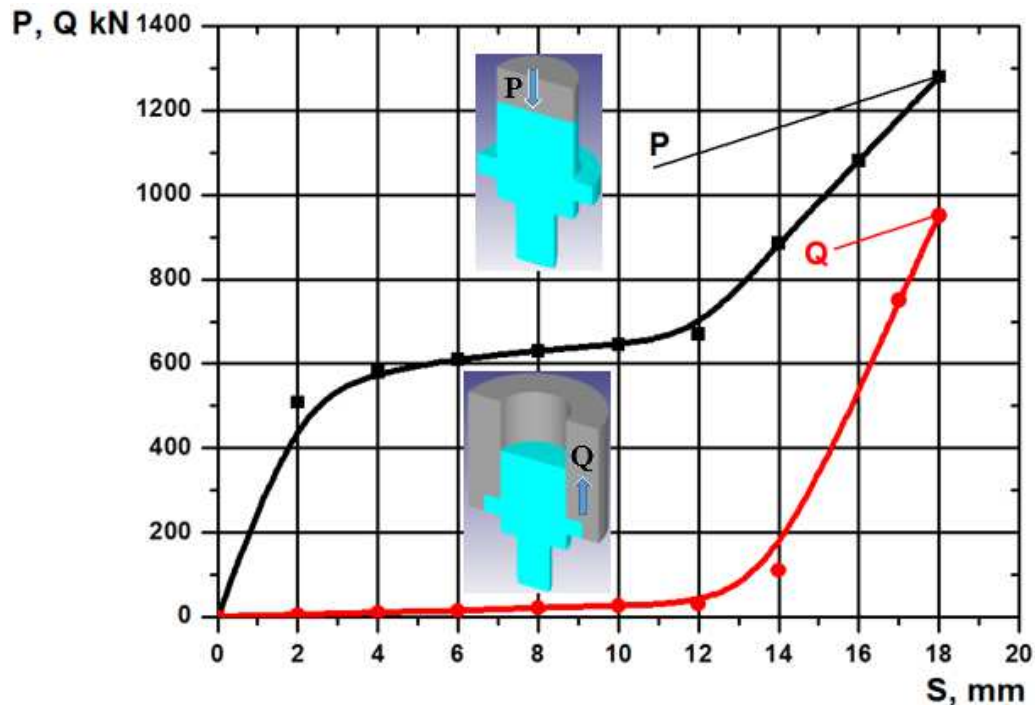


Figure 2. The punch load (P) and upper die disclosure load (Q) vs. the punch stroke (S)

REFERENCE

1. Abhari Payman. Investigation of load on the tools in precision radial extrusion process with multiple ram /Payman Abhari // XVII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering»: Series: Monographs. – Nr 56. – Częstochowa, 2016 – P. 330–333.

Abhari Payman Bakhmanovich, Dr.Sc. (Eng.), Full Professor, Professor in Department of Metal Forming, Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk – Ternopil, Ukraine, E-mail: payharies@gmail.com

Solianov Denis Olexandrovich, PhD student, Department of Metal Forming, Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk – Ternopil, Ukraine, E-mail: annasolyanovaas@gmail.com

Oliinyk Dmytro Serhiyovich, master's student, Department of Metal Forming, Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk – Ternopil, Ukraine, E-mail: dragon75gd46@gmail.com

ЧИСЛОВИЙ АНАЛІЗ РАДІАЛЬНО-ПОЗДОВЖНЬОГО ВИДАВЛЮВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Анотація: У роботі чисельно досліджено процес радіально-поздовжнього видавлювання за кімнатної температури методом скінчених елементів у *Deform 2D* із жорстко-пластичною моделлю. Аналізувалися впливи конфігурації штампів, геометрії заготовки та режимів навантаження на характеристики формоутворення: розподіл деформацій, напружень і криві «навантаження–хід».

Ключові слова: видавлювання, метод скінчених елементів, деформація, напруження, навантаження

Абхари Пейман Бахменович – д.т.н., професор, професор кафедри обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ – Тернопіль, E-mail: payharies@gmail.com

Соляннов Денис Олександрович, Аспірант кафедри обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ – Тернопіль, E-mail: annasolyanovaas@gmail.com

Олійник Дмитро Сергійович, Магістрант кафедри обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ – Тернопіль, E-mail: dragon75gd46@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ УТВОРЕННЯ ДЕФЕКТУ УТЯЖИНА ПРИ ПРОЦЕСІ ЗВОРОТНО-ПРЯМОМУ ВИДАВЛЮВАННІ

Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ-Тернопіль, Україна

Анотація. Метою даної роботи є дослідження процесу суміщеного зворотно-прямого видавлювання бездефектної порожнистої деталі типу стакан з зовнішнім осьовим відростком. Дослідження було проведене у програмі DEFORM 2D/3D. Побудований графік залежності товщини дна стакану від товщини стінки стакану є межею між появою утяжини і її відсутністю. Більші значення відносної товщини дна від цієї межі дозволяють виготовляти якісні деталі. Отримані в ході дослідження результати будуть використані для вдосконалення технологічного процесу виготовлення якісних порожнистих деталей з зовнішнім осьовим відростком.

Ключові слова: видавлювання, утяжина, товщина стінки, товщина дна

Виготовлення порожнистих деталей холодним об'ємним штампуванням широко розповсюджено в сучасній промисловості. Можна отримати складні вироби зі зниженою вагою та високою міцністю [1].

Для моделювання у програмі DEFORM 2D/3D процесу суміщеного зворотно-прямого видавлювання порожнистої деталі з зовнішнім осьовим відростком було використано заготовку з матеріалу AL 1100 Cold – це технічно чистий алюміній, який належить до групи деформованих алюмінієвих сплавів з високою пластичністю.

Заготовка мала циліндричну форму, з величиною радіусу $R = 18$ мм.

В розрахунках відносний радіус осьового відростка не змінювався $\bar{R}_p = \frac{R_p}{R} = 0,3$, а відносна товщина стінки стакану $\bar{s} = \frac{s}{R}$ змінювалась від 0,2 до 0,5 через те, що вона суттєво впливає на появу утяжини.

Результати моделювання показали (рис. 1), що при зміні відносної товщини стінки \bar{s} утяжина виникає при різній відносній товщині дна $\bar{t} = \frac{t}{R}$. Для $\bar{s} = 0,2$ утяжина з'являється при відносній товщині дна $\bar{t} = 0,09$ в центральній частині дна стакану. В інших випадках дефект утворюється переважно в зовнішньому куті дна стакану.

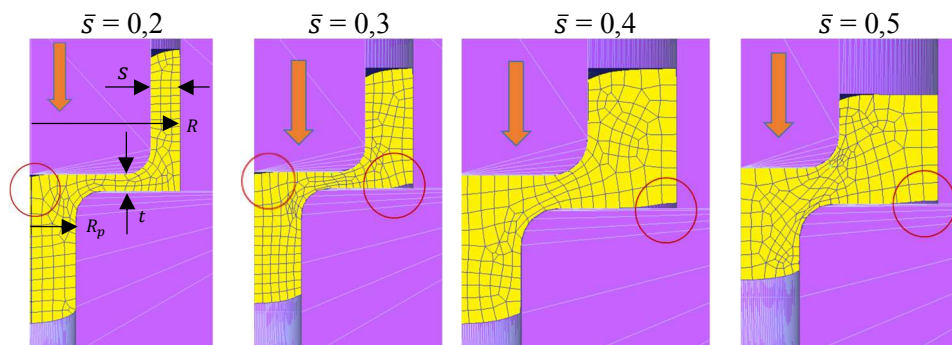


Рис. 1 – Викривлення діляльної сітки та розташування утяжини

З метою кількісного аналізу впливу товщини стінки \bar{s} на появу утяжини була побудована графічна залежність (рис. 2) відносної товщини дна \bar{t} від відносної товщини стінки \bar{s} . Ця крива є межею між появою утяжини і її відсутністю. Більші значення відносної товщини дна \bar{t} від цієї межі (кривої) дозволяють виготовляти якісні деталі (без утяжини).

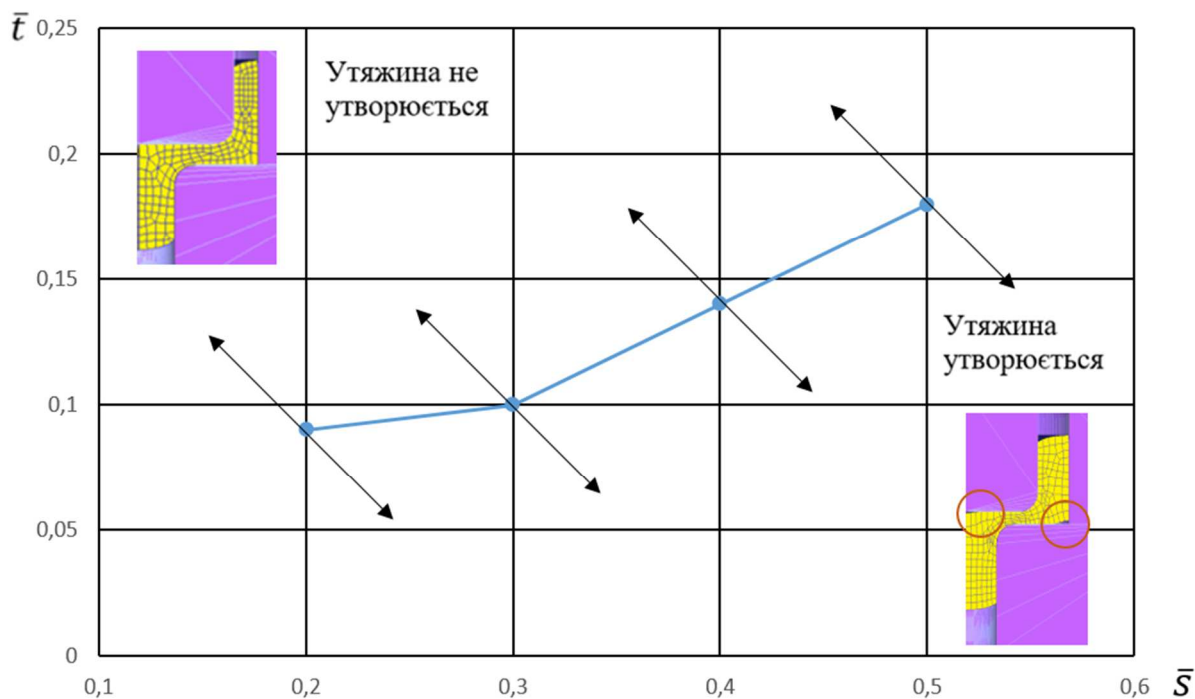


Рис. 2 – Графік залежності відносної товщини дна \bar{t} від відносної товщини стінки \bar{s}

Підсумком роботи є те, що знайдена межа появи утяжини або її відсутності. Встановлено, що відносні геометричні параметри відносної товщини дна \bar{t} та відносної товщини стінки \bar{s} є одними із головних параметрів, що визначають умови появи утяжини, і мають бути обов'язково враховані під час оптимізації геометрії деталі та інструменту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 Алієв І.С., Грудкіна Н.С., Малій Х.В., Таган Л.В. Моделивання та розробка процесів точного об'ємного штампування видавлюванням: монографія. Краматорськ: ДДМА. 2021. 208 с. ISBN 978-617-7889-08-2.

Косарев Віталій Сергійович, аспірант другого курсу кафедри обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, vit.kosarev97@gmail.com

Чучин Олег Володимирович, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, ovch2111@gmail.com

Бочковий Дмитро Олександрович, аспірант другого курсу кафедри обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, bochkovoi.dmytryi@gmail.com

INVESTIGATION OF DIMPLE DEFECT DURING BACKWARD-FORWARD EXTRUSION PROCESS

Abstract. The purpose of this study is to investigate the process of backward-forward extrusion for producing defect-free hollow parts of the "cup with external axial projection" type. The research was conducted using the DEFORM 2D/3D software. A graph showing the dependence of the cup bottom thickness on the cup wall thickness was constructed, serving as the boundary between the occurrence and absence of dimple defects. Higher relative bottom thickness values beyond this boundary allow for the production of high-quality parts. The results obtained during the study will be used to improve the technological process for manufacturing high-quality hollow parts with an external axial projection.

Keywords: extrusion, dimple, wall thickness, bottom thickness

Kosarev Vitalii Serhiiovych, Ph.D. (student), 2nd year, Department of Metal Forming, Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk-Ternopil, Ukraine, vit.kosarev97@gmail.com

Chuchyn Oleh Volodymyrovych, Ph.D. in Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Metal Forming, Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk-Ternopil, Ukraine, ovch2111@gmail.com

Bochkovyi Dmytro Oleksandrovych, Ph.D. (student), 2nd year, Department of Metal Forming, Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk-Ternopil, Ukraine, bochkovoi.dmytryi@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПОРИСТИХ ТІЛ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано підхід, який полягає в певній послідовності обчислення похідних від координат вузлів по часу в поєднанні з методами теорії числових функцій дійсних змінних. Всі розрахунки виконані в ейлерових змінних, що виключає необхідність переходу із лагранжевих змінних в ейлерові і спрощує розв'язок задачі. Крім того, така методика дозволяє працювати з нерегулярною і непрямокутною сіткою в областях з будь-якою формою границь. Такий підхід є більш ефективним, з точки зору точності апроксимації, а також швидкості обчислень.

Ключові слова: пористе тіло, апроксимація, сплайн, деформований стан, стаціонарне і нестаціонарне деформування.

Компоненти тензора швидкостей деформацій при осесиметричній деформації визначали по викривленню координатної сітки по формулах [1]

$$\dot{\epsilon}_r = \frac{r}{r_0} \left[\frac{\partial z}{\partial z_0} \frac{\partial^2 z}{\partial z_0 \partial t} - \frac{\partial z}{\partial r_0} \frac{\partial^2 r}{\partial z_0 \partial t} \right], \quad \dot{\epsilon}_\varphi = \frac{1}{r} \frac{\partial r}{\partial t}, \quad \dot{\epsilon}_z = \frac{r}{r_0} \left[\frac{\partial r}{\partial r_0} \frac{\partial^2 z}{\partial r_0 \partial t} - \frac{\partial r}{\partial z_0} \frac{\partial^2 z}{\partial r_0 \partial t} \right]$$

$$\dot{\gamma}_{rz} = \frac{r}{r_0} \left[\frac{\partial r}{\partial r_0} \frac{\partial^2 r}{\partial z_0 \partial t} + \frac{\partial z}{\partial z_0} \frac{\partial^2 z}{\partial r_0 \partial t} - \frac{\partial r}{\partial z_0} \frac{\partial^2 r}{\partial r_0 \partial t} - \frac{\partial z}{\partial r_0} \frac{\partial^2 z}{\partial z_0 \partial t} \right]. \quad (1)$$

Функції ейлерових координат від лагранжевих $z(z_0, r_0, t)$ і $r(z_0, r_0, t)$ получали шляхом апроксимації експериментальних даних кубічними сплайнами. Роль критерію якості апроксимації в цьому випадку виконує функціонал [2]

$$I_1(S) = \int_{x_1}^{x_N} |S''(x)|^2 dx + \sum_{i=1}^N \frac{1}{\rho_i} (f_i - S(x_i))^2, \quad (2)$$

де f_i - значення згладжуваної функції в вузлі, $\rho_i \geq 0$ - ваговий коефіцієнт, x_1 і x_N - границі області визначення функції $f(x)$.

Функціонал (2) дозволяє в залежності від вагових коефіцієнтів або збільшити точність апроксимації, або зменшити кривизну апроксимуючого сплайна. Краєві умови сплайна задавали в точках де вони відомі. Наприклад, на осі симетрії $r=0$

$$\frac{\partial^2 r}{\partial r_0^2} = \frac{\partial r}{\partial z_0} = \frac{\partial z}{\partial r_0} = 0.$$

В крайніх точках сплайна, де граничні умови невідомі приймали краєві умови нульової кривизни.

Вагові коефіцієнти визначали шляхом ітерації [2]

$$\rho_i^{(k+1)} = \rho_i^{(k)} \frac{\delta_i}{\epsilon_i^{(k)}} \quad (3)$$

де $\epsilon_i = |S(x_i) - f_i| \leq \delta_i$, k - номер ітерації.

Пористість матеріалу в даній точці визначали шляхом вирізання малих об'ємів матеріалу з подальшим гідростатичним зважуванням. Крім того, пористість в кожному вузлі координатної сітки визначали наступним шляхом. Оскільки

$$\dot{\epsilon} = \frac{\dot{\theta}}{1 - \theta}, \quad (4)$$

то легко показати, що

$$\theta = \theta_0 \exp \int_0^t (\dot{\epsilon}_r + \dot{\epsilon}_\varphi + \dot{\epsilon}_z) dt, \quad (5)$$

де θ - пористість при даній пластичній деформації, θ_0 - початкова пористість.

Якщо пористість визначається на вільній поверхні, де $\sigma_r=0$, то використовуючи рівняння (4) і рівняння [3]

$$\dot{\epsilon}_r - \frac{\dot{\epsilon}}{3} = \frac{\dot{\gamma}}{\tau} (\sigma_r - p), \quad \psi \dot{\epsilon} \tau = \varphi r \dot{\gamma}$$

отримаємо наступне диференціальне рівняння

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\dot{\epsilon}_r(1-\theta)}{\frac{1}{3} - \frac{\psi}{\varphi}}, \quad (6)$$

де φ, ψ - функції пористості.

Якщо врахувати, що

$$\dot{\epsilon}_r = \dot{\epsilon} - \dot{\epsilon}_z - \dot{\epsilon}_\varphi,$$

то рівняння (6) приймає вид

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{(\dot{\epsilon}_\varphi + \dot{\epsilon}_z)(1-\theta)}{\frac{2}{3} - \frac{\psi}{\varphi}}. \quad (7)$$

При відомих експериментальних залежностях $\dot{\epsilon}_r(t), \dot{\epsilon}_\varphi(t), \dot{\epsilon}_z(t)$ диференціальні рівняння (6) і (7) розв'язували чисельно відносно невідомої функції $\theta(t)$. Порівняння експериментальних результатів, отриманих при гідрозважуванні з розрахунковими, отриманими при осадці пористих заготовок показали, що розрахунковий метод менш трудомісткий ніж гідрозважування. Розходження отриманих результатів не перевищує похибок вимірювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Shtern, M. B., Mikhailov, O. V., & Mikhailov, A. O. Generalized continuum model of plasticity of powder and porous materials. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 2021, 60(1-2), 20-34. doi:10.1007/s11106-021-00211-7.
2. Sivak, R., Kulykivskiy, V., Savchenko, V., Minenko, S., Borovskiy, V. Determination of porosity functions in the pressure treatment of iron-based powder materials in agricultural engineering. *Scientific Horizons*. 2023, 26(3), pp. 124–134. DOI:10.48077/sciHor3.2023.124.
3. Sakharov, D. V., Sivak, I. O., Pokras, V. D., Ivatsko, V. T. The peculiarities of application of viscoplasticity method to computation of porous bodies stress state. *Poroshkovaya Metallurgiya*, 2000, (3-4), pp. 10–21.

Сивак Роман Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, sivak_r_i@ukr.net.

Балагур Данило Віталійович, студент, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, den160704study@gmail.com.

DETERMINATION OF KINEMATIC CHARACTERISTICS OF PLASTIC DEFORMATION OF POROUS BODIES

Abstract

An approach is proposed, which consists in a certain sequence of calculating the derivatives of the coordinates of the nodes with respect to time in combination with the methods of the theory of numerical functions of real variables. All calculations are performed in Euler variables, which eliminates the need to transition from Lagrangian variables to Euler ones and simplifies the solution of the problem. In addition, this technique allows working with an irregular and non-rectangular grid in areas with any shape of boundaries. This approach is more effective in terms of approximation accuracy and calculation speed.

Key words: porous body, approximation, spline, deformed state, stationary and unsteady deformation.

Roman Sivak, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, sivak_r_i@ukr.net.

Balagur Danylo, student, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, den160704study@gmail.com.

Анотація

Запропоновано підхід, який полягає в певній послідовності обчислення похідних від координат вузлів по часу в поєднанні з методами теорії числових функцій дійсних змінних. Всі розрахунки виконані в ейлерових змінних, що виключає необхідність переходу із лагранжєвих змінних в ейлерові і спрощує розв'язок задачі. Крім того, така методика дозволяє працювати з нерегулярною і непрямокутною сіткою в областях з будь-якою формою границь. Такий підхід є більш ефективним, з точки зору точності апроксимації, а також швидкості обчислень.

Ключові слова: пористе тіло, апроксимація, сплайн, деформований стан, стаціонарне і нестаціонарне деформування.

Сивак Роман Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, sivak_r_i@ukr.net.

Балагур Данило Віталійович, студент, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, den160704study@gmail.com.

O.V. Hrushko^{1,2},
I.Y. Kyrytsya¹,
S.I. Sukhorukov¹,
A.V. Hubanov¹
T. Schrefl²

MODELLING OF DEFORMATIONS ASSOCIATED WITH TYPE-II RESIDUAL STRESSES IN SINTERED Nd-Fe-B PERMANENT MAGNETS

¹Vinnytsia National Technical University, Ukraine

²Department for Integrated sensor systems, University for Continuing Education Krems, Austria

Abstract

This study focuses on the modelling of the microstructure of Nd-Fe-B-based permanent magnets with inclusions of various shapes using the OOF2 software. Nd-Fe-B magnets are key components in renewable energy technologies, particularly in electric vehicles and wind turbines. However, their production poses technological challenges, notably due to the reliance on imported rare-earth elements.

The objective of this research is to analyse residual stresses and misfit strains in polycrystalline structures with different types of inclusions (specifically copper, Cu, in the form of spherical and triangular particles), which arise as a result of thermal processes and structural phase interactions.

Using the finite element method implemented in OOF2, numerical models were constructed to evaluate the influence of microstructural parameters on the magnetocrystalline anisotropy and coercivity of the magnets. The results obtained may be utilised to optimise manufacturing processes and enhance the performance of Nd-Fe-B permanent magnets.

Keywords: Nd-Fe-B magnets, microstructure, residual stress, misfit strain, OOF2, magnetocrystalline anisotropy, coercivity, rare-earth elements, inclusions, modelling.

Rare-earth-based permanent magnets, particularly neodymium-iron-boron ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$), are indispensable components in modern technologies aimed at the advancement of green energy. They are widely used in electric vehicle motors, wind turbine generators, and other high-tech devices that require high magnetic energy density and stability. Due to their unique magnetic characteristics, sintered Nd-Fe-B magnets exhibit high coercivity and remanence. However, their microstructure is complex, and their magnetic properties are highly sensitive to microstructural features.

It is well known that during powder sintering and subsequent annealing, secondary phases form in the intergranular regions and triple junctions. These phases consist of neodymium, copper, and compounds involving iron, oxygen, boron, and other elements [1]. Such inclusions generally exert a detrimental effect on the magnetic properties of the bulk material, both due to their intrinsic physical properties and due to mechanical interactions with the main phase. These mechanical effects manifest as residual stresses and type-II strains that arise at grain boundaries during thermal processing, due to mismatches in thermal expansion coefficients, phase transformations, and related factors.

Variations in atomic spacing within the crystal lattice associated with such stresses and strains can significantly alter the magnetocrystalline anisotropy of an otherwise stress-free crystal, directly influencing the magnetic properties of the material [2–7].

The accurate prediction of residual strains presents several challenges, primarily due to the complexity and uniqueness of the microstructure – such as grain size and shape, intergranular phase

distribution, crystallographic orientation, and the morphology of inclusions. Additionally, it is difficult to precisely determine the physical and mechanical properties of the secondary phases, including volume change coefficients, thermal expansion, and elastic moduli.

A detailed analysis of selected microstructural scenarios characteristic of sintered Nd-Fe-B magnets, alongside systematic accumulation of data, will not only enable estimation of residual strains, but also contribute to the development of integrated models for structure optimisation, thermal treatment regimes, and magnet design.

It is evident that analytical methods possess significant limitations and can be applied only to simplified or idealised cases [4]. Approaching realistic scenarios necessitates the use of numerical techniques and specialised software tools.

In this study, the mechanical state of polycrystalline Nd-Fe-B magnets containing various types of inclusions was modelled using the OOF2 computational package. This software enables simulation of the stress–strain state in polycrystals based on real or synthetic microstructural images [8, 9]. Accordingly, the work investigates the influence of inclusion shape and orientation on the distribution of residual stresses and localised strains.

Artificial microstructures of Nd-Fe-B crystals were modelled with inclusions made of a secondary material, represented by shapes commonly found in actual sintered magnets – such as spheres and triangles of varying geometries (Figures 1, 2). The model geometry was constructed to reflect different inclusion morphologies, allowing a comparative analysis of residual stress distributions across the various scenarios.

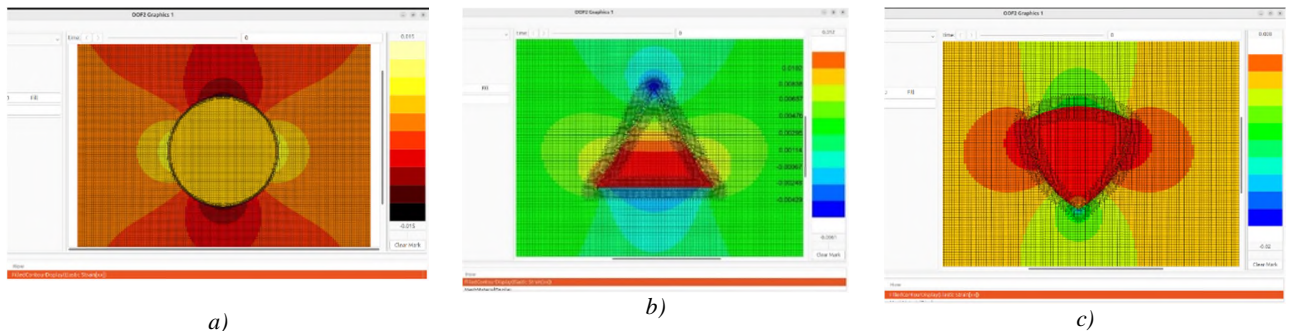


Figure 1. Strain distribution in the Nd-Fe-B magnet structure with copper (Cu) inclusion in the form of a spherical element (a), an equilateral triangular element (b), a curved convex triangular element (c)

The physical and mechanical properties of the primary Nd-Fe-B phase (stiffness matrix, coefficients of thermal expansion) were taken from literature [10]. The crystal orientation was set to (001), with the vertical axis aligned accordingly. The material properties of the inclusions were assumed to correspond to pure copper, as copper represents a plausible inclusion scenario with well-established material parameters.

Thermal strains resulting from cooling after sintering and annealing (from 500 °C) were considered in the simulations. These were accounted for using the respective coefficients of thermal expansion, crystallographic orientation, and stiffness constants for each constituent material.

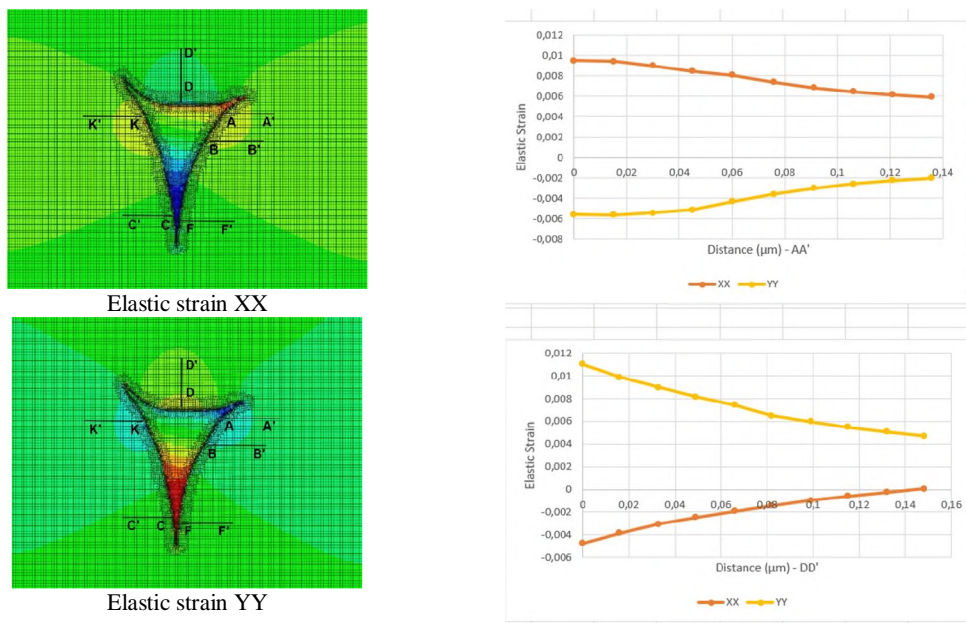


Figure 2. Strain distribution in the Nd-Fe-B magnet structure with copper (Cu) inclusion in the form of a curved concave triangular element. The shape of the inclusion elements was adapted from [2]

Analysis of the simulation results revealed that the geometry of inclusions significantly affects stress concentration. Triangular inclusions induce highly localised stress zones at their vertices, whereas spherical inclusions result in a more uniform distribution. This indicates that the inclusion shape may be a critical factor in designing microstructures with optimised magnetic performance.

Conclusions

The conducted simulations demonstrated that accurate evaluation of the stress–strain state within the microstructure of Nd-Fe-B magnets reveals essential micromechanical factors influencing their magnetic behaviour.

Residual stresses arising from the mismatch in thermal expansion coefficients between Nd-Fe-B and copper lead to the development of localised deformations. The peak strain levels in the triple junction interface zones for the studied inclusion geometries ranged from approximately ± 0.005 to ± 0.015 , depending on the inclusion shape and crystal orientation. This corresponds to an estimated impact on coercivity of around 10%, underlining the importance of mechanical effects in magnet design.

Considering the shape and spatial distribution of inclusions within the microstructure may serve as an effective engineering tool for optimising magnet performance while reducing dependence on rare-earth material content.

Future work will aim to extend the range of analysed inclusions by incorporating other material types and geometries, as well as to perform experimental validation of the numerical simulation results.

REFERENCES

1. Sasaki T.T., Ohkubo T., Hono K. Structure and chemical compositions of the grain boundary phase in Nd-Fe-B sintered magnets. *Acta Materialia*, 2016, 115, 269–277.
2. Murakami Y. et al.: Strain measurements from Nd₂Fe₁₄B grains in sintered magnets using artificial moiré fringes. *Act. Mat.*, 101 (2015).
3. Yi M. et al.: Multiscale Examination of Strain Effects in Nd-Fe-B Permanent Magnets. *Phys. Rev. App.* 8, 014011-(1-11) (2017).
4. Hrushko O. et al.: Thermal stresses in the Nd₂Fe₁₄B polycrystal system with grain boundary phase. *Abst. Book of 27th Int. Works. (REPM23)*, 255- 256. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10654098>.
5. Сінха А., Постійні магніти: матеріали, процеси та застосування. – Київ: Техніка, 2017. – 368 с.

6. Gutfleisch, O., Willard, M. A., Brück, E., Chen, C. H., Sankar, S. G., & Liu, J. P. Magnetic materials and devices for the 21st century: Stronger, lighter, and more energy efficient. *Nature Materials*, 2011, 10(11), 819–832.
7. Sepelri-Amin, H., Ohkubo, T., Hono, K. Microscopic analysis of coercivity degradation in Nd-Fe-B sintered magnets by the addition of Dy-free grain boundary phases. *Acta Materialia*, 2012, 60(3), 819–830.
8. OOF2: Finite Element Analysis of Microstructures – <https://www.ctcms.nist.gov/oof/oof2/>
9. Хом'як Я.І., Копчак І.В. Особливості мікроструктурного моделювання магнітних матеріалів із залишковими напруженнями. *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*, 2021, № 1, с. 27–34.
10. Kubo Modelling Simul. Mater. Sci. Eng. 22 (2014)

This work has been funded by the European Union (EU) under the MSCA4Ukraine project and Horizon Europe (101129888 GREENE). Views and opinions expressed are of the authors(s) and don't necessarily reflect those of the EU or the MSCA4Ukraine Consortium, the European Commission, and HaDEA ('granting authority'). Neither the EU nor the granting authority can be held responsible for them.

Hrushko Oleksandr Volodymyrovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Materials Resistance, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: grushko@vntu.edu.ua

Kyrytsya Inna Yurivna, PhD, Assistant Professor, Department of Materials Resistance, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kyrytsya@vntu.edu.ua.

Sukhorukov Sergiy Ivanovych, PhD, Assistant Professor, Dean of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: suhorukov@vntu.edu.ua.

Hubanov Andriy Vasilovich, Engineer of the Department of Materials Resistance, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, gubanovav@ukr.net

Thomas Schrefl, Univ.-Doz.Dipl.-Ing.Dr., Head of Center for Modelling and Simulation, Department for Integrated sensor systems, University for Continuing Education Krems, Austria, e-mail: thomas.schrefl@donau-uni.ac.at

МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ АСОЦІЙОВАНИХ ІЗ ЗАЛИШКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ 2-ГО РОДУ В СПЕЧЕНИХ ПОСТІЙНИХ МАГНІТАХ Nd-Fe-B МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Анотація

У роботі розглядається моделювання мікроструктур постійних магнітів на основі Nd-Fe-B з включеннями різної форми за допомогою програмного забезпечення OOF2. Nd-Fe-B магніти є ключовими компонентами у технологіях відновлюваної енергетики, зокрема в електромобілях та вітрових турбінах. Однак їх виробництво супроводжується технологічними викликами, зокрема через залежність від імпорту рідкоземельних елементів.

Метою дослідження є аналіз залишкових напружень і місфінних деформацій у полікристалічних структурах з різними включеннями (зокрема міді Si у вигляді сферичних та трикутних включень), що виникають унаслідок термічних процесів і структурної взаємодії фаз.

За допомогою методу кінцевих елементів, реалізованого в OOF2, було побудовано чисельні моделі, які дозволяють оцінити вплив мікроструктурних параметрів на магнітокристалічну анізотропію та коерцитивну силу магнітів. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації виробничих процесів і підвищення ефективності постійних магнітів Nd-Fe-B.

Ключові слова: Nd-Fe-B магніти, мікроструктура, залишкові напруження, місфінні деформації, OOF2, магнітокристалічна анізотропія, коерцитивна сила, рідкоземельні елементи, включення, моделювання.

Грушко Олександр Володимирович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, grushko@vntu.edu.ua

Кириця Інна Юрївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, kyrytsya@vntu.edu.ua

Сухоруков Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, suhorukov@vntu.edu.ua

Губанов Андрій Васильович – інженер кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, gubanov@ukr.net

Шрефл Томас – дипломований інженер, доктор наук, керівник Центру моделювання та симуляції, Департамент інтегрованих сенсорних систем, Університет безперервної освіти м. Кремс, Австрія, Thomas.Schrefl@donau-uni.ac.at

УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМОЗМІНИ ДЕФОРМОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ

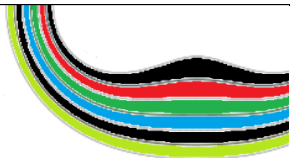
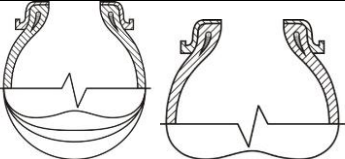


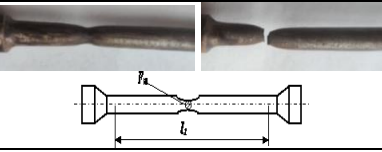
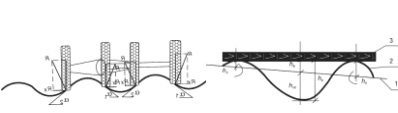
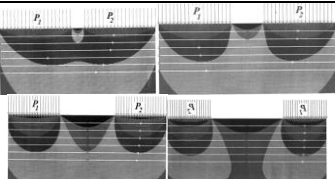
Поліський національний університет,

Анотація. За результатами узагальнення досліджень формозміни контурів zdeформованих поверхонь різних технічних об'єктів та споруд встановлено, що переважна їх більшість задовільно може бути описана рівнянням овалу Кассіні.

Ключові слова: контур, деформація, овал Кассіні, лемніската.

В таблиці наведено деякі результати дослідження формозміни контурів в результаті деформації різних споруд та технічних об'єктів з ізотропними анізотропними та трансверсально ізотропними ознаками.

Таблиця

Візуалізація результатів дослідження	Коротка характеристика дослідження	Методика отримання результату	Характеристика деформованого об'єкту
	Пошарове дослідження деформації ґрунтового профілю в колії під колісним рушієм мобільного засобу с.г. техніки	Графо-аналітичне дослідження	Трансверсально-ізотропне середовище
	Дослідження деформації пневматичної оболонки (шини) колісного рушія мобільного транспортного засобу	Графо-аналітичне дослідження	Еластична оболонка з еквіпотенціальною поверхнею рівного тиску
	Дослідження залишкових деформацій автодорожніх покриттів під дією колісних рушіїв транспортних засобів	Натурне профілювання та графічна побудова	Поверхня трансверсально-ізотропного середовища
	Випробування вантажного ланцюга (стропа) на розрив	Фізико-механічний експеримент	Ланка тороподібного профілю з ізотропного матеріалу
	Випробування зразка з маловуглецевої сталі на розтягування	Фізико-механічний експеримент	Ізотропний конструкційний матеріал
	Дослідження залишкових деформацій автодорожніх покриттів при складній взаємодії колісних рушіїв транспортних засобів	Графо-аналітичне дослідження	Поверхня трансверсально-ізотропного середовища
	Дослідження полів розподілення деформацій двома рознесе-ними блоками розподілених навантажень	Числовий експеримент	Трансверсально-ізотропне середовище

Візуалізація формозміни поверхонь досліджуваних об'єктів та їх різно-орієнтованих перерізів, які механічно здеформовані в процесі експлуатації цих об'єктів, свідчить про відповідність їх контурів деякій лемніскаці з двома фокусами. Тоді порядок цих алгебраїчних кривих визначається як $2 \cdot n = 4$, де n кількість фокусів, а саме [1, 2]:

– лемніскаці Бута, що має місце при дослідженні багатопарового здеформованого середовища і яка описується як:

$$(x^2 + y^2)^2 - (2m^2 + c)x^2 + (2m^2 - c)y^2$$

і при $c = 0$ лемніскаці Бута вироджується в лемніскаці Бернуллі;

– лемніскаці Бернуллі, яку можна використовувати, як графічну модель здеформованої поверхні і яка описується як:

$$(x^2 + y^2)^2 = 2m^2(x^2 - y^2)$$

Окремим випадком узагальнення розглянутих вище лемніскаці є алгебраїчна замкнена крива 4-го порядку, яка є геометричним місцем точок, добуток відстаней від яких до двох заданих точок фокусів є усталеним (постійним) і дорівнює квадрату деякого числа a (рис.57). Зазначена алгебраїчна крива отримала назву овалу Кассіні і описується рівнянням:

$$(x^2 + y^2)^2 - 2 \cdot c^2 \cdot (x^2 - y^2) = a^4 - c^4$$

За результатами оцінювання довірчих меж застосування пропонованих графоаналітичних моделей (таблиця) динаміки формозміни контурів поверхонь та плоских перерізів здеформованих об'єктів встановлено, що усереднений рівень довірчої ймовірності цих моделей до міри деформації за критеріями Генкі та Свейнгера становить 86,8%.

Висновок: Найприйнятнішою лемніскакою для описання динаміки формозміни контурів еквіпотенціальних поверхонь та плоских перерізів трансверсально-ізотропного або ізотропного середовищ здеформованих технічних об'єктів є ділянка овалу Кассіні з трьома характерними точками перегину.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Б.А.Шелудченко, Р.І.Сивак, О.Б.Плужніков Динаміка формозміни в умовах складного напружено-деформованого стану. - LAP LAMBERT Academic Publishing, ISBN 978-3-659-64465-8 - 2024. – 138 с.
2. Ляшко І.І., Смелянов В.Ф., Боярчук О.К. Математичний аналіз. Частина 2. – К. : Вища школа, 1993. – 375 с. – ISBN 5-11-003758-2.

Шелудченко Богдан Анатолійович к.т.н., професор, професор кафедри механічної інженерії та технології машинобудування, Поліський національний університет, м.Житомир, sheludchenkobogdan@ukr.net

Білецький Віктор Романович к.т.н., доцент, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу, Поліський національний університет, м.Житомир, biletskiyvictor@ukr.net.

Боровський Віктор Миколайович ст. викладач кафедри агроінженерії та технічного сервісу, Поліський національний університет, м.Житомир borovskiyvm@gmail.com

GENERALIZATION OF RESULTS OF RESEARCH ON THE SHAPE CHANGE OF DEFORMED SURFACES

Abstract.

According to the results of generalization of studies of shape changes of contours of deformed surfaces of various technical objects and structures, it was established that the vast majority of them can be satisfactorily described by the equation of the Cassini oval.

Keywords: *contour, deformation, Cassini oval.*

Sheludchenko Bohdan Anatoliyovych, Ph.D., Professor, Professor of the Department of Mechanical Engineering and Machine Building Technology, Polissya National University, Zhytomyr, sheludchenkobogdan@ukr.net

Biletsky Viktor Romanovych, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agroengineering and Technical Service, Polissya National University, Zhytomyr, biletskiyvictor@ukr.net.

Borovsky Viktor Mykolayovych, Senior Lecturer of the Department of Agroengineering and Technical Service, Polissya National University, Zhytomyr borovskiyvm@gmail.com.

^{1,2}М. Б. Штерн
¹А. О. Михайлов
¹О. В. Михайлов
²Є. В. Штефан

ЕВОЛЮЦІЯ ДЕФЕКТІВ МІКРОНЕОДНОРІДНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ГРАНИЧНІ КРИТЕРІЇ ЇХ ПЛАСТИЧНОГО РУЙНУВАННЯ

¹Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України
²Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація. *Формулюється узагальнена континуальна модель руйнування матеріалу під час його пластичної течії. Вона базується на попередніх роботах членів авторського колективу і містить як пористість так і тріщиноподібні дефекти. Особливу увагу приділено поведінці матеріалу в умовах, близьких до втрати стійкості. Встановлюється зв'язок феноменологічних критеріїв В. А. Огороднікова, І. О. Сівака, В. М. Міхалевича та І. С. Алієва із узагальненим критерієм Дракера. Це дає можливість формулювати критерій в'язкого руйнування, що є чутливим до початкової пористості, наявності і розвитку щілинноподібних дефектів.*

Ключові слова: *руйнування, пластичність, дефекти, пористість*

Методи пластичного деформування є невід'ємним елементом багатьох технологічних операцій, що використовуються в сучасному матеріалознавстві. Застосування технологічного деформування або методів обробки матеріалів тиском зазвичай пов'язується з вирішенням таких завдань як досягнення заданої форми виробу, його ущільнення, запобігання руйнуванню заготовки на стадії пластичного деформування та структуроутворення [1,...,3]. Саме можливість управління структурою зумовила дуже помітний інтерес до вибору технологій деформування з боку фахівців у галузі матеріалознавства.

Зокрема, задля розв'язання даної проблеми авторами було запропоновано модель пластичної течії, потенціал якої було прийнято у формі

$$F = \frac{(p - p_0)^2}{\psi} + \frac{\tau^2}{\varphi} - \sigma_0^2 = 0 \quad (1)$$

Наведене співвідношення поряд із першим (p) і другим (τ) інваріантами тензору напружень містить параметри φ, ψ та σ_0 , що залежать як від пористості, так і від густини щілинноподібних дефектів [4]. Окрім цього дана модель містить також параметри зміцнення твердої фази, що дозволяє розглядати її як чотири параметричну модель поведінки пошкодженого матеріалу. Саме відносно описаної моделі формулюється умова стійкості пластичного деформування, яка відповідає умові Дракера. Цю умову автори використовують у вигляді, який містить кінетику густини та еволюцію щілинноподібних дефектів.

Саме такий вигляд дозволив встановити зв'язок умови Дракера та критеріями В. А. Огороднікова, І. О. Сівака, В. М. Міхалевича та І. С. Алієва. Побудована у такий спосіб діаграма пластичності може бути подана у вигляді

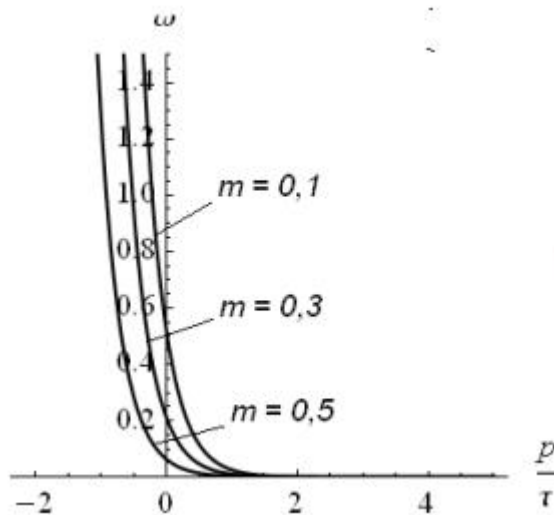


Рис.1 Діаграми пластичності, які впливають із моделі (1) ([4])

На наведеному малюнку параметр ω - відповідає накопиченій еквівалентній деформації матеріалу в цілому на момент втрати стійкості на макроскопічному рівні. Параметр m - входить до використаних у рівнянні (1) параметрах φ, ψ та σ_0 . Його фізичне тлумачення полягає у тому, що він характеризує вміст щілиноподібних дефектів.

Таким чином, отриманий результат може розглядатися як спроба дати фізичне обґрунтування феноменологічним критеріям пластичного руйнування, узгоджуючи його із ідеями Віницької наукової школи та однією із фундаментальних умов руйнування за умов пластичного деформування – умовою Дракера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. - Киев: Вища шк. - 1983. - 175 с.
2. Огородников В. А., Сивак І. О., Бабак М. В.. Опір матеріалів з елементами теорії пластичності. Частина 1 - Вінниця : ВДТУ, 2001. - 100 с.
3. Сивак Р. І., Огородников В. А., Сивак І. О. Визначення компонент тензора напружень при немонотонній пластичній деформації. // Вісник машинобудування та транспорту. - 2015. - № 1. - С. 111-119
4. Штерн М. Б., Михайлов О. В. Модифицированные модели деформирования порошковых материалов на основе пластичных и труднодеформируемых порошков //Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Серія»Машинобудування». - 62. - 2011. - с. 13 -19

Відомості про авторів

Штерн Михайло Борисович, член-кореспондент НАН України, завідувач відділу Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ, е-адреса: mbsh07@ukr.net

Михайлов Олег Володимирович, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, м. Київ, е-mail: olmi.2021@gmail.com;

Михайлов Анатолій Олегович, Ph. D., молодший науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ, е-mail: topic884@gmail.com

Штефан Євген Васильович, доктор технічних наук, професор Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського, м. Київ, е-mail: eshtefan@ukr.net

EVOLUTION OF DEFECTS IN MICRONHOMOGENEOUS MATERIALS AND LIMIT CRITERIA OF THEIR PLASTIC FAILURE

Abstract. *A generalized continuum model of material failure during plastic flow is formulated. It is based on previous work by the authors and includes both porosity and crack-like defects. Special attention is paid to the behavior of the material in conditions close to loss of stability. The relationship between the phenomenological criteria of V. A. Ogorodnikov, I. O. Sivak, V. M. Mikhalevich, and I. S. Aliyev with the generalized Drucker criterion is established. This makes it possible to formulate a ductile fracture criterion that is sensitive to the initial porosity, the presence and development of crack-like defects.*

Keywords: *failure, plasticity, defects, porosity*

ВПЛИВ ФАКТОРА ФОРМИ ЗАГОТОВКИ НА ЯКІСТЬ КУВАННЯ ГАКІВ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Анотація

У роботі досліджено вплив форми заготовки на якість кування гака за умов комбінування ковальських операцій осаджування та протягування. Застосування програмного забезпечення QForm для комп'ютерного моделювання дозволило проаналізувати деформаційну поведінку металу залежно від початкової геометрії заготовки. Встановлено, що фактор форми заготовки є важливим технологічним параметром, що визначає рівномірність розподілу деформації, напружень та загальну якість готового виробу. Найкращі результати отримано при застосуванні заготовки з фактором форми $h/D=2$, що сприяє зменшенню нерівномірності пластичної деформації і підвищенню якості кованих гаків. Отримані результати можуть бути корисними для вдосконалення процесів об'ємного гарячого кування деталей відповідального призначення.

Ключові слова: фактор форми, осаджування, протягування, гаки, пластична деформація.

Вступ

У сучасному виробництві елементів з підвищеними вимогами до міцності, таких як гак, надзвичайно важливим є оптимальний підбір форми заготовки. Раціональна форма сприяє покращенню розподілу деформацій та зменшенню внутрішніх дефектів у виробі.

Метою дослідження є встановлення, як форма заготовки впливає на розподіл пластичної деформації і напружень при комбінуванні ковальських операцій осаджування та протягування, а також визначити найефективніший варіант для виготовлення гака з точки зору якості [1]. Для моделювання процесів гарячого об'ємного кування застосовано програмне забезпечення QForm [2].

Результати дослідження

Створено дві заготовки з різним фактором форми $h/D=1$ та $h/D=2$, тобто перша заготовка з висотою 470 мм, а друга заготовка з висотою 940 мм (рис. 1) та проведено чисельне моделювання (рис. 2) їх деформаційної поведінки в умовах комбінованого навантаження.

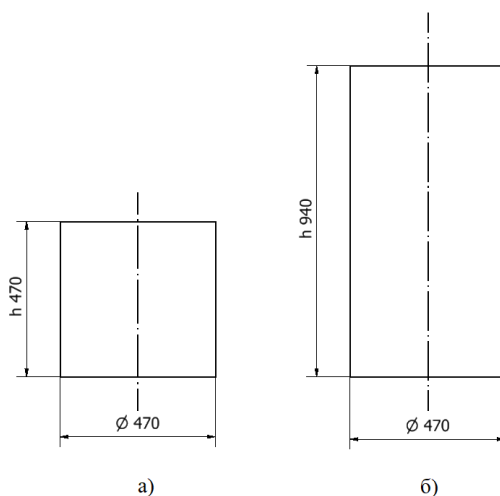


Рис. 1. Ескіз вихідних заготовок - фактор форми $h/D=1$ (а) та $h/D=2$ (б)

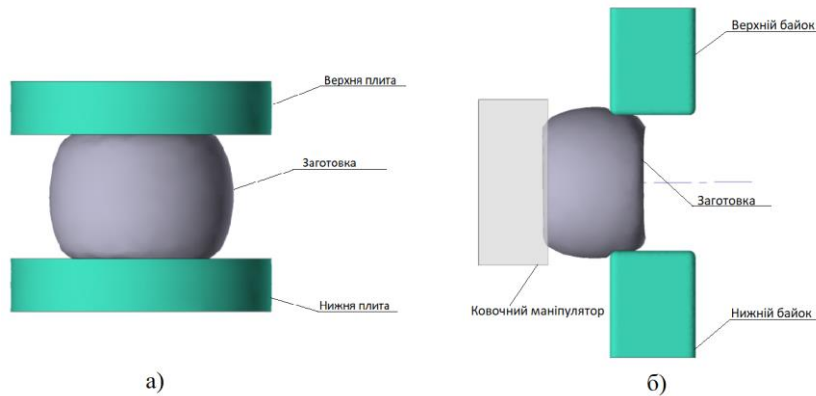


Рис. 2. Моделювання ковальських операцій осаджування (а) з послідовним виконанням ковальської операції протягування (б)

Найкращий результат досягнуто при поєднанні ковальських операцій осаджування та протягування заготовки з фактором форми $h/D=2$, де максимальне значення пластичної деформації становить 12,6 порівнюючи заготовку з фактором форми $h/D=1$, де максимальне значення деформації становить 6,5.

Висновки

Встановлено, що форма заготовки істотно впливає на розподіл деформацій у процесі кування. Застосування QForm дозволяє ефективно моделювати ковальські процеси та виявляти оптимальні технологічні параметри. Форма заготовки є критичним фактором, що впливає на якість готового виробу, а її правильний вибір дозволяє покращити якість та експлуатаційні характеристики гака.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Liu, G. H., Zhuang, Z., Liu, P., Ni, L. Y., Zhu, S. Y., Chen, J. J., Lin, H. C., Liu, L. H. (2012). Influence of the blooming process of heavy forgings on the forgings quality. Advanced Materials Research, Trans Tech Publications Ltd, Volumes 538-541, p. 1067-1071.
2. Qform UK. URL: <https://www.qform3d.com/> (accessed January 21, 2025).

Колісник Костянтин Дмитрович - аспірант кафедри "Комп'ютерне моделювання та інтегровані технології обробки тиском" Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м.Харків; e-mail: kolesnik2195@gmail.com.

Чухліб Віталій Леонідович - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри "Комп'ютерне моделювання та інтегровані технології обробки тиском" Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м.Харків; e-mail: profdnepro@gmail.com.

The influence of blank shape factor on the forging quality of a hook

Abstract

This study investigates the influence of the blank shape on the forging quality of a hook under combined forging operations, including upsetting and drawing. The use of QForm software for computer simulation enabled the analysis of the metal's deformation behavior depending on the initial geometry of the blank. It was established that the blank shape factor is a significant technological parameter that determines the uniformity of deformation and stress distribution, as well as the overall quality of the final product. The best results were obtained with a blank shape factor of $h/D = 2$, which contributes to reducing non-uniform plastic deformation and improving the quality of forged hooks. The results of this study may be useful for optimizing hot bulk forging processes for critical components.

Keywords: shape factor, upsetting, drawing, hooks, plastic deformation.

Kolisnyk Kostiantyn D. - PhD student of the Department of Computer Modeling and Integrated Pressure Metal Forming Technologies, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; kolesnik2195@gmail.com.

Chukhlib Vitalii L. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Modeling and Integrated Pressure Metal Forming Technologies, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: profdnepro@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ РОЗМІРНИХ ЕФЕКТІВ НА МОДУЛІ ПРУЖНОСТІ ЛОКАЛЬНО НЕОДНОРІДНИХ НЕФЕРОМАГНІТНИХ ТОНКИХ ПЛІВОК

¹Національний університет «Львівська політехніка»

²Національний лісотехнічний університет України

³Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П.Сагайдачного

Анотація

Для опису приповерхневих неоднорідностей у довгих тонких плівках запропонована математична модель стану гетерогенного електропровідного деформівного твердого шару із залежними модулями пружності. При цьому враховано суттєву залежність пружних властивостей від неоднорідності матеріалу тіла, що враховано як степеневу залежність пружних характеристик від зміни густини.

Ключові слова: напруження, модулі пружності, розмірні ефекти, міцність.

Вимоги до надійності елементів приладів створили актуальною проблему раціонального підбору їхніх міцнісних, жорсткісних, деформаційних та інших експлуатаційних параметрів. Структура матеріалу та вплив критичного навантаження призводять до виникнення в тілі розмірних ефектів, що особливо відчутно проявляються для випадку наноматеріалів [1]. Тонкі металеві та напівпровідникові плівки за своєю природою є об'єктами з дуже різноманітними фізичними властивостями; причому фізичні характеристики речовини у вигляді плівки можуть істотно відрізнятись від властивостей цих матеріалів у масивному стані.

Останнім часом актуальність дослідження закономірностей зміни фізичних властивостей речовини під час переходу до плівкового стану істотно зросла. Це пов'язано з роботами зі створення активних матеріалів та пристроїв на основі наноструктур. Визначення з достатньою точністю вказаних властивостей ґрунтується на задачах механіки суцільного середовища, які описують взаємопов'язані фізичні та механічні процеси в твердих тілах, що в належній мірі враховують структуру та властивості матеріалу, які зазвичай є локально неоднорідними.

Зміна фізичних властивостей речовини у плівковому стані у порівнянні з властивостями масивної речовини, відбувається під впливом кількох основних причин. До таких причин належать різноманітність структурних характеристик тонких плівок, а також вплив неоднорідностей матеріалу, що визначають ті чи інші фізичні властивості. Це призводить до виникнення розмірних ефектів.

Розглянемо безмежний ізотропний деформівний електропровідний неферромагнітний твердий шар, що займає область $-1 \leq x \leq 1$ у прямокутній декартовій системі координат. Шар у цілому електронейтральний, його поверхні є вільними від зовнішнього силового навантаження і на них задано сталі значення густини ρ_a , відмінне від відлікового значення ρ_* , котре характерне для безмежного однорідного середовища.

У разі зазначеної вище зовнішньої дії рівноважний стан півпростору залежить лише від координати x та описується наступною ключовою системою рівнянь [2] для визначення: густини ρ , термодинамічного електричного потенціалу φ , компоненти тензора напружень $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}$

$$\frac{d^2\rho}{dx^2} - \xi^2 (\rho - \rho_*) = -\xi^2 (\rho_a - \rho_*) \frac{\operatorname{ch} \zeta x}{\operatorname{ch} \zeta l},$$

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{a_{\omega\omega}}{\epsilon_0} \varphi + \frac{a_{m\omega}}{\epsilon_0} (\rho - \rho_*) = 0, \quad \frac{d^2\sigma_{xx}}{dx^2} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(\frac{1+\nu}{E} \sigma_{\gamma\gamma} - \frac{\nu}{E} \sigma \right) = - \frac{d^2}{dx^2} a_m (\rho - \rho_*) + a_0^\omega \varphi$$

де $\gamma = \{y, z\}$. Тут $a_m, a_0^\omega, a_{m,\omega}, a_{\omega,\omega}, \varepsilon_0, \xi, \zeta$ — константи.

Надалі, згідно з [3], ми врахуємо залежність модулів пружності E, ν від густини, приймаючи

$$E_x = E_0 \left(\frac{\rho}{\rho_*} \right)^{\beta_E}, \nu_x = \nu_0 \left(\frac{\rho}{\rho_*} \right)^{\beta_\nu} \quad (2)$$

де E_0, ν_0 – модуль Юнга та коефіцієнт Пуассона матеріалу тіла в опорному стані (постійні значення).

На основі проведених досліджень встановлено, що вільний електропровідний неферромагнітний шар описується системою рівнянь, яка моделює розподіл фізико-механічних полів та розмірні ефекти напружень, міцності та ефективних пружних характеристик. Обґрунтовано повну нелінійну систему рівнянь для електропровідного термопружного тіла та проведено її аналіз. Продемонстровано, що за відсутності зовнішнього силового навантаження в шарі спостерігається ненульовий напружено-деформований стан, зумовлений відхиленням густини поверхні тіла від густини безмежного неоднорідного середовища. Розподіл полів у шарі характеризується трьома параметрами, що пов'язані з кулонівською взаємодією, локальною неоднорідністю матеріалу та геометричною неоднорідністю поверхні. Термодинамічний електричний потенціал, заряд та напруження на поверхні тіла однозначно визначаються його фізичними, геометричними параметрами та умовами навантаження. Окремо слід відмітити, що міцність тонких плівок зростає із зменшенням їх товщини, причому врахування електронної підсистеми змінює значення механічних полів у всій області тіла та характер їх розподілу в приповерхневій зоні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Нагірний Т. С., Червінка К. А. Основи механіки локально неоднорідних деформівних твердих тіл. – Львів: Растр-7, 2018. – 204 с.
2. Nahirnyi T., Tchervinka K., Senyk Y. Strength of a conducting nonferromagnetic layer. Size effect. Journal of Mathematical Sciences. 2022. № 265. P. 489–497.
3. Markovych B., Senyk Y., Nodzhak L. Stress-deformed state and strength of a locally heterogeneous electrically conductive layer. Mathematical Modeling and Computing. 2022. Vol. 9, No. 3. P. 750–756. <https://doi.org/10.23939/mmc2022.03.750>

Маркович Богдан Михайлович, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики Національного університету «Львівська політехніка», Львів, bohdan.m.markovych@lpnu.ua.

Сеник Юлія Андріївна, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії, математики і фізики Національного лісотехнічного університету України, Львів, yuliya.senyk@gmail.com.

Ліщинська Христина Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри інженерної механіки Національної академії сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного, Львів, k_lichch@meta.ua.

MODELING THE INFLUENCE OF SIZE EFFECTS ON THE ELASTIC MODULUS OF LOCALLY INHOMOGENEOUS NONFERROMAGNETIC THIN FILMS

Abstract

To describe near-surface inhomogeneities in thin films, a mathematical model of the state of a heterogeneous electrically conductive deformable solid layer with dependent elastic moduli is proposed. In this case, a significant dependence of elastic properties on the inhomogeneity of the body material is taken into account, which is taken into account as a power-law dependence of elastic characteristics on the change in density.

Keywords: stresses, elastic moduli, size effects, strength.

Bohdan Markovych, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Mathematics, Lviv Polytechnic National University, Lviv, bohdan.m.markovych@lpnu.ua.

Julia Senyk, Phd of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Computer Engineering, Mathematics and Physics, National Forestry University of Ukraine, Lviv, yuliya.senyk@gmail.com.

Khrystyna Lischynska, Phd of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Engineering Mechanics, Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, k_lichch@meta.ua.

О.С. Нефедьев¹
 С.П. Нефед'єв²
 Я.Ю. Бейгельзімер³
 В.Ф. Балакін⁴
 Р.Ю. Кулагін⁵

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРЬОХНИТКОВОГО ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ-РОЗДІЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ Х-ПОДІБНОГО РОЗТАШУВАННЯ ВАЛКІВ

1 – Український Державний Університет Науки та Технологій, Україна; 2 – ТОВ «СТЕМ Інжиніринг», Україна; 3 - Донецький Фізико-Технічний Інститут ім.О.О.Галкіна НАН України, Україна; 4 - Український Державний Університет Науки та Технологій, Україна; 5 – Технологічний інститут Карлсруе, Німеччина.

Анотація. Досліджено технологію стабільного трьохниткового розділення розкату в чотиривалковому пристрої з дисковими валками. Метод успішно випробувано на заготовках зі сталі Ст3 Ø28 мм у промислових умовах. Отримано ефективне формування й розділення профілю безпосередньо в потоці стану.

Ключові слова: прокатка-розділення, сліттинг-процес, розкат, калібр

У виробництві арматурних профілів малого перерізу застосовуються як однострижкова прокатка, так і сліттинг-процес (до п'яти ниток), а також технологія прокатки з розділенням ниток через контрольований розрив перемичок. Сліттинг відрізняється тим, що поділ відбувається в непривідному роликівому пристрої за межами кліти, при цьому висота перемичок не перевищує 1,0мм.

Двониткова прокатка-розділення вже використовується на практиці, але трьохниткова схема досі була нестабільною через деформацію середньої нитки. У цій роботі досліджено можливість стабільного трьохниткового розділення шляхом застосування чотирьох дискових валків, розташованих у формі Х, що дозволяє виконувати формування та розділення безпосередньо в одному калібрі.

Розроблений і випробуваний на практиці метод поздовжнього розділення багатониткового розкату (трьохниткового розкату) в потоці стану в спеціальному непривідному чотиривалковому пристрої з дисковими валками з двоконусною поверхнею як показано на рисунку 1.

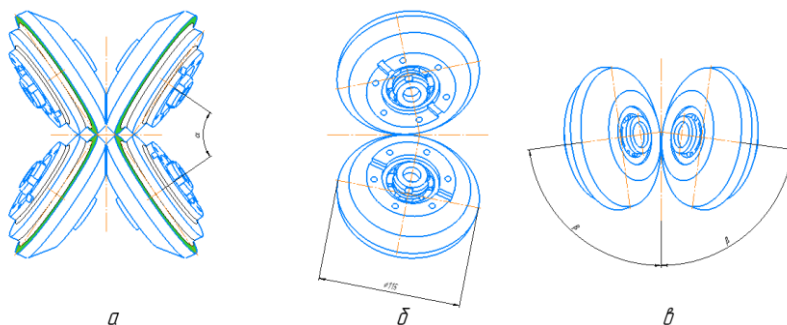


Рисунок 1 – Загальний вид розташування прокатних валків для триниткової прокатки

Мета дослідно-промислової прокатки – отримання заготовки для прокатки арматури №10. Схема дослідно-промислової прокатки включала в себе отримання триниткового розкату з круглої заготовки Ø 28 мм, обтискання її до отримання триниткового розкату з висотою 9 мм з подальшим

поділом в чотиривалковому пристрої для отримання трьох овалів з розмірами для наступної прокатки на гладкій бочці і в арматурному калібрі в потоці стану

Дослідно-промислове випробування методу поздовжнього розділення заготовки відбувалося в умовах дрібносортового стану МС250-5 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». В експерименті були задіяні кліті №12-15 чистової групи клітей з діаметром робочих валків 250 мм.

Заготовка зі Ст3 Ø 28 мм завдовжки 0,8-1,3 м розігрівалася до температури 950-1000 °С у печі для підігріву заготовок, що використовуються при пропалюванні калібрів на прокатному стані. Заготовка подавалася для прокатки в кліть №12, отриманий розкат прямокутної форми задавався в ребровий калібр кліті №13 для контролю ширини розкату. Отриманий розкат прямокутного перерізу подавався в перший формуючий калібр кліті №14, де формувався тринитковий профіль з перемичкою висотою 3-3,5 мм. Сформований розкат задавався у формуючий калібр кліті №15, де формувався остаточний тринитковий розкат з перемичкою висотою 0,99-1,54 мм, який заходив у непривідний розділяючий чотиривалковий пристрій, закріплений на вивідному брусі кліті №15.

Ролики пристрою були налаштовані на зазор 0,5 мм, при цьому кут α становив 69°, а кут β – 80-85°. В результаті проведеної серії прокаток дев'яти заготовок (по три в кожній серії) були отримані сформовані триниткові розкати з висотами перемички 0,99 мм, 1,12 мм і 1,54 мм.

Сформовані заготовки були розділені в непривідному чотиривалковому пристрої, кут α між осями правої (лівої) пари роликів становив 69°, а кут β змінювався від 85° - для розкату з перемичкою 0,99 мм до 80° - для розкату з перемичкою 1,54 мм. Зазор між роликами залишався 0,5 мм.

Моделювання експерименту було проведено в програмному забезпеченні «QForm». Під час моделювання були визначені енергетичні та потужнісні параметри процесу, а також розрахунок тріщиноутворення за критерієм „Cockcroft-Latham” для досліджуваного процесу.

Запропонована технологія забезпечує стабільне трьохниткове розділення прокатного розкату безпосередньо в потоці стану з високою ефективністю, що підтверджено результатами експериментів і комп'ютерного моделювання.

Нефед'єв Олександр Сергійович, аспірант, Український Державний Університет Науки та Технологій, м.Дніпро, Україна, nefediev@gmail.com

Нефед'єв Сергій Павлович, інженер, ТОВ «СТЕМ Інжиніринг», м.Дніпро, Україна, sergenef@ukr.net

Бейгельзімер Яків Юхимович, д.т.н., професор, головний науковий співробітник, Донецький Фізико-Технічний Інститут ім.О.О.Галкіна НАН України, м.Київ, Україна, yanbeygel@gmail.com

Балакін Валерій Федорович, д.т.н., професор, Український Державний Університет Науки та Технологій, м.Дніпро, Україна, v.f.balakin@ust.edu.ua

Кулагін Роман Юрійович, к.т.н., науковий співробітник, Технологічний інститут Карлсруе, м.Карлсруе, Німеччина, rkulagin@gmail.com

INVESTIGATION OF THE THREE-STRAND SLITTING PROCESS USING AN X-SHAPED ROLL ARRANGEMENT

Abstract. The technology of stable three-strand splitting of a rolled bar using a special four-roll device with disc rolls was investigated. The method was successfully tested on St3 steel billets Ø28 mm under industrial conditions. Efficient profile formation and splitting were achieved directly in the rolling line.

Keywords: rolling with splitting, slitting process, rolled bar, groove

Nefediev Oleksandr, post-graduate student, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro city, Ukraine, nefediev@gmail.com

Nefediev Sergey, engineer, STEM Engineering LLC., Dnipro city, Ukraine, sergenef@ukr.net

Beigelzimer Yan, D.Eng.Sc., Professor, Chief Researcher, Donetsk Institute for Physics and Engineering named after O.O. Galkin, Kyiv city, Ukraine, yanbeygel@gmail.com

Balakin Valery, D.Eng.Sc., Professor, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro city, Ukraine, v.f.balakin@ust.edu.ua

Kulagin Roman, PhD, Researcher, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany, rkulagin@gmail.com

АЛГОРИТМ МОДЕЛЮВАННЯ ВАЛКОВОГО ФОРМУВАННЯ КОРИТНОГО ПРОФІЛЮ 3D-ТИПУ

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Анотація

Наведено огляд підходів до виготовлення гнутих профілів зі змінним перерізом. Відзначено зростаючу потребу в профілях 3D-типу в промисловості. Розглянуто застосування методу скінченних елементів для моделювання напружено-деформованого стану профілю, щоб передбачити можливі дефекти, що виникають під час виробництва. Дано алгоритм моделювання процесу формування коритного гнутого профілю зі змінним перерізом.

Ключові слова: валкове формування, профіль, 3D, моделювання, гнуття, кліть, метод скінченних елементів.

Формування гнутих профілів з постійним перерізом по всій довжині виробу шляхом поступового підгинання кромки в клітях профілезгинального стану є загальноприйнятою та поширеною технологією. Однак у різних галузях (будівельній, автомобільній, авіаційній) зростає попит на профілі зі змінним перерізом по довжині виробу та профілі 3D-типу. Спочатку компанія Ortis розробила технологію їх виробництва для 3D-панелей дахів [1]. Подальші дослідження були спрямовані на застосування сервоприводів для адаптації відстані між симетричними частинами валків [2], поєднання профілезгинальних станів з робототехнікою [3]. Моделювання формоутворення та напружено-деформованого стану профілю зі змінним перерізом досліджується в роботі [4]. Дослідження зосереджені на прогнозуванні дефектів, переважно з використанням ABAQUS. Однак єдиного підходу немає.

Для моделювання методом скінченних елементів потрібно обрати параметри заготовки (матеріал, геометричні розміри), параметри профілювання (швидкість профілювання, відстань між клітями), схему формування переходів. Наприклад, схема виготовлення коритного гнутого профілю побудована за класичним принципом, що передбачає калібрування валків за третім методом профілювання [5]. Розміщення осі профілювання – середина нижньої горизонтальної стінки, поштучне профілювання, полки профілю при профілюванні направленні вгору. Кількість переходів за класичним підходом – дев'ять. Конструкція кожного валка кліті має характерну особливість – він складається з двох симетричних частин, які здійснюють поперечний рух по осі обертання, при проходженні профілю, віддаляючись один від одного. Загальний вигляд розгортки профілю коритного типу зі змінним по довжині поперечним перерізом – рис. 1.

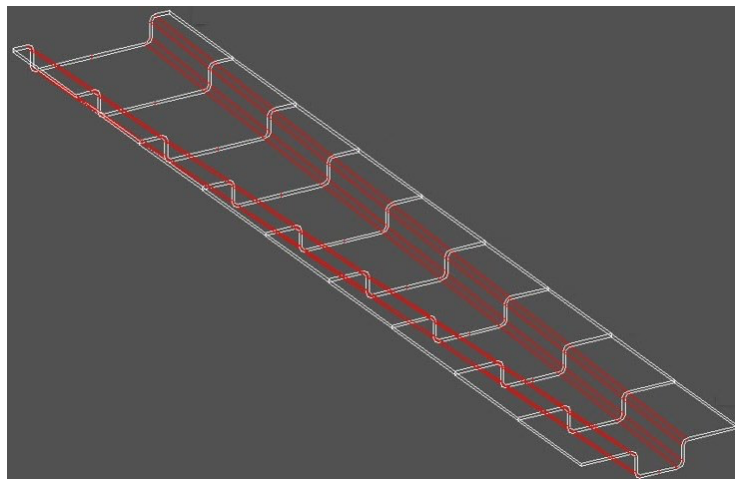


Рис. 1 – Загальний вигляд розгортки коритного профілю типу зі змінним по довжині поперечним перерізом.

При моделюванні методом скінчених елементів процесу формотворення коритного профілю в програмному комплексі Qform бажано обрати операцію «Об'ємна деформація листа» з врахуванням пружно-пластичних деформацій. В даному типі операцію є можливість використати параметричну геометрію з гексадральною сіткою. Також слід зазначити, що для моделювання процесу формотворення коритного профілю 3D-типу необхідно створювати окрему операцію для кожного проходу заготовки через кліть. Тип задачі – «3D».

Для створення 3D-моделей валків краще використати будь-яку CAD-систему з подальшим імпортом до програми Qform. Оскільки 3D-моделі валків є симетричними, то краще використати площину симетрії, що спростить складність розрахунків. Так-як будуть моделюватися обертові рухи валків, то необхідно вказати їх осі обертання.

Задання матеріалів профілю та інструменту не має суттєвих особливостей, крім необхідності врахування, що деформування відбувається без попереднього нагрівання. Привід валків обирається опцією «Універсальний», необхідно задати обертання навколо осі валка та розходження валків відносно осі симетрії з необхідними швидкісними характеристиками та напрямками.

Отже, формування гнутих профілів зі змінним перерізом (3D-типу) є актуальним завданням. Не існує єдиного підходу реалізації даної мети. Запропонований алгоритм дозволяє промоделювати процес валкового формування коритного профілю зі змінним перерізом у програмному комплексі QForm методом скінчених елементів. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації технології формотворення та аналізу напружено-деформованого стану профілю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Моделювання формотворення гнутого профілю зі змінним перерізом / С. О. Губський, В. Л. Чухліб, М. В. Біба // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Технології в машинобудуванні : зб. наук. пр. = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Techniques in a machine industry : col. of sci. papers. – Харків : НТУ "ХПІ", 2022. – № 1 (5). – С. 80-84. DOI 10.20998/2079-004X.2022.1(5).11.
2. Sun Y., et al. Flexible 3D profile roll forming technology // In: Guo X. (ed.) Flexible Metal Forming Technologies. – Singapore: Springer, 2022. – (Springer Tracts in Mechanical Engineering). – DOI: 10.1007/978-981-19-1348-8_5.
3. Sedlmaier A., Dietl Th. 3D roll forming center for automotive applications // Procedia Manufacturing. – 2018. – Vol. 15. – P. 767–774. – DOI: 10.1016/j.promfg.2018.07.319.
4. Erfani Moghadam A. Flexible roll forming of the variable depth profiles: [Master's thesis] / Institute for Frontier Materials, Deakin University. – 2017. – 159 с.
5. Halmos T. Roll Forming Handbook / ed. by George T. Halmos. – Boca Raton: Taylor & Francis, 2006. – 583 с.

Бабай Юрій Володимирович, аспірант кафедри «Комп'ютерне моделювання та інтегровані технології обробки тиском», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, e-mail: urababay@gmail.com.

Губський Сергій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Комп'ютерне моделювання та інтегровані технології обробки тиском», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, e-mail: gubskiyso@gmail.com.

ALGORITHM FOR MODELLING THE ROLL FORMING OF A 3D-TYPE TROUGH PROFILE

Abstract

An overview of approaches to the manufacture of bent profiles with a variable cross-section is given. The growing demand for 3D-type profiles in industry is noted. The application of the finite element method for modelling the stress-strain state of a profile is considered in order to predict possible defects that occur during production. An algorithm for modelling the process of forming a trough bent profile with a variable cross-section is given.

Keywords: roll forming, profile, 3D, modelling, bending, stand, finite element method.

Babay Yuriy, PhD student, Department of Computer Modeling and Integrated Forming Technologies, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, e-mail: urababay@gmail.com.

Hubskiy Serhii, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer Modeling and Integrated Forming Technologies, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, e-mail: gubskiyso@gmail.com.

ПОБУДОВА ТА СПРОЩЕННЯ МОДЕЛІ ДЕФОРМОВНОСТІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК У ПРОЦЕСАХ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ ТА ТОРЦЕВОГО СТИСНЕННЯ

Вінницький національний технічний університет¹, Вінницький національний аграрний університет²

Анотація

Досліджено моделі деформовності заготовок при процесах торцевого стиснення, обкочування, прямого та зворотного витискування методом штампування обкочуванням циліндричних заготовок. Особливу увагу приділено громіздким видам моделей, що виникають при застосуванні популярної моделі підсумовування пошкоджень В. Огороднікова у поєднанні з окремими типами траєкторій деформування макрочастинок матеріалу в небезпечних зонах. Побудовано приклад такої моделі для процесу прямого витискування методом штампування обкочуванням. Показано, що результати комп'ютерного моделювання формозміни трубчастої заготовки при формуванні внутрішнього бурта деталі типу «стакан» методом торцевого обкочування не суперечать прийнятому параметричному опису траєкторій деформування. Виокремлено елементи моделей, що істотно ускладнюють їх структуру та аналіз. Встановлено, що траєкторії деформування мають характерні властивості, що відкривають можливість до суттєвого спрощення складних моделей деформовності. Запропоновано методіку, за якою окрема функціональна залежність у моделі може бути замінена на сталий коефіцієнт без істотної втрати точності, що значно полегшує подальше аналітичне й числове дослідження.

Ключові слова: модель підсумовування пошкоджень, модель деформовності, траєкторія деформування, штампування обкочуванням, торцеве стиснення.

Ефективному впровадженню процесів штампування обкочуванням (ШО) перешкоджає недостатній розвиток розрахункового апарату механіки накопичення пошкоджень. Для моделювання деформовності небезпечних зон матеріалу заготовки необхідно формувати відповідні математичні моделі. У ряді випадків такі моделі є надмірно громіздкими, що ускладнює аналіз закономірностей зміни граничних деформацій на їх основі.

Одним із ключових елементів моделей деформовності є траєкторії деформування макрочастинок матеріалу в небезпечних зонах заготовки під час пластичного формозмінення [1, 2, 3, 4, 5].

Аналіз цих траєкторій стосовно процесів торцевого стиснення або обкочування, прямого та зворотного витискування ШО заготовок циліндричної форми дозволив виявити характерні особливості, що відкривають можливість суттєвого спрощення надто складних моделей.

В [2] показано, що траєкторію деформування макрочастинок матеріалу в небезпечних зонах циліндричної заготовки під час прямого витискування методом штампування обкочуванням можна подати у вигляді аналітичного співвідношення, заданого параметрично

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta(t) = \frac{b \cdot (tg(t) - t) + a \cdot \sqrt{1+c} \cdot t}{\sqrt{tg^2(t) + c \cdot t^2}}, \quad t \in \left(0, \frac{\pi}{2}\right), \\ \bar{e}_{eq}(t) = m \cdot \int_0^t \sqrt{\frac{1}{\cos^4 x} + 3} \cdot dx \end{array} \right. \quad (1)$$

де a, b, c, m - параметри апроксимації.

Отримані результати комп'ютерного моделювання формозміни трубчастої заготовки під час формування внутрішнього бурта деталі типу «стакан» методом штампування торцевим обкочуванням (див. рис.) не суперечать такому представленню.

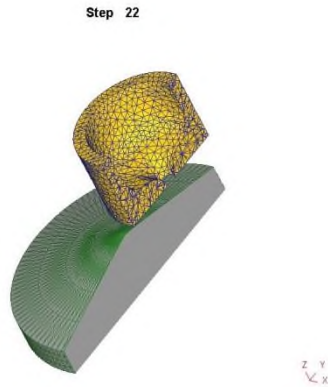


Рис. Процес формування внутрішнього бурта заготовки в зоні контакту з валком: вигляд у перерізі.

Модель підсумовування пошкоджень, що запропонована в працях В. А. Огороднікова, залишається доволі популярною у працях вітчизняних науковців І. С. Алієва, О. В. Грушка, В. В. Кухаря, В. А. Тігова, М. Б. Штерна та багатьох інших [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

Модель кривої накопичення пошкоджень у координатах $\eta-\psi$, що побудована на основі (1) з

використанням вказаної моделі підсумовування пошкоджень, набуває такого вигляду:

$$\left\{ \begin{aligned} \eta(t) &= \frac{b \cdot (\operatorname{tg}(t) - t) + a \cdot \sqrt{1+c} \cdot t}{\sqrt{\operatorname{tg}^2(t) + c \cdot t^2}}, \\ \psi(t) &= \int_0^t \frac{n(x) \cdot m^{n(x)} \cdot \left(\int_0^x \sqrt{\frac{1}{\cos^4 \tau} + 3} \cdot d\tau \right)^{n(x)-1} \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos^4 x} + 3}}{\left(\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=0) \cdot \left(\frac{\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=1)}{\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=-1)} \right)^{\frac{\eta(x)}{2}} \cdot \left(\frac{\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=1) \cdot \bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=-1)}{\varepsilon_{fs}^2(\eta=0)} \right)^{\frac{\eta^2(x)}{2}} \right)^{n(x)}} \cdot dx, \quad t \in \left[0, \frac{\pi}{2} \right], \end{aligned} \right. \quad (2)$$

де

$$n(t) = 1 + \frac{0,2 \cdot \left(\frac{b \cdot \operatorname{tg}^2(t) + a \sqrt{1+c}}{\sqrt{\operatorname{tg}^2(t) + c \cdot t^2}} - \frac{1}{2} \frac{(b \cdot (\operatorname{tg}(t) - t) + a \sqrt{1+c}) \cdot (2 \operatorname{tg}(t) \cdot (1 + \operatorname{tg}^2(t)) + 2 \cdot c \cdot t)}{(\operatorname{tg}^2(t) + c \cdot t^2)^{\frac{3}{2}}} \right)}{m \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos^4(t)} + 3}};$$

$\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta = -1)$, $\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta = 0)$, $\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta = 1)$ - граничні деформації за умов стаціонарного деформування; η - безрозмірний показник напруженого стану, що дорівнює відношенню першого інваріанта тензора напружень до інтенсивності напружень.

Показано, що в ряді випадків останнє співвідношення може бути замінене сталим коефіцієнтом n , а також наведено методику обчислення його значення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mikhalevich V. M., Lebedev A. A., Dobranyuk Yu. V. Modeling of plastic deformation in a cylindrical specimen under edge compression // *Strength of Materials*. 2011. Vol. 43, No. 6. P. 591–603. DOI: 10.1007/s11223-011-9332-7.
2. Михалевич В. М., Матвійчук В. А., Колісник М. А. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому видавлюванні методом штампування обкочуванням // *Обробка матеріалів тиском*. 2022. № 1(51). С. 87–96. DOI: 10.37142/2076-2151/2022-1(51)87.
3. Михалевич В. М., Добранюк Ю. В., Гютюнник О. І. Моделі накопичення пошкоджень в ізотропних матеріалах при холодному двоетапному деформуванні: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2024. 121 с. URL: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/download/833/1454/2728-1?inline=1> (дата звернення: 02.11.2024).
4. Грушко О. В., Огородніков В. А., Слободянюк Ю. О. Деформовність маловуглецевого дроту в процесі його багатоступінчастого холодного волочіння // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. № 3. С. 103–110. DOI: 10.31649/1997-9266-2019-144-3-103-110.

5. Матвійчук В. А., Колісник М. А., Штуць А. А. Дослідження напружено-деформованого стану матеріалу заготовок при прямому витискуванні методом штампування обкочуванням // Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018. № 3(102). С. 77–84.
6. Сивак Р. І., Огородніков В. А., Архіпова Т. Ф. Немонотонна пластична деформація в процесах обробки металів тиском. Вінниця: ВНАУ, 2022. 202 с. ISBN 978-617-7230-46-7.
7. Грушко О. В., Кириця І. Ю. Критерії деформовності з врахуванням властивостей матеріалу в параметрі напруженого стану // Обробка матеріалів тиском. 2022. № 1. С. 30–37.
8. Сухоруков С. І., Коцюбівська К. І., Сивак І. О. Оцінка деформуємості заготовок при поперечно-клиновій прокатці [Текст] // Наукові нотатки. 2009. № 25. С. 272–275.
9. Михалеви́ч В. М., Добранюк Ю. В., Тютюнник О. І., Колісник М. А. Лінійні та нелінійні моделі в теорії підсумовування пошкоджень // Обробка матеріалів тиском: зб. наук. пр. 2024. № 1(53). С. 100–108. DOI: 10.37142/2076-2151/2024-1(53)100.
10. Гараненко Т. Р., Титов А. В. Оценка деформируемости титанового сплава в условиях изотермического формообразования. 2020.
11. Михалеви́ч В. М., Добранюк Ю. В., Краєвський О. В. Порівняльне дослідження моделей граничних пластичних деформацій // Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця: ВНТУ, 2018. № 2(8). С. 56–64.
12. Mykhalevych V., Dobraniuk Y., Matviichuk V., Kraievskiy V., Tiutiunyk O., Smailova S., Kozbakova A. A comparative study of various models of equivalent plastic strain to fracture // Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska. 2023. № 1. P. 54–70. DOI: <http://doi.org/10.35784/iapgos.3496>.

Володимир Маркусович Михалеви́ч — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mykhal@gmail.com

Колісник Микола Анатолійович — асистент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки», Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, e-mail: kolisnik30@gmail.com;

Штуць Андрій Анатолійович — доцент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки», Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, e-mail: shtuts1989@gmail.com

CONSTRUCTION AND SIMPLIFICATION OF A DEFORMABILITY MODEL FOR CYLINDRICAL BLANKS IN ROLLING STAMPING AND UPSETTING PROCESSES

Abstract

Deformability models of cylindrical blanks in upsetting, rolling, and both forward and backward extrusion processes by means of rolling stamping have been investigated. Particular attention is given to overly complex models arising from the application of the widely used damage accumulation model by V. Ohorodnikov in combination with specific types of deformation trajectories of material macro-particles in critical zones. A representative model is constructed for the forward extrusion process by rolling stamping. It is shown that the results of computer simulations of a tubular blank's deformation during the formation of an internal flange of a cup-shaped part by end rolling do not contradict the adopted parametric description of deformation trajectories. Structural components of the models that significantly complicate their formulation and analysis are identified. It is found that these trajectories possess specific properties that allow for substantial simplification of complex deformability models. A method is proposed by which a certain functional dependence within the model can be replaced by a constant coefficient without significant loss of accuracy, thereby greatly facilitating further analytical and numerical studies.

Keywords: damage accumulation model, deformability model, deformation trajectory, rolling stamping, upsetting.

Mykhalevych Volodymyr M. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair for Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, mykhalevych@vntu.edu.ua

Kolisnyk Mykola A. — Assistant Professor of the Department of Electric PowerEngineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, kolisnik30@gmail.com

ShtutsAndrii A. — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, Department of Electric PowerEngineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, e-mail: shtuts1989@gmail.com

ТРИСТУПЕНЕВА СХЕМА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ДЕФОРМУВАННЯ З ПРОМІЖНИМ ЗНИЖЕННЯМ ШВИДКОСТІ ПІСЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ГРАНИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто модель триступеневого високотемпературного пластичного деформування на основі підходу спадкового типу. Отримано критеріальні нерівності для оцінки ресурсу пластичності. Встановлено умови часткового відновлення ресурсу на другій ступені процесу.

Ключові слова: *риступенева деформування; високотемпературна пластичність; модель спадкового типу; ресурс пластичності; відовлення ресурсу пластичності.*

Під триступеневим високотемпературним деформуванням розумітимемо процес пластичної деформації, що є стаціонарним у межах кожного з трьох етапів. Зокрема, функція інтенсивності швидкості деформації є кусочно-сталою і має три інтервали з фіксованим значенням швидкості.

Формально:

$$\dot{\epsilon} = \begin{cases} \dot{\epsilon}_1 c^{-1}, 0 \leq t \leq t_1; \\ \dot{\epsilon}_2 c^{-1}, t_1 < t \leq t_2; \\ \dot{\epsilon}_3 c^{-1}, t_2 < t \leq t_3. \end{cases} \quad (1)$$

де $\dot{\epsilon}$ - інтенсивність швидкостей деформацій;

$\dot{\epsilon}_k$ - її сталі значення на k -й ступені ($k = 1, 2, 3$);

t - час;

t_k - межі часових інтервалів ($t_0 = 0 \leq t_1 \leq t_2 \leq t_3$).

На основі моделі спадкового типу для триступеневого високотемпературного деформування може бути отримано критеріальну нерівність [1, 2]:

$$\psi = (\psi_1 + \psi_2 \alpha_{21} + \psi_3 \alpha_{21})^n - (\psi_2 \alpha_{21} + \psi_3 \alpha_{31})^n + (\psi_2 + \psi_3 \alpha_{32})^n - (\psi_3 \alpha_{32})^n + (\psi_3)^n \leq 1, \quad (2)$$

де $0 \leq \psi \leq 1$ - величина пошкоджень;

$\psi_k = \frac{t_k - t_{k-1}}{t_{*k}}$ - використаний ресурс пластичності на k -й ступені ($k = 1, 2, 3$);

$\alpha_{ij} = \frac{t_{*i}}{t_{*j}}, i = 2, 3; j = 1, 2;$

t_{*k} ;,- граничні значення часу до руйнування під час стаціонарного деформування зі швидкістю деформації $\dot{\epsilon}_k$ ($k = 1, 2, 3$);

n - матеріальна стала ($0 < n < 1$).

Величини використаних ресурсів пластичності мають задовольняти певні нерівності, зокрема,

$$0 \leq \psi_1 \leq 1;$$

Нерівності для ψ_2, ψ_3 розглянемо стосовно окремого типу триступеневого деформування.

$$\dot{\epsilon} = \begin{cases} \dot{\epsilon}_1 c^{-1}, 0 \leq t \leq t_1 \\ \dot{\epsilon}_2 c^{-1}, t_1 < t \leq t_2, \\ \dot{\epsilon}_1 c^{-1}, t_2 < t \leq t_3 \end{cases} \quad (3)$$

швидкість деформацій на другій ступені менша швидкості деформацій першої ступені

$$0 < \frac{\dot{\epsilon}_2}{\dot{\epsilon}_1} < 1, (\alpha_{21} > 1), \quad (4)$$

на першій ступені досягається гранична деформація

$$t_1 = t_{*1}. \quad (5)$$

Тоді для другої ступені має виконуватися нерівність

$$\psi(\psi_2) = (1 + \psi_2 \alpha_{21})^n - \psi_2^n (\alpha_{21}^n - 1) \leq 1. \quad (6)$$

Знайдемо похідну

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial \psi_2} &= n \left[\alpha_{21} (1 + \psi_2 \alpha_{21})^{n-1} - (\alpha_{21}^n - 1) \psi_2^{n-1} \right] \\ \lim_{\psi_2 \rightarrow +0} \frac{\partial \psi}{\partial \psi_2} &< 0 \quad \lim_{\psi_2 \rightarrow 1+0} \frac{\partial \psi}{\partial \psi_2} > 0 \quad \psi(\psi_2 = \bar{\psi}_2) \in (0, 1) \end{aligned} \quad (7)$$

Доведено справедливості нерівностей

$$\lim_{\psi_2 \rightarrow +0} \frac{\partial \psi}{\partial \psi_2} < 0, \quad \lim_{\psi_2 \rightarrow 1+0} \frac{\partial \psi}{\partial \psi_2} > 0.$$

Отже функція (6) має мінімум при деякому значенні $\bar{\psi}_2, \bar{\psi}_2 \in (0, 1)$. Доведено, що

$$\psi(\psi_2 = \bar{\psi}_2) \in (0, 1).$$

Це означає, що на початковій ділянці другої ступені процес заліковування накопичених пошкоджень переважає над їх подальшим накопиченням. У результаті відбувається часткове відновлення ресурсу пластичності.

За умови досягнення граничного стану на третій ступені, тобто, $t_3 = t_*$ ($\psi_3 = \psi_{*3}$), на основі (2) можемо записати

$$(\psi_1 + \psi_2 \alpha_{21} + \psi_{*3})^n - (\psi_2 \alpha_{21} + \psi_{*3})^n + \left(\psi_2 + \frac{\psi_{*3}}{\alpha_{21}} \right)^n - (\psi_{*3})^n \left[\frac{1}{(\alpha_{21})^n} + 1 \right] = 1. \quad (8)$$

Результати розрахунків, наведених на рисунку, свідчать, що ефект часткового відновлення ресурсу пластичності залежить від властивостей матеріалу, що відображаються в моделі через матеріальні сталі α_{21} та n . При цьому вирішальний вплив має значення параметра α_{21} .

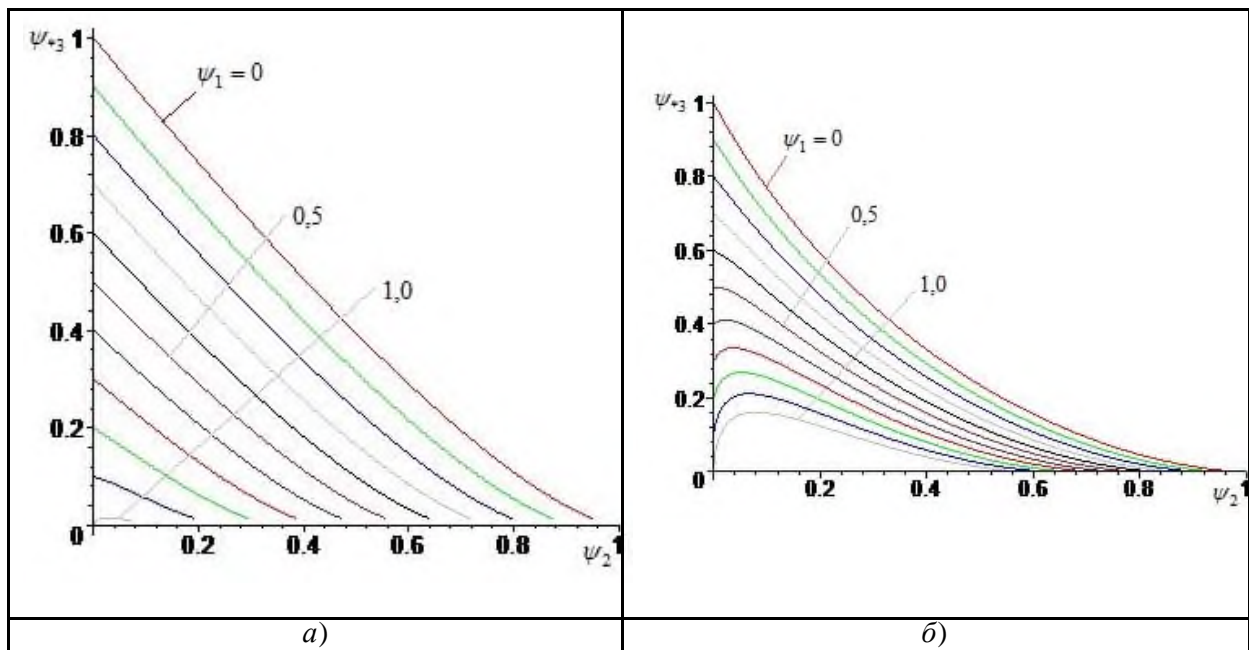


Рис. Залежність залишкового ресурсу пластичності на третій ступені від витраченого ресурсу на другій ступені для різних значень ресурсу, витраченого на першій ступені, розрахунок за формулою (8): $n=0,6$; а) $\alpha_{21} = 2$; б) $\alpha_{21} = 12$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mikhalevich V. M., Kraevskiy V. O. Variational problems for damage accumulation models heritable type // The nonlinear analysis and application 2009: Materials of the international scientific conference (April 02-04th 2009, Kyiv). – Kyiv: NTUU "KPI", 2009. – p. 109-110.
2. Михалевич В. М. Формулювання варіаційної задачі для моделі накопичення пошкоджень при гарячому деформуванні [Текст] / В. М. Михалевич, В. О. Краєвський // Обробка матеріалів тиском : збірник наукових праць. – Краматорськ, 2009. – № 2(21). – С. 12-16.

Володимир Маркусович Михалевич — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ymykhal@gmail.com

Тютюнник Оксана Іванівна — доцент кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: tutunnik.oksana@gmail.com

Добранюк Юрій Володимирович — доцент кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: doبرانukyuriy@gmail.com

THREE-STAGE HIGH-TEMPERATURE DEFORMATION SCHEME WITH INTERMEDIATE STRAIN RATE REDUCTION AFTER REACHING THE CRITICAL STRAIN

Abstract

A model of three-stage high-temperature plastic deformation based on a hereditary-type approach is presented. Criterion inequalities for assessing the plasticity resource are derived. Conditions enabling partial recovery of the plasticity resource during the second stage are established

Keywords: three-stage deformation; high-temperature plasticity; hereditary-type model; plasticity resource; damage healing

Mykhalevych Volodymyr M. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair for Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, mykhalevych@vntu.edu.ua

Tiutunnyk Oksana I. — Cand. Sc., Associate Professor of the Department of Chair for Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, tutunnik.oksana@gmail.com

Dobraniuk Yurii V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Department of Chair for Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: doبرانukyuriy@gmail.com

ПРО ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ ТОРОЇДАЛЬНИХ ОБОЛОНОК НЕКОЛОВОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ

Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України

Анотація.

Досліджено напружено-деформований стан ортотропних тороїдальних оболонок неколового перерізу, зокрема супереліптичного. Дослідження проведено на основі варіаційно-різницевого методу, методу множників Лагранжа та використанні змішаних функціоналів. Ця задача через наявність мембранного замикання може доповнити ряд так званих патологічних тестів.

Ключові слова: теорія тонких оболонок, множники Лагранжа, композитні тороїдальні оболонки, явище замикання.

Замкнуті тонкі тороїдальні оболонки завдяки своїй компактності та жорсткості широко використовуються в інженерії. Це не тільки шини, паливні баки й резервуари високого тиску, а й елементи космічних конструкцій. До останніх відносяться надлегкі надувні супутникові компоненти, які служать елементами антен та конструкціями для підтримки космічних телескопів. Бажано, щоб такі тороїдальні оболонки у місцях прикріплення мали потовщення. Може виявитися, що оболонки з неколового поперечного перерізу будуть вигіднішими від оболонок колового перерізу. Намагання збільшити компактність також веде до оболонок неколового поперечного перерізу. З цією метою досліджують оболонки еліптичного, овального, косоого еліптичного, параболічно-огівального (з гострими вершинами), кусково-колового, суперколового, супереліптичного та іншого виду перерізів. Часто для проектування тороїдальних оболонок різного призначення використовують полімерні композитні матеріали, яким притаманна анізотропія та нелінійна пружність.

Основною особливістю деформування циліндричних, тороїдальних та інших оболонок неколового перерізу під внутрішнім тиском є значні згини за невеликих розтягів. Розрахунок напружено-деформованого стану (НДС) таких оболонок класичними чисельними сітковими методами ускладнюється через так зване явище мембранного замикання, яке проявляється у сповільненій, але стійкій, збіжності класичних чисельних методів. Так, в розрахунках НДС значно витягнутої вздовж вісі обертання ($b/a = 10$) оболонки знадобилось 20000 вузлових точок [1].

У випадку супереліптичного перерізу (рис.1) оболонки розрахунок НДС ще більше ускладнюється. Прискорити збіжність можна на основі змішаних функціоналів, в яких додатково варіюються заздалегідь малі компоненти деформацій [2].

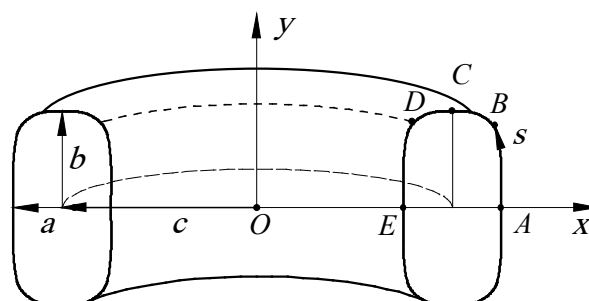


Рисунок 1 – Тороїдальна оболонка супереліптичного перерізу

Серединна поверхня замкненої тороїдальної оболонки утворена обертанням навколо вісі OY супереліпса (крива Ламе):

$$F(x, y) = \left| \frac{x-c}{a} \right|^n + \left| \frac{y}{b} \right|^n - 1 = 0.$$

Зі збільшенням n супереліпс наблизатиметься до прямокутника із закругленими кінцями зі сторонами a і b . Особливої уваги заслуговує вибір системи координат і способу дискретизації дуги супереліпса. На наш погляд, доцільно використати криволінійну систему координат (s, θ, γ) , у якій координата γ спрямована нормально до поверхні, а довжина дуги супереліпса s відраховується від найвіддаленішої від вісі обертання точки A до найближчої до неї точки E проти годинникової стрілки (рис.1). Дискретизацію дуги, задану неявною функцією $F(x, y)$ здійснюємо оригінальним методом типу дотичної [1].

Базову систему рівнянь отримано на основі варіаційно-різницевого методу. Геометричну частину гіпотез Кірхгофа–Лява реалізовано методом множників Лагранжа. Для зменшення впливу мембранного замикання та покращення збіжності у змішаному функціоналі додатково варіюється меридіональна деформація [3].

Для досягнення точності до трьох значущих цифр в максимальних величинах необхідно було розбити півдугу супереліпса ($n=4$) на 2000 вузлових точок, тоді як у випадку еліпса ($n=2$) достатньо було 200 точок, що є проявом мембранного замикання. Поблизу «діагональних» точок супереліпса B і D та в «діаметральних» точках A і C виникають значні моменти. Дана задача може доповнити ряд так званих патологічних тестів. Таким чином, можна стверджувати, що у впливі параметрів супереліптичного перерізу на характер деформування показник кривої відіграє першочергову роль порівняно з еліптичністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Chernyshenko, I. S., & Maksimyuk, V. A. (2000). On the stress-strain state of toroidal shells of elliptical cross section formed from nonlinear elastic orthotropic materials. *International Applied Mechanics*, 36(1), 90-97.
2. Lutska, I. V., & Maksimyuk, V. A. (2021). Deformation of Orthotropic Toroidal Shells of Superelliptic Cross-Section. *International Applied Mechanics*, 57(6), 655-658.
3. Lutska, I. V., Maksimuk, V. A., & Chernyshenko, I. S. (2018). Modeling the deformation of orthotropic toroidal shells with elliptical cross-section based on mixed functionals. *International Applied Mechanics*, 54(6), 660-665

Луцька Ірина Василівна, молодший науковий співробітник, Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України, Київ, desc@inmech.kyiv.ua

Максимюк Володимир Ананійович, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник, Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України, Київ, volmak@ukr.net

Чернишенко Іван Семенович, доктор технічних наук, професор, член-кор. НАН України, головний науковий співробітник, Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України, Київ, desc@inmech.kyiv.ua

ON THE FEATURES OF THE DEFORMATION OF TOROIDAL SHELLS OF A NON-CIRCULAR CROSS-SECTION

Abstract.

The stress-strain state of orthotropic toroidal shells of non-circular cross-section, particularly superelliptic, was studied. The research was carried out based on the variational-difference method, the method of Lagrange multipliers and the use of mixed functionals. This problem, due to the presence of membrane locking, can complement a number of so-called pathological tests.

Keywords: *thin shell theory, Lagrange multipliers, composite toroidal shell, locking effect.*

Iryna Lutska, Junior Researcher, S.P. Tymoshenko Institute of Mechanics of NAS of Ukraine, Kyiv, desc@inmech.kyiv.ua

Volodymyr Maksymyuk, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher, S.P. Tymoshenko Institute of Mechanics of NAS of Ukraine, Kyiv, volmak@ukr.net

Ivan Chernyshenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of NAS of Ukraine, Chief Researcher, S.P. Tymoshenko Institute of Mechanics of NAS of Ukraine, Kyiv, desc@inmech.kyiv.ua

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ КУВАННЯ КОРПУСІВ ЗАПІРНОЇ АРМАТУРИ НА ТЕЧІЮ МЕТАЛУ ТА ФОРМУ ПОКОВКИ

¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Анотація

Запропоновано метод кування корпусів запірної арматури з корозійностійких сталей та визначено вплив початкових параметрів кування на течію металу та кінцеву геометрію поковки.

Ключові слова: кування, протягування, корпуси запірної арматури.

Вступ

Сьогодні кування корпусів запірної арматури з корозійностійких сталей є актуальною темою, оскільки виробництва все частіше прибігають до введення ресурсозберігаючих технологій для економії металу[1]. Тема є також актуальною з огляду наближення геометричної форми поковки до форми деталі[2].

Метою роботи є визначення впливу початкових параметрів кування на кінцеву форму поковки.

Результати дослідження

Кінцевою операцією кування при куванні корпусів запірної арматури є ковальське протягування. Цей метод дозволяє обирати оптимальну схему кування, кути кантувань заготовки, ступінь деформації та величину подачі (рис.1.).

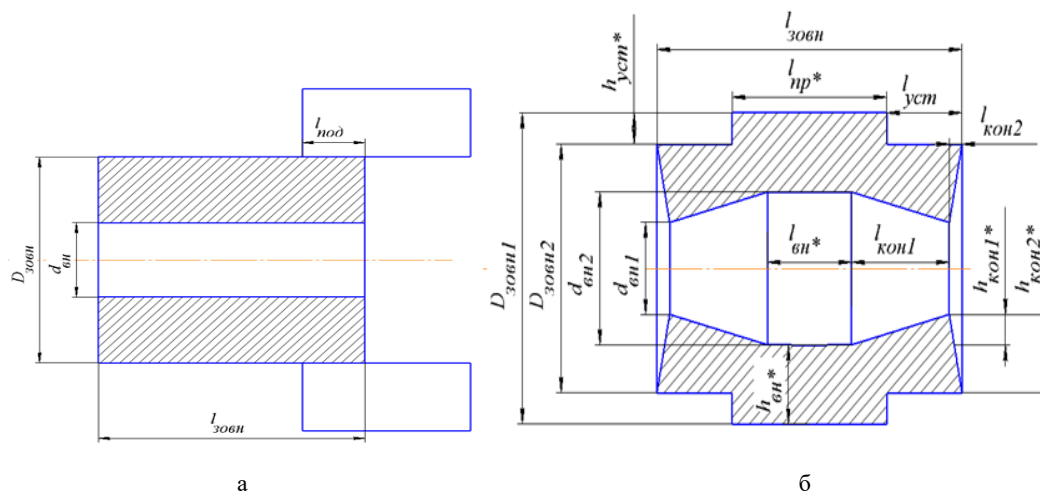


Рис. 1. Заготовка до початку кування (а), кована поковка (б)

В даному дослідженні кування відбувалося за так званою схемою кантувань «по колу». Ступінь деформації варіювалась в проміжку 10%-20%. При цьому величина подачі варіювалась з параметрами 100мм, 150мм і 200мм (рис.2.).

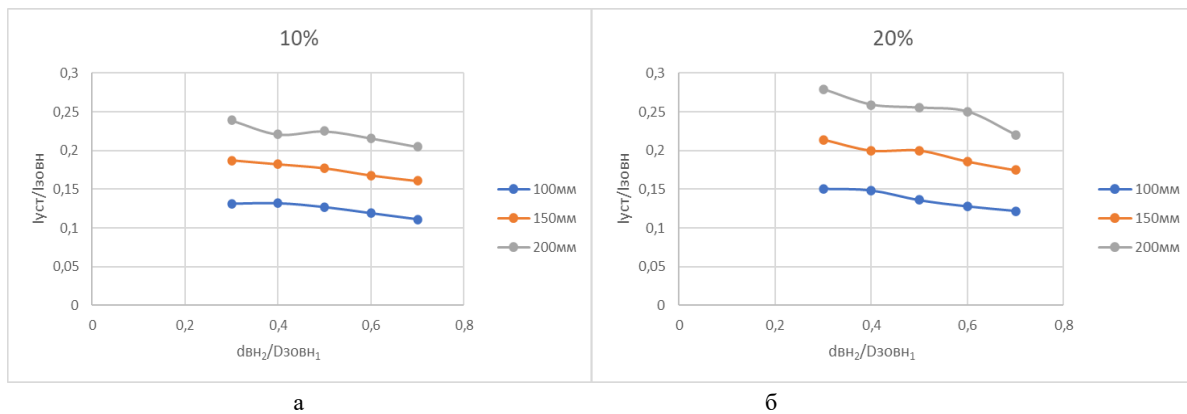


Рис.2. Графіки залежності подовження поковки від початкових параметрів кування при 10%(а) і 20%(б) деформації

З графіків залежності кінцевої форми поковки від початкових параметрів кування можна сказати, як величина подачі чи ступінь деформації впливають на течію металу. Наприклад, при збільшенні величини подачі у всіх випадках збільшуються і довжина поковки, тобто чим більша подача, тим більша і довжина поковки. Також можна сказати, що при збільшенні внутрішнього діаметру заготовки кількість металу, яка йде на подовження, зменшується, що можна пояснити зменшенням товщини стінки заготовки.

Висновки

Встановлено, що запропонований спосіб кування дозволяє прогнозувати вплив параметрів кування на течію металу, а також вибирати схеми, при яких розподіл металу буде більш рівномірним і оптимальним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Способи підвищення якості кування поковок високолегованих марок сталей та сплавів на гідропресах / А. Ю. Матюхін [та ін.] // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії = Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy: зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2019. – № 12 (1337). – С. 36-40.
2. Чухліб В.Л. Дослідження напружено-деформованого стану при протяжці титанового сплаву з метою оптимізації параметрів кування / В.Л. Чухліб, Є.С. Клемешов, В.О Гринкевич, Х. Дия // Вестник НТУ «ХПИ». 2015. №24. С. 15–166.

Дуванський Олександр Миколайович — аспірант кафедри комп'ютерного моделювання та інтегрованих технологій обробки тиском, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут, Харків, e-mail: duvansky.alex@ukr.net

Чухліб Віталій Леонідович — докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерного моделювання та інтегрованих технологій обробки тиском, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут, Харків, e-mail: profdnepro@gmail.com

Influence of initial forging parameters on metal flow and forging shape

Abstract

A method for forging valve bodies from corrosion-resistant steels is proposed and the influence of initial forging parameters on metal flow and final forging geometry is determined.

Keywords: forging, drawing, valve bodies.

Duvanskyi Oleksandr M. — PhD student of the Department of Computer Modeling and Integrated Pressure Processing Technologies, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, e-mail: duvansky.alex@ukr.net

Chukhlib Vitaly L. — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Modeling and Integrated Pressure Processing Technologies, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, e-mail: profdnepro@gmail.com

ВІДНОВЛЕННЯ ЗАПАСУ ПЛАСТИЧНОСТІ ЗАГОТОВОК ТЕРМІЧНОЮ ОБРОБКОЮ

Вінницьке вище професійне училище сфери послуг

Анотація

Показано, що вплив термічної обробки на механічні властивості сталей неоднаковий для різних схем напруженого стану. Дефекти, що не заліковуються при проведенні відпалу, виникають при $\psi \geq 0,2 \dots 0,25$. Виходить, відновлення пластичності в небезпечних областях при проведенні відпалу може скласти порядку 40 %, що для даного процесу є бажаним, тому що виріб буде мати більшу міцність і зносостійкість.

Ключові слова: термічна обробка, гранична деформація, ступінь деформації.

Метали та сплави складаються із кристалічних зерен. При нагріванні до необхідної температури, яка залежить від вмісту вуглецю та легуючих компонентів (визначається для конкретної сталі за спеціальним довідником), більшість кристаликів руйнується. Коли деталь різко охолоджують то на місці зруйнованого кристалика зароджуються багато маленьких кристаликів. Утворюється дрібнозерниста структура. Чим менший кристалик, тим міцніше вони пов'язані між собою, а звідси і велика твердість. Але при цьому утворюються внутрішні напруги (кристалики заважають один одному рости) які надають загартованій деталі крихкості. При наступному нагріванні до невеликих температур кристалики починають плавитися, починаючи з країв зерен. При цьому знімаються внутрішні напруги в кристаликах і, відповідно, зменшується крихкість. При подальшому нагріванні кристалики руйнуються.

В основі термічної обробки сталей лежить перекристалізація аустеніту при охолодженні. Перекристалізація може відбутися дифузійним або бездифузійним способами. У залежності від переохолодження аустеніт може перетворюватися у різні структури з різними властивостями.

Залежно від мети термічної обробки існують різні її види, що відрізняються температурою нагрівання, тривалістю витримання та швидкістю охолодження.

Тому дослідження рекристалізаційних процесів матеріалів при обробці тиском мають велике практичне значення. Вони показують, з яким ступенем деформації і при якій температурі необхідно проводити процес обробки даного металу, щоб уникнути появи крупного зерна. Крупнозернистий метал має понижену пластичність і в багатьох випадках небажаний.

Дослідження заготовок виконували з однією проміжною термообробкою. Режим термообробки зразків після деформування був таким: температура 700 °С, витримка при цій температурі 4 години й охолодження разом з піччю. Швидкість нагрівання не перевищувала 3 град/хв. Визначили граничну деформацію і ступінь деформації на і – му етапі при стисканні.

Використаний ресурс пластичності без відпалу визначався по співвідношенню: $\psi_1 = \frac{e_u}{e_p}$.

Ступінь деформації на і – му етапі при відпалу знаходили як:

$$e_{u2} = \ln \frac{h_0}{h_{p2}}, \quad (1)$$

де h_{p2} – висота зразка після руйнування в процесі осаджування на і – му етапі.

Використаний ресурс пластичності із застосуванням відпалу:

$$\psi_2 = \frac{e_{u2}}{e_p}, \quad (2)$$

тоді величина відновленого запасу пластичності після відпалу $\Delta\psi_1$:

$$\Delta\psi_1 = \psi_1 + \psi_2 - 1, \quad (3)$$

На рис. 1 представлені зразки з різним ступенем деформації після проведення відпалу, на рис. 2 – зруйновані зразки для визначення e_{u2} на i -му етапі.

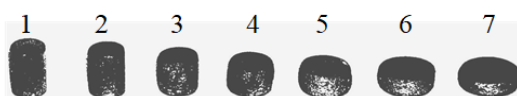


Рис. 1. Зразки з різним ступенем деформації після проведення відпалу

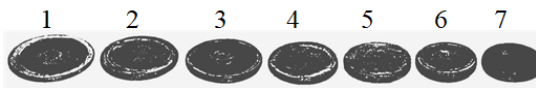


Рис. 2. Зруйновані зразки для визначення e_{u2} на i -му етапі

На рис. 3 приведена залежність, що характеризує стадії накопичень пошкодження при деформації і можливості їх зменшення при термічній обробці.

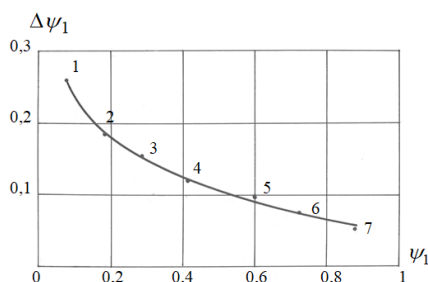


Рис. 3. Відновлення пластичності при проведенні відпалу деформованих зразків

Аналіз показує, що дефекти, що не заліковуються при проведенні відпалу, виникають при $\psi \geq 0,2 \dots 0,25$. Виходить, відновлення пластичності в небезпечних областях при проведенні відпалу може скласти порядку 40 %, що для даного процесу є бажаним, тому що виріб буде мати більшу міцність і зносостійкість.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Огородніков В.А., Музичук В.І., Нахайчук О.В. Механіка процесів холодного формозмінювання з однотипними схемами механізму деформації: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. 179 с.
2. Нахайчук О.В., Музичук В.І. Дослідження деформуємості і якості заготовок в умовах граничного формоутворення. Зб. наук. пр. ВДАУ. Серія: Технічні науки. Вінниця: ВДАУ, 2010. Вип. 5. С. 120-126.

Музичук Василь Іванович, к.т.н., доцент, Вінницьке вище професійне училище сфери послуг, Вінниця, musvasil1972@gmail.com

RESTORATION OF PLASTICITY RESERVE OF BLANKETS BY HEAT TREATMENT

Abstract

It is shown that the effect of heat treatment on the mechanical properties of steels is not the same for different stress state schemes. Defects that are not healed during annealing occur at $\psi \geq 0.2 \dots 0.25$. It turns out that the restoration of plasticity in dangerous areas during annealing can be about 40%, which is desirable for this process, because the product will have greater strength and wear resistance.

Keywords: heat treatment, ultimate deformation, degree of deformation.

Vasyl I. Muzychuk, Ph.D., Associate Professor, Vinnytsia Higher Professional School of Services. Vinnytsia, musvasil1972@gmail.com

ВАРІАНТИ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ВИТЯГУВАННЯ З ПОТОНШЕННЯМ

1 – Кременчуцький національний технічний університет імені Михайла Остроградського

2 – КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анотація. З використанням скінченно-елементної програми Deform2D і пружно-пластичної моделі металу проведено моделювання трьох варіантів холодного видавлювання порожнистих напівфабрикатів для подальшого витягування з потоншенням. Розглянуто схеми зворотного видавлювання, прямого видавлювання з роздачою та зворотного видавлювання з роздачою в рухомій матриці. Встановлено зусилля видавлювання і вилучення пуансонів із напівфабрикатів. Визначено напружений і деформований стани металу та форму і розміри напівфабрикатів.

Ключові слова: холодне видавлювання, порожнистий напівфабрикат, метод скінченних елементів, зусилля, напруження, деформації.

Холодне видавлювання порожнистих напівфабрикатів використовують як перший перехід при штампуванні гільз і корпусів снарядів певного калібру. При масовому виробництві таких виробів актуальним є питання стійкості деформуючого інструменту, яку можна збільшити завдяки зменшенню зусилля видавлювання. Для отримання порожнистих виробів і напівфабрикатів в основному використовують три схеми формоутворення, що показано на рис. 1 [1]. Тут ліворуч від вісі симетрії зображено положення інструменту і заготовки на початку видавлювання, а праворуч – в кінці видавлювання. Найбільш широко використовується схема зворотного видавлювання (рис. 1а). Тут зображено: 1 – заготовка, 2 – матриця, 3 – виштовхувач, 4 пуансон, 5 – напівфабрикат. На рис. 1б представлено схему прямого видавлювання з роздачою, при якій отриманий напівфабрикат має більший діаметр в порівнянні із заготовкою (1 – заготовка, 2 – матриця, 3 – пуансон, штовхач). Схему зворотного видавлювання з роздачою в рухомій матриці приведено на рис. 1в (1 заготовка, 2 – матриця, 3 – пуансон, 4 – виштовхувач). Для реалізації цієї схеми потрібно забезпечити переміщення матриці з однаковою швидкістю із пуансоном. При видавлюванні по 3 схемах використовували пуанسونи та отримували напівфабрикати з однаковими розмірами. Розміри заготовок і інструменту: $H=72$ мм, $D=40$ мм для схеми 1а (див. рис. 1) і $H=100$ мм, $D=34$ мм для схем 1б і 1в; $D_1=40$ мм, $D_2=34$ мм, $h=15$ мм, $d=30$ мм, $\alpha=7^\circ$, $\beta=7^\circ$, $r=l=2$ мм, $z=0,15$ мм $\gamma=12^\circ$. Розміри напівфабрикатів: $D_1=40$ мм, $D_2=34$ мм,

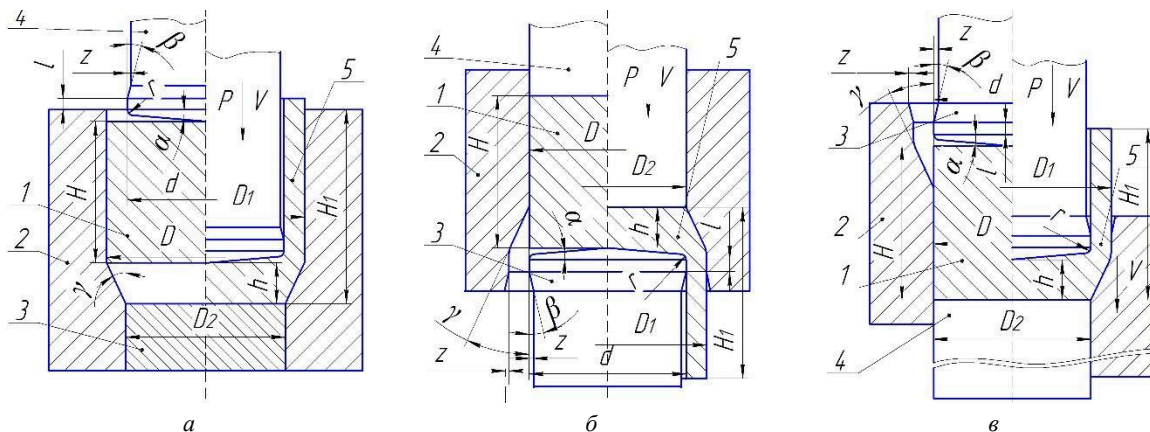


Рис. 1. Схеми видавлювання порожнистих напівфабрикатів: а – схема зворотного видавлювання, б – схема прямого видавлювання з роздачою, в – схема зворотного видавлювання з роздачою

Моделювання вісесиметричного видавлювання проведено в скінченно-елементній програмі Deform 2D з використанням пружно-пластичної моделі металу для можливості визначення зусиль виймання пуансонів із деформованих заготовок та виштовхування напівфабрикатів із матриць. Швидкість деформування складала $V=2$ мм/сек, а тертя враховано по Кулону з коефіцієнтом тертя $\mu=0,08$.

На рис. 2 представлено з програми Deform 2D в розрізі розрахункові положення заготовки і інструменту на початку і в кінці видавлювання для розглянутих схем.

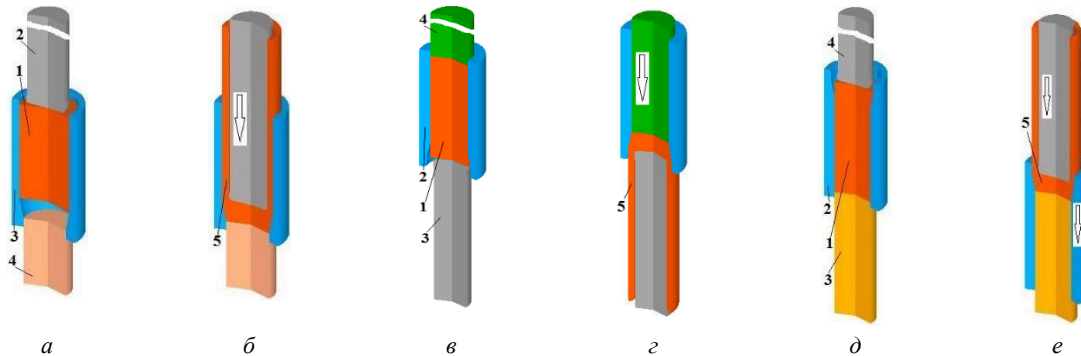


Рис. 2. Розрахункові положення деформуючого інструменту і заготовки при видавлюванні: а і б – зворотному, в і г – при прямому з роздачою, а і б – при зворотному з роздачою,

Моделюванням встановлено зусилля видавлювання і вилучення пуансонів із деформованих заготовок, питомі зусилля на пуансонах і матрицях, форму і розміри напівфабрикатів та розподіли напружень, деформацій і температури у металі напівфабрикатів. Проведено експериментальні дослідження зворотного видавлювання підтвердили результати моделювання.

Раціональною схемою для видавлювання порожнистих напівфабрикатів є зворотне видавлювання в рухомій матриці, яке потребує меншого зусилля деформування і діаметра заготовки в порівнянні зі зворотним видавлюванням та забезпечує без труднощів виштовхування напівфабрикату із матриці в порівнянні з прямим видавлюванням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Калюжний В.Л., Калюжний О.В. Холодне об'ємне штампування порожнистих і стержневих виробів. Монографія. Київ: КИТ. 2020. 240 с.

Калюжний Олександр Володимирович, к.т.н., доц., докторант, Національний технічний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, av-k@ukr.net

Калюжний Володимир Леонідович, д.т.н., проф., професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського», м. Київ, kwl_2011k@ukr.net

Холявік Ольга Віталіївна, к.т.н., доц., доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського», м. Київ, k_omd@ukr.net

OPTIONS FOR COLD EXTRUSION OF HOLLOW SEMI-FINISHED PRODUCTS FOR FURTHER DRAWING WITH THINNING

Abstract. Three variants of cold extrusion of hollow semi-finished products for subsequent drawing with thinning were modeled using the finite element program Deform2D and an elastic-plastic metal model. The schemes of reverse extrusion, direct extrusion with dispensing, and reverse extrusion with dispensing in a moving die are considered. The forces of extrusion and removal of punches from semi-finished products are determined. The stressed and deformed states of the metal, as well as the shape and dimensions of the semi-finished products, were determined.

Keywords: cold extrusion, hollow semi-finished product, finite element method, forces, stresses, deformations.

Kaliuzhnyi Oleksandr Volodymyrovych, PhD, Associate Professor, Doctoral Student, Mykhailo Ostrohradskyi National Technical University, Kremenchuk, av-k@ukr.net

Kaliuzhnyi Volodymyr Leonidovych, Full Professor, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, kwl_2011k@ukr.net

Holiavik Olha Vitaliivna, PhD in Engineering, Associate Professor, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic University”, Kyiv, k_omd@ukr.net

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ДВОШАРОВОЇ ПОЛОСИ З ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ НА ЖОРСТКІЙ ОСНОВІ

Інститут механіки імені С.П. Тимошенка Національної академії наук України

Анотація

Розглядається попередньо напружена двошарова полоса на жорсткій основі. Зосереджена сила рухається по вільній поверхні з постійною швидкістю під певним кутом до поверхні. Досліджено вплив рухомого навантаження і початкових напружень на основні характеристики напружено-деформованого стану двошарової полоси.

Ключові слова: шарувата полоса, початкові напруження, рухоме навантаження.

Розглядається двошарова попередньо напружена полоса. Граничні поверхні плоскі і паралельні між собою. Початковий напружено-деформований стан полоси вважається однорідним. Зосереджена сила рухається по вільній поверхні з постійною швидкістю.

Дослідження проведені у рамках лінеаризованої теорії пружності для тіл з початковими напруженнями [1]. Для розв'язку задачі застосовується метод інтегральних перетворень Фур'є.

Розв'язок отримано в загальному вигляді для матеріалів з довільним пружним потенціалом, для випадків нерівних і рівних коренів характеристичних рівнянь, для різних умов сполучення елементів шаруватого середовища і для будь-якої швидкості руху.

Аналітичні результати свідчать, що напружено-деформований стан попередньо напруженої полоси залежить від механічних параметрів елементів шаруватого середовища, швидкості руху навантаження, початкових напружень, умов контакту і координат точок, що досліджуються.

Чисельні дослідження проведені в рамках теорії скінченних початкових деформацій для матеріалу з пружним гармонічним потенціалом.

Нижче приведені результати дослідження напружено-деформованого стану полоси при докритичних швидкостях поверхневого навантаження. Вважаємо, що початковий деформований стан плоский і поверхневе навантаження відсутнє.

На рис. 1 і 2 показаний розподіл узагальнених напружень $\tilde{\varrho}_{22}$ в елементах стисливої двошарової полоси.

Товщина слоїв – однакова ($h^{(1)} = h^{(2)} = h$). Контакт між елементами – жорсткий.

Швидкість поверхневого навантаження – дозвукова $v^2/c_0^2 = 0.1$, $c_0^2 = \mu^{(2)} / \varrho^{(2)}$.

Решта параметрів мають значення: $P/\eta^{(2)} = 0.5$; $\alpha = \pi/2$; $\eta^{(2)}/\eta^{(1)} = 0.5$; $\varrho^{(2)}/\varrho^{(1)} = 0.5$.

Тут і на рисунках P - зовнішнє навантаження, α - кут нахилу навантаження, $\eta^{(s)}$ - модуль зсуву, $\varrho^{(s)}$ - щільність матеріалу в природньому стані, $\nu^{(s)}$ - коефіцієнт Пуасона, $\lambda_1^{(s)}$ - видовження.

Криві 1,2, 3 на рис. 1 – 3 відповідають значенням $\lambda_1^{(2)} = 0.9$, $\lambda_1^{(2)} = 1$, $\lambda_1^{(2)} = 1.1$

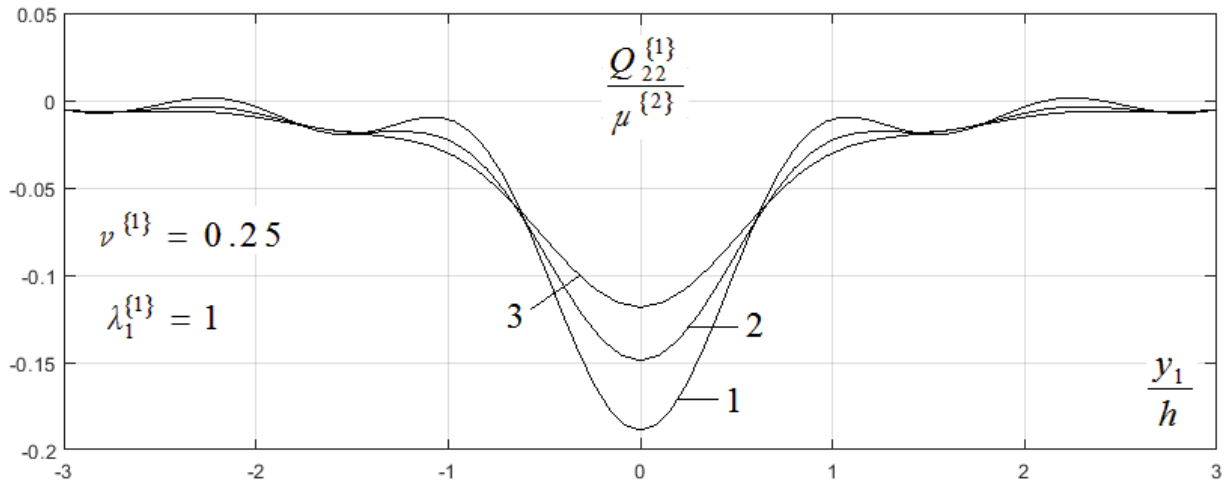


Рис. 1. Узагальнені напруження у 1-й полосі $\tilde{Q}_{22}^{(1)}$ при $y_2 = -h/(2\lambda_2^{(2)})$.

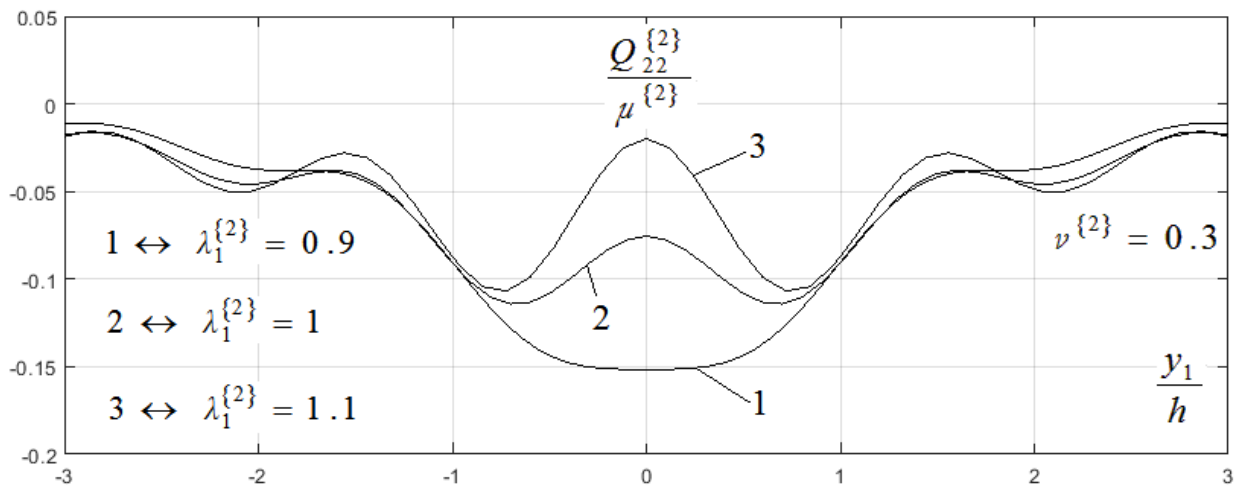


Рис. 2. Узагальнені напруження у 2-й полосі $\tilde{Q}_{22}^{(2)}$ при $y_2 = -3h/(2\lambda_2^{(2)})$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гузь А.Н. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями/ А.Н. Гузь. – Киев: «А.С.К», 2004. – 672 с.

Глухов Юрій Петрович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, старший науковий співробітник відділу динаміки і стійкості суцільних середовищ, Інститут механіки імені С.П. Тимошенка Національної академії наук України, Київ, gluchov.uriy@gmail.com

STRESS-STRAIN STATE OF A TWO-LAYER STRIP WITH INITIAL STRESSES ON A RIGID BASE

Abstract

A prestressed two-layer strip on a rigid foundation is considered. A concentrated force moves along a free surface with a constant speed at a certain angle to the surface. The influence of the moving load and initial disturbances on the main characteristics of the stress-strain state of the two-layer strip is investigated.

Key words: layered strip, initial stresses, moving load

Yuriy Glukhov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Senior Research Fellow at Department of Dynamics and Stability Continuum, S.P. Timoshenko Institute of Mechanics of the NAS of Ukraine, Kiev, gluchov.uriy@gmail.com

МАРКІВСЬКІ ЛАНЦЮГИ В ПРОЦЕСАХ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ

Житомирський агротехнічний фаховий коледж

***Анотація.** Розглянуто існування марківських процесів при механічній обробці металів різанням, коли в результаті обробки отримують випадкові величини – розмір та шорсткість. Ці величини характеризуються наступними факторами: переміщеннями інструмента та заготівки, їх розмірами, жорсткістю та коливаннями системи «верстат-приспособування-інструмент-деталь» тощо. При відомих значеннях отриманої випадкової величини «розмір» або «шорсткість» та нормальному законі розподілення можна очікувати, що їх послідовність буде представляти собою марківські ланцюги з деякими матрицями переходу.*

Ключові слова: обробка поверхні, розмір, шорсткість, випадкова величина, марківський процес, матриця переходу, дискретний час.

Марківський процес представляє собою сукупність подій, для кожної з яких ймовірність настання визначається виключно попереднім станом [1, 2]. Розрізняють марківські ланцюги однорідні та неоднорідні. Неоднорідним називають марківський ланцюг, для якого ймовірність переходу системи від одного стану до іншого не змінюється з часом. Часто розглядають неоднорідні марківські ланцюги, які залежать від часу (фінанси, біологія, медицина, інформаційні технології, процеси та системи масового обслуговування, тощо). У промисловому виробництві при виготовленні великої кількості деталей також мають місце послідовності випадкових величин, наприклад, «розмір» та «шорсткість» поверхні після механічної обробки, величини відхилень форми та розташування поверхонь та ін., коли дані параметри мають різні значення зазвичай в деяких наперед визначених межах. Виникає питання про можливість представлення даних випадкових величин, зокрема «розмір» та «шорсткість» обробленої поверхні, як марківських ланцюгів, при розгляді багатьох послідовних ділянок однієї оброблюваної поверхні або великої кількості деталей.

Значну частину деталей механізмів транспортних та технологічних машин, незважаючи на розвиток та розповсюдження інших точних методів отримання деталей (штамбування, точне лиття, зварювання) продовжують отримати шляхом механічної обробки на металорізальних верстатах. Як правило, обробка на верстатах дозволяє отримати поверхні практично будь якої форми, точності та чистоти поверхні [3], тому часто є завершальним етапом технологічного процесу. Основними параметрами, які характеризують оброблену поверхню, є отримані розмір та шорсткість. Чистове точіння, фрезерування або шліфування часто забезпечує остаточне отримання необхідних розмірів та якості поверхні. Конструктивні розміри на робочих кресленнях завжди задаються в певних межах. Це пояснюється наступними причинами: практично неможливо виконати розмір абсолютно точним (номінальним); відсутня сама необхідність виконувати абсолютно точний розмір, оскільки зазвичай його отримання в певних, заздалегідь обґрунтованих, межах забезпечує необхідну посадку в передачах або з'єднаннях.

Можна припустити, що при безперервній обробці поверхні існує певний зв'язок між роботою (положенням) інструменту в даному положенні та його роботою (положенням) в положенні попередньому. Таким чином, є підстави розглядати процес утворення випадкової величини отриманого розміру (шорсткості), як простий марківський ланцюг з дискретним часом.

Розглянемо однорідність за часом такого марківського ланцюга. Очевидно, що рух деталі (при токарній обробці) або інструменту (при фрезерній) є періодичним, рух відповідно інструменту та деталі є змінним у часі. Також змінними у часі є розміри різальних кромки інструменту, величина наросту, яка може мати періодичний характер. Тоді будемо розглядати неоднорідний марківський ланцюг.

Якщо шорсткість після обробки забезпечена відповідно вимог, то її показники теж знаходяться в певних межах, як і у випадку отриманого при обробці розміру. Якщо розбити оброблену поверхню на n , наприклад, рівних частин, то, очевидно, показник шорсткості кожної

i -ї ділянки обробленої поверхні, як і середній розмір, буде величиною випадковою. Якщо розглядати коливання середніх величин розміру або шорсткості від ділянки до ділянки на одній обробленій поверхні, тоді можна говорити про дискретний час, де проміжок часу дорівнює тривалості обробки кожної ділянки оброблюваної поверхні. Якщо оцінювати параметри шорсткості або розміру для всієї обробленої ділянки від деталі до деталі, то очевидно, що час також буде дискретним. Залишається відкритим вибір критерію оцінювання розміру чи шорсткості обробленої деталі по кількох ділянках обробленої поверхні чи для всієї обробленої поверхні. На наш погляд, застосування того чи іншого виду критерію буде залежати від довжини оброблюваної поверхні, вимог до якості поверхні та методів її оцінки.

Для марківського ланцюга параметр (розмір, шорсткість) на i -й ділянці (деталі) буде визначатись, крім попереднього параметру, на $(i-1)$ -й ділянці або деталі, ще і перехідною функцією, тобто ймовірністю отримання i -го параметру. Якщо здійснюється обробка на, наприклад, токарних верстатах, то така перехідна функція буде визначатись точністю переміщення супорту з різцем, пружними коливаннями різальної кромки, зміною величини наросту на вершині різця, радіальними вібраціями деталі при обертанні шпинделя, коливаннями радіального розміру деталі, варіативністю механічних властивостей оброблюваного матеріалу деталі. При обробці плоских поверхонь фрезеруванням отриманий параметр буде визначатись пружними коливаннями оправки, коливанням радіального розміру фрези, вібраціями стола, який переміщується разом із заготовкою тощо. При дослідженні параметру від деталі до деталі необхідно додати неточність переміщення інструмента або стола в початкове положення, неточність набору глибини різання і т.ін. Таким чином, вид перехідної функції є досить складним і на сьогоднішній день невизначеним.

Таким чином, параметр R_i (розмір, шорсткість) на даній ділянці оброблюваної деталі буде визначатись його значенням на попередній ділянці R_{i-1} та матрицями переходу, які характеризують ймовірності перебування заготовки P_1 та інструмента P_2 в певних положеннях, досягання розміру інструменту певного значення P_3 , пружних коливань інструмента (заготовки) P_4 , тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Погоруй А. О. Вступ до теорії випадкових процесів : навчальний посібник / А. О. Погоруй, О. А. Чемерис – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2020. – 70 с.
2. Випадкові процеси: теорія, статистика, застосування : підручник / Ю. С. Мішура, К. В. Ральченко, Л. М. Сахно, Г. М. Шевченко. – 2-ге вид., випр. і допов. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2023. – 496 с.
3. В.М. Клименко, О.П Шиліна, А.Ю.Осадчук К 49 Технологія конструкційних матеріалів. / Частина третя. Основи механічної обробки матеріалів. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМВінниця, 2008. – 73 с.

Шостачук Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, викладач кафедри «Загально-технічні дисципліни», Житомирський агротехнічний фаховий коледж, Житомир, e-mail: vbnauka@i.ua

MARK'S PROCESSES IN METAL CUTTING

Abstract. They considered the existence of Markov processes in the mechanical processing of metals by cutting, when random variables are obtained as a result of processing - size and roughness. These variables are characterized by the following factors: the movements of the tool and work piece, their sizes, the rigidity and the oscillations of the system "machine-tool-fixture-tool-part", etc. With a known value of the random variable "obtained size" and "obtained roughness" and its normal distribution law, it can be expected that the sequence of the random variable size or roughness will be a Markov chain with some transition matrix.

Keywords: surface treatment, roughness, random variable, Markov process, transition function, discrete time.

Shostachuk Andrii, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, teacher of the Department of general technical disciplines, Zhytomir Agricultural Technical Professional College, Zhytomir, e-mail: vbnauka@i.ua

ПРО ВПЛИВ ПОЧАТКОВИХ НАПРУЖЕНЬ НА ШВИДКОСТІ ХВИЛЬ КРУЧЕННЯ У НЕСТИСЛИВОМУ КОМПОЗИТНОМУ МАТЕРІАЛІ ПРИ ПРОКОВЗУВАННІ ШАРІВ

Інститут механіки імені С.П. Тимошенка Національної академії наук України

Анотація

Отримано аналітичні залежності швидкостей поширення крутильних хвиль у нестисливому композитному матеріалі від початкових напружень для пружного потенціалу типу Бартенєва-Хазановича.

Ключові слова: шаруватий композитний нестисливий матеріал, початкові напруження, хвилі кручення, швидкості поширення симетричних і антисиметричних хвиль, пружний потенціал Бартенєва-Хазановича

Хвилі кручення (торсіонні хвилі) широко використовуються в неруйнівному контролі матеріалів завдяки їхній чутливості до дефектів і неоднорідностей. Основні переваги хвиль кручення - висока чутливість до дрібних тріщин, розшарувань, пустот і мікрodefektів. Хвилі кручення можуть поширюватись на великі відстані в матеріалі з мінімальними втратами, що дозволяє досліджувати важкодоступні ділянки. Торсіонні хвилі добре поширюються у циліндричних структурах: в стрижнях, трубах, дротах тощо. Хвилі кручення можуть краще виявляти локальні порушення або пошкодження в композитах. Хвилі кручення забезпечують високу точність діагностики при низьких частотах, що зменшує вплив шумів.

У даній роботі в рамках тривимірної лінеаризованої теорії пружності для тіл з початковими напруженнями [2] розглянуто задачу про поширення хвиль кручення у шаруватому нестисливому композитному матеріалі з початковими напруженнями.

Розглядається композитний нестисливий матеріал, що має періодичну структуру і складається з шарів двох типів, що чергуються. Для кожного типу шарів матеріали і початкові напружено-деформовані стани є однаковими. Початковий напружений стан шарів є однорідним і симетричним. Розглядається такий варіант контакту між шарами композитного матеріалу як повне проковзування. Хвилі поширюються вздовж шарів. Постановка задачі відповідає постановці, розглянутій в роботі [1]. Для розв'язку задачі використовується метод, викладений в монографії [3].

У розглянутому випадку для шаруватих композитних нестисливих матеріалів з початковими напруженнями вихідну задачу можна розділити на дві незалежні задачі: симетрична хвиля кручення (в кожному шарі $u_{\theta}^{(j)}$ симетричні відносно середини кожного шару), що поширюється уздовж вісі or' ; антисиметрична хвиля кручення (в кожному шарі $u_{\theta}^{(j)}$ антисиметричні відносно середини кожного шару), що поширюється уздовж вісі or' . У випадках симетричних та антисиметричних хвиль кручення при проковзуванні шарів композитного матеріалу дисперсійні рівняння можна розв'язати аналітично.

Для проведення аналізу конкретизуємо вигляд пружного потенціалу. Розглянемо закономірності впливу початкових напружень на швидкість поширення хвиль кручення в композитному матеріалі з пружним потенціалом типу Бартенєва-Хазановича [2].

Розрахунки проведені при початковому стані

$$S_{11}^{0(j)} = S_{22}^{0(j)} \neq 0; \quad S_{33}^{0(j)} = 0; \quad \lambda_1^{(j)} = \lambda_2^{(j)}; \quad h'^{(j)} = \lambda_3^{(j)} h^{(j)}; \quad j = 1, 2. \quad (1)$$

Тут $s_{ii}^{0(j)}$ - складові тензора узагальнених напружень Лагранжа, $h^{(j)}$, $h'^{(j)}$ - товщини j -го шару в природному і в початковому напружено-деформованому стані відповідно, $\lambda_i^{(j)}$ - коефіцієнти видовження уздовж відповідних вісей.

$$C_i^{(j)} = C_0^{(j)} \lambda_1^{(j)2} \sqrt{\frac{2}{\lambda_1^{(j)3} + 1}}; \quad C_0^{(j)} = \sqrt{\frac{\mu^{(j)}}{\rho^{(j)}}}; \quad i, j = 1, 2; \quad (2)$$

$$C_i^{(j)} = C_0^{(j)} \sqrt{\frac{2\lambda_1^{(j)2}}{\lambda_1^{(j)3} + 1} \left(\lambda_1^{(j)6} + \frac{4\pi^2 n^2}{k^2 h'^{(j)2}} \right)}; \quad (3)$$

$i = 3, 4; \quad j = 1, 2; \quad n = 0, 1, \dots$

$$C_i^{(j)} = C_0^{(j)} \sqrt{\frac{2\lambda_1^{(j)2}}{\lambda_1^{(j)3} + 1} \left(\lambda_1^{(j)6} + \frac{\pi^2 (1 + 2n)^2}{k^2 h'^{(j)2}} \right)}; \quad (4)$$

$i = 3, 4; \quad j = 1, 2; \quad n = 0, 1, \dots$

В формулах (2) - (4) k - хвильове число, $\mu^{(j)}$ - модуль зсуву, $\rho^{(j)}$ - щільність матеріалів в природньому стані для кожного з шарів.

Для симетричних хвиль кручення швидкості поширення будуть визначатися по формулам (2) і (3), для антисиметричних – по формулам (2) і (4).

Для довгохвильового наближення залежності величин швидкостей поширення симетричних і антисиметричних хвиль кручення від початкових напружень для кожного з шарів будуть визначатися формулами (2).

Швидкості розповсюдження хвиль кручення в кожному із шарів залежать від механічних параметрів матеріалу шару, товщини шару та початкових напружень

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Глухов А.Ю., Бабич С.Ю., Млавець Ю.Ю., Рейтій О.К. Хвилі кручення в шаруватих композитних нестиглих матеріалах з початковими напруженнями при проковзуванні шарів // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Математика і інформатика», 2024, том 4, № 2. - С. 164 – 171.
2. Гузь А. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями: в 2-х частях. Ч. 1. Общие вопросы. Волны в бесконечных телах и поверхностные волны. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2016. 501 с.
3. Гузь А. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями: в 2-х частях. Ч. 2. Волны в частично ограниченных телах. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2016. 505 с.

Глухов Андрій Юрійович, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу динаміки і стійкості суцільних середовищ, Інститут механіки імені С.П. Тимошенка Національної академії наук України, Київ, ndrew.gl@gmail.com

ON THE INFLUENCE OF INITIAL STRESSES ON THE PROPAGATION SPEEDS OF TORSIONAL WAVE IN A INCOMPRESSIBLE COMPOSITE MATERIAL WITH INTERLAYER SLIP

Abstract

Analytical dependences of the propagation velocities of torsional waves in an incompressible composite material on the initial stresses for the Bartenev-Khazanovich type elastic potential were obtained.

Key words: layered composite incompressible material, initial stresses, torsional waves, propagation speeds of symmetric and antisymmetric waves, Bartenev-Khazanovich elastic

Andrew Glukhov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Senior Research Fellow at Department of Dynamics and Stability Continuum, S.P. Timoshenko Institute of Mechanics of the NAS of Ukraine, Kiev, ndrew.gl@gmail.com

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМАЩЕННЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ ПОШАРОВОГО ЛОКАЛЬНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі розглянуто сучасний стан досліджень впливу наявності мастила та його характеристик на параметри процесу пошарового локального деформування листових заготовок. Визначено залежність шорсткості отриманої заготовки від в'язкості мастила.

Ключові слова: пошарове локальне деформування, змащення, листові заготовки.

Вступ

Одним із напрямів розвитку методів сучасного машинобудівного виробництва є індивідуалізація виробів. Розвиток методів обробки металів, що використовуються в одиничному та дрібносерійному виробництві дозволяє забезпечити конкурентну здатність підприємств. Одним з таких методів є процес пошарового локального деформування листових заготовок. Однією із задач, які ставлять дослідники при аналізі даного процесу є покращення характеристик процесу та якості готових виробів [1].

В роботі [2] наводяться результати дослідження впливу змащення на якість поверхні. Так в процесі пошарового локального деформування дослідниками було застосовано мастило TOTAL FINAROL B5746. Мастило було нанесено на листові заготовки по поверхні руху інструменту. При проведенні повторних досліджень мастило проходило очищення, для уникання потрапляння часток матеріалу в зону контакту інструменту та заготовки. Мастило наносилося для зменшення шорсткості поверхні готової деталі, для зменшення зносу інструменту, покращення теплового режиму роботи, за рахунок зменшення виділення тепла при терті інструмента по заготовці та згладжування руху інструменту по траєкторії.

Після закінчення процесу деформування листової заготовки проводились дослідження параметрів шорсткості за допомогою профілометра Hommelwerke T1000. в результаті досліджень виявлено, в'язкість мастила впливає на якість отриманої поверхні. Так мастило з високою в'язкістю забезпечує меншу шорсткість для більш м'яких матеріалів і навпаки [3].

Зменшення зусиль в процесі деформування є одним із головних напрямів покращення економічності процесу деформування заготовок. Для процесу пошарового локального деформування листових заготовок визначення впливу мастила на зменшення сил деформування також є однією із головних задач.

В роботі [4] проведено дослідження впливу змащення на вертикальні та горизонтальні складові сил формоутворення. За результатами аналізу результатів дослідникам не вдалось встановити прямої залежності між зусиллям та типом змащення. Іншими дослідниками [5,6] також не виявлено значного впливу типу та в'язкості мастила на силові характеристики процесу пошарового локального деформування. При цьому треба пам'ятати, що відмова від застосування мастила в процесі деформування листових заготовок призводить до критичного потоншення матеріалу заготовки та її руйнування.

Висновки

За результатами аналізу сучасного стану досліджень впливу наявності мастила та його характеристик на параметри процесу пошарового локального деформування листових заготовок виявлено залежність в'язкості мастила та шорсткості отриманої заготовки. При цьому

суттєвого впливу наявності мастила на силові характеристики процесу деформування не виявлені.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kim Y.-H. Effect of process parameter incremental forming sheet metal / Y.-H.Kim , J.-J. Park, // Journal of Materials Processing Technology. 2002. – Volumes 130–131. – pp. 42-46.
2. Azevedo N.G. Lubrication aspects during single point incremental forming for steel and aluminum materials / N.G. Azevedo, J.S. Farias, R. Pereira Bastos, P. Teixeira, J.P. Davim, R.J. Alves De Sousa // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. – v. 16. – 2015. – pp. 589-595, <https://doi.org/10.1007/s12541-015-0079-0>
3. Van V. M. Effect of Lubrication on Deforming the Aluminum Sheet with Two Points Incremental Forming Technology / V. M.Van, N.T. Thinh, S. L. Van // In Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Material, Machines and Methods for Sustainable Development (MMMS2020), Nha Trang. – Vietnam. – 2020. – pp. 975–982.
4. Martínez-Romero, O. Study of Friction and Wear Effects in Aluminum Parts Manufactured via Single Point Incremental Forming Process Using Petroleum and Vegetable Oil-Based Lubricants / O. Martínez-Romero, A. Elías-Zúñiga, H.M.L. Gutiérrez, A.E.-d.l. Vega, J. Taha-Tijerina // Materials. – 2021. –v. 14. – P. 16.
5. Li W. A novel tool to enhance the lubricant efficiency on induction heat-assisted incremental sheet forming of Ti-6Al-4 V sheets / W. Li, K. Essa, S. Li // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2022. – v. 120. – pp. 8239–8257.
6. Li, W.; Shu, C.; Hassan, A.; Attallah, M.M.; Essa, K. Application of machine learning on tool path optimisation and cooling lubricant in induction heating-assisted single point incremental sheet forming of Ti-6Al-4V sheets / W. Li, C. Shu, A. Hassan; M.M. Attallah, K.Essa // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2022. – v. 123. – pp. 821–838.

Баранов Владислав Анатолійович — аспірант, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 1tt.17b.baranov@gmail.com

Сухоруков Сергій Іванович — канд. технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF LUBRICATION ON THE CHARACTERISTICS OF THE PROCESS INCREMENTAL SHEET FORMING.

Abstract

The paper examines the current state of research into the influence of lubricant presence and its characteristics on the parameters of the process incremental sheet forming. The dependence of the surface roughness of the resulting blank on the viscosity of the lubricant is determined.

Keywords: incremental metal forming, lubrication, sheet blank.

Baranov Vladyslav A. – PHD student of the Department of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 1tt.17b.baranov@gmail.com

Sukhorukov Sergiy I. – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ВПЛИВ ЛОКАЛЬНОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛИСТОВИХ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЇХ ПЛАСТИЧНІСТЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі представлено огляд сучасних досліджень щодо впливу локальних мікроструктурних неоднорідностей на пластичність листових металевих матеріалів. Розглянуто основні типи неоднорідностей — зони без преципітатів, текстурна анізотропія, фазова неоднорідність та залишкові напруження — і проаналізовано механізми формування «слабких» зон. Узагальнено експериментальні дані та встановлено величину впливу неоднорідностей на локальну граничну пластичну деформацію.

Ключові слова: пластична деформація, зони без преципітатів, PFZ; текстурна анізотропія; фазова неоднорідність; залишкові напруження.

Листові металеві матеріали відіграють ключову роль в авіаційній, автомобільній та машинобудівній промисловості завдяки високій відносній міцності та добрій пластичності. Класичні теоретичні моделі передбачають однорідні властивості зразка. Проте експериментальні дослідження показують, що навіть незначні локальні неоднорідності можуть суттєво впливати на граничну пластичну деформацію та призводити до передчасного утворення тріщин і руйнування [1, 2].

Основними типами неоднорідностей, які впливають на пластичність матеріалів є наступні:

1) Зони без преципітатів (Precipitate-Free Zones, PFZ). Механізм їх впливу полягає в тому, що в околі між зернами осаджувальні преципітати (Al_2Cu , Mg_2Si) не формуються або їхня щільність значно знижена, тому ці «порожні» смужки мають менший опір руху дислокацій, що призводить до локального зниження межі текучості та ϵ_u на 30–40 % порівняно з матрицею та пришивдшеній ініціації тріщин [3].

2) Текстурна анізотропія проявляється в переважній кристалографічній орієнтації, яка набута під час прокатки, та призводить до зміни активності ковзних систем залежно від напрямку навантаження. Результатом цього може бути різниця ϵ_u до 30 % при навантаженні вздовж і впоперек прокатного напрямку (див. таблицю 1) [4].

3) Фазова неоднорідність може бути представлена у вигляді різних за пластичністю та міцністю сусідніх ділянок. Її результатом є локальне зниження інтенсивності деформацій ϵ_u у твердих «острівцях» до ≈ 5 % проти 15 % у м'якій зоні, формування двоетапного утворення тріщин [5].

4) Неметалічні включення та пористість. Включення (оксиди, сульфід) та мікропори є концентраторами напружень, що ускладнює рух дислокацій та погіршує пластичність. Результатом їх наявності є зародження мікротріщин при $\epsilon \approx 2$ –3% в околі включення, загальне гранична деформація ϵ_u падає на 10–20 % [6].

5) Залишкові напруження. Нерівномірне охолодження чи нагрівання під час виготовлення листових матеріалів в процесі зварювання, старіння чи відпуску призводять до появи залишкових напружень до 100–150 МПа. Локальні залишкові напруження додаються до зовнішнього навантаження, знижує граничну пластичну деформацію ϵ_u у термічній зоні впливу на 40–50 % [7].

6) Дислокаційні скупчення та кластери. Під час пластичної деформації утворюються локальні зони високої густини дислокацій (кластери), що ділять зерна на «підзерна», такі зони мають підвищену міцність, але знижують однорідність деформації, що може сприяти її локалізації [8].

7) Градієнт зерен (зонаваний розмір зерен). Нерівномірний розподіл розміру зерен по товщині листа (фракційна зона) створює різні за міцністю і пластичністю ділянки, а градієнт властивостей сприяє локалізації деформації на межі переходу.

8) Хімічна неоднорідність (легування). Нерівномірний розподіл легуючих елементів (Ni, Cr, Mo) у сталі чи Al-сплавах створює локальні варіації $\sigma_{0.2}$ і ϵ_u , що ускладнює прогнозування властивостей [9] та підвищує варіативність .

Вплив різних типів неоднорідностей на пластичність матеріалу, за літературними джерелами [4–7], наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вплив неоднорідностей матеріалу на локальне значення пластичної деформації

Матеріал	Тип неоднорідності	Середнє значення граничної деформації по зразку ϵ_u , %	Локальне значення граничної деформації в зоні неоднорідності ϵ_u , %	Відносна зміна граничної деформації, %
Al 2024-T6	PFZ	17,5	11,3	34,5
Al 6016	Текстурна	18,0	11,0	39
DP980	Фазова	13,4	9,1	32
Al 6061-T6	Залишкові напруження	15,8	9,1	42

Експериментальні дослідження, зокрема метод цифрової кореляції зображень (DIC), дозволяють виявити зони локалізації деформації та оцінити вплив неоднорідностей на граничну деформацію. Чисельне моделювання з використанням методу скінчених елементів (FEM) та врахуванням стохастичних полів властивостей дозволяє прогнозувати поведінку матеріалу під навантаженням з урахуванням реальних неоднорідностей. Водночас ці методи або реєструють факт локалізації (DIC), або прогнозують для заданих умов один із можливих варіантів структури і властивостей, але не відповідають на запитання про ризики виготовлення чи експлуатації виробів.

Висновки

- 1) Критичність локальної неоднорідності. Наведені типи мікроструктурних неоднорідностей — PFZ, текстурна анізотропія, фазова неоднорідність, включення, залишкові напруження, дислокаційні кластери, градієнт зерен та хімічна гетерогенність — здатні знижувати граничну пластичну деформацію ϵ_u на 30–50 % у локальних зонах порівняно із середнім по зразку значенням.
- 2) Механізми локалізації. Усі перераховані фактори об'єднує спільний механізм: вони створюють ділянки зі знизеним опором руху дислокацій або з підвищеним напруженим градієнтом, що ініціює раннє мікротріщиноутворення.

Список використаної літератури

1. Uchic M. D., Dimiduk D. M., Florando J. N., Nix W. D. Sample dimensions influence strength and crystal plasticity // *Science*. — 2004. — Vol. 305. — P. 986–989. <https://doi.org/10.1126/science.1098993>
2. Сивак Р.І., Матвійчук В.А., Грушко О.В. Немонотонна пластична деформація в процесах обробки металів тиском. – Вінниця: ВНАУ, 2022. – 202 с.
3. Esmaili S., Lloyd D. J., Poole W. J. Modeling the evolution of precipitates during aging of Al–Mg–Si alloys // *Acta Materialia*. — 2003. — Vol. 51, № 17. — P. 5565–5578. [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(03\)00426-6](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(03)00426-6)
4. Pohl M., Starke P., Eggeler G. Texture and anisotropy of plastic properties in aluminum alloys // *Materials Science Forum*. — 1991. — Vol. 157–162. — P. 887–892. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.157-162.887>
5. Kahn H., Yao Y. L., Anderson R. Strain localization in dual-phase steels // *Scripta Materialia*. — 2001. — Vol. 45, № 6. — P. 653–660. [https://doi.org/10.1016/S1359-6462\(01\)01105-5](https://doi.org/10.1016/S1359-6462(01)01105-5)
6. Jin X., Edwards P. D., Khan T. Mechanical response of friction stir spot welded aluminum alloys under tension // *Journal of Materials Processing Technology*. — 2022. — Vol. 302. — P. 117486. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117486>
7. Chen Y. C., Nakata K. Effect of welding parameters on mechanical properties and microstructure of aluminum alloy 6061-T6 joined by friction stir welding // *Materials & Design*. — 2009. — Vol. 30, № 9. — P. 3363–3369. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.07.063>
8. Bellón B., Haouala S., LLorca J. An analysis of the influence of precipitate type on mechanical behavior of Al–Cu alloys by means of micropillar compression tests // *Acta Materialia*. — 2020. — Vol. 200. — P. 233–245. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2020.08.039>
9. Zubair M., Hegadekotte V., Zaefferer S. Stochastic modeling of flow behavior in heterogeneously structured metals // *Computational Materials Science*. — 2019. — Vol. 167. — P. 178–186. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2019.05.009>

Савуляк Віктор Валерійович – к.т.н., доцент кафедри технології та автоматизації машинобудування. Вінницький національний технічний університет, e-mail: vvs_81@vntu.edu.ua

Білосточний Володимир Олександрович – аспірант кафедри технології та автоматизації машинобудування. Вінницький національний технічний університет

INFLUENCE OF LOCAL INHOMOGENEITY OF THE PROPERTIES OF SHEET METAL MATERIALS ON THEIR PLASTICITY

Abstract

The paper presents a review of modern research on the influence of local microstructural inhomogeneities on the plasticity of sheet metal materials. The main types of inhomogeneities are considered - zones without precipitates, textural anisotropy, phase inhomogeneity and residual stresses - and the mechanisms of formation of "weak" zones are analyzed. Experimental data are summarized and the magnitude of the influence of inhomogeneities on local ultimate plastic deformation is established.

Keywords: *plastic deformation, zones without precipitates, PFZ; textural anisotropy; phase inhomogeneity; residual stresses.*

Savulyak Victor V. — **Associated Professor, Ph.D., Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vvs_81@vntu.edu.ua**

Bilostechny Volodymyr O. – *Postgraduate student, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia*

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ПОЕТАПНОГО ГНУТТЯ ТОНКОЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проаналізовано різні способи отримання профільованої заготовки з тонколистового металу. Встановлено, що використання поетапного однокутового вільного згинання заготовки розширює можливості роботи з великим розмаїттям деталей і зменшує час переналаштування виробничих умов під різні профілі деталей.

Ключові слова: поетапне гнуття, тонколистова заготовка, пластичність, виробниче устаткування

В сучасному виробництві для отримання профільованих деталей з тонколистового металу широко застосовують процеси поетапного гнуття. Останнє є технологічно простим і дає змогу використовувати листозгинальні преси як з числовим програмним управлінням так і без нього, використовуючи матриці та пуансони відповідної форми [1].

Прорахунок, підбір технологічних переходів та проектування виробничої оснастки для поетапного гнуття заготовок необхідного профілю виконують за рекомендаціями довідника [2]. При цьому важливо враховувати пружинення матеріалу та коректувати внутрішній радіус згину на деталі, перевірити чи не є радіус гнуття меншим, ніж гранично допустимий для матеріалу, що використовують [3]. Відомі роботи, що пропонують технологічні прийоми, які зменшують силу деформуючої операції [4], але вони мають обмежене застосування.

Фахівці стикаються з рядом проблем, дві основні з яких можна назвати проектувальною та перевірковою. Зазвичай, основним документом, що лежить в основі розробки технології, є креслення деталі з вказівкою на технічні вимоги. Проектувальна проблема полягає у визначенні переходів гнуття, бо саме розрахунок цих переходів супроводжується розробкою технологічної оснастки, де враховуються габаритні розміри пуансону та матриці і необхідні зусилля [5]. Володіючи даними про габаритні розміри необхідного пуансону та матриці та обравши максимальне зусилля, необхідне для формозміни листової заготовки, обирають пресове устаткування з певним запасом на технологічні невідповідності.

У сучасних умовах розвитку машинобудування та інших галузей часто зустрічається друга проблема – перевірна [3]. Після отримання технічних креслень деталі технологи повинні перевірити можливість виготовлення на існуючому устаткуванні виробництва. Це потребує розробки технологічного алгоритму операцій, адаптованих до наявної оснастки з можливістю швидкої адаптації до нового виробу.

Метою статті є аналіз технологічного варіанту поетапного однокутового вільного згинання тонколистової заготовки з використанням пуансону та V-подібної матриці для виготовлення дрібної серії профільованих деталей.

В основі розробок були покладені потреби адаптувати технологію формоутворення деталі «Лопать» (рис.1, складальна одиниця вальця механізму подачі зерносушарки) шляхом поетапного однокутового вільного згинання заготовки до технологічної оснастки виробництва.

Вільне згинання листів металу реалізується на листозгинальному верстаті. Лист під тиском пуансона (верхнього згинального інструменту) вдавлюється в "струмок" матриці, що має V-форму. Фактично згинання за цього способу виконується за трьома точками, коли лист стикається з пуансоном, що формує лінію згину, і з краями "струмка" нижнього інструменту – матриці. Між листом і дном "струмка" залишається повітряний простір, тому такий вид згинання називають "вільним".

Зазвичай таке згинання металу пресом застосовується при виконанні замовлень на одиничні та дрібні серії, оскільки інші методи потребують великого часу для переналагодження лінії, що скорочує можливість роботи з великим розмаїттям деталей і збільшує ймовірні терміни переходу від випуску

однієї деталі до іншої. Відповідно, більш легке налагодження між різними деталями проводиться, якщо це поетапне однокутове вільне згинання тонколистового металу.

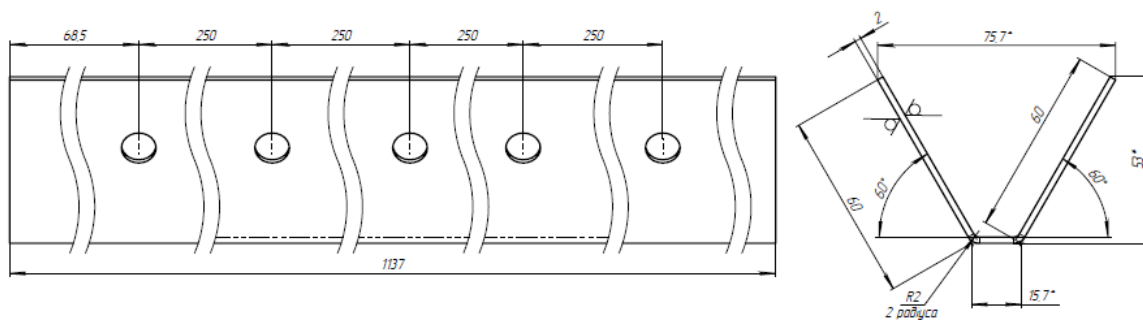


Рис. 1 – Деталь «Лопать».

У цьому разі обладнання для згинання заготовки - це верстат із числовим програмним керуванням. Зміна інструментів для згинання (пуансонів або матриць), а також завантаження нових програм згинання може займати лічені хвилини, що дає змогу практично миттєво переходити від одного виробу до зовсім іншого, причому не тільки за геометричною формою, а й за товщиною металу.

В результаті проведеного аналізу можна відзначити, що поетапне однокутове вільне згинання заготовки є маловитратним технологічним рішенням, за допомогою якого можна швидко адаптувати виробниче устаткування до потрібного профілю виробу.

Проаналізовано всі переваги та недоліки поетапного однокутового вільного згинання заготовки в умовах наявного технологічного обладнання та оснастки на підприємстві для забезпечення умов по зниженню зусилля формозміни заготовки. Обраний спосіб згинання, отримав свою назву від того факту, що деталь, яку обробляють, фактично не торкається деталей інструменту повністю, що зменшує вплив сил тертя на заготовку. За рахунок цього формування деталі забезпечується мінімальним зусиллям прикладеним до пуансона.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Pahole I. Bending of sheet metal of complicated shapes (for 90° angle and more) in combined tools / I. Pahole, S. Bonifarti, M. Ficko, O. Vaupotic // *Journal of achievements of materials and manufacturing engineering*. – Vol. 16, Issue 1-2, 2006. – P. 88–93.
2. Рудман Л.И. Справочник по оборудованию для листовой штамповки / Л.И.Рудман, А.И. Зайчук, В.Л. Марченко и др.; под ред. Л.И. Рудмана. – К.: Техника – 1989. – 231с.
3. Олексин В. І. Правила проектування деталей із листового металу / В.І. Олексин, В.М. Рагулин // «Розбудова і відновлення машинобудівного комплексу України» – 2023: збірник тез міжнародної конференції. ХНАДУ. Харків: ХНАДУ. – 2023. – С. 182–183.
4. Сатонин А.В. Методика, обладнання і результати експериментального дослідження процесу формування обичайок на листозгинальних машинах / А.В. Сатонин, А.Н. Филипських, А.Н. Завгороний // *Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки металом тиском матеріалів у машинобудуванні: зб. наук. пр.* – Луганськ: вид-во СНУ ім.Дала. – 2011. – С. 253–257.
5. Cao J. Manufacturing of advanced smart tooling for metal forming / J. Cao, E. Brinksmeier, M. Fu and other // *CIRP Annals* – 2019. - Vol. 68. – P. 605–628.

Молодецька Тетяна Ігорівна к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, molodetska.tanya@ukr.net

FEATURES OF THE PROCESS OF STAGE BENDING OF THIN SHEET METAL BILLETS

Abstract

The paper analyses various methods of producing a profiled billet from thin sheet metal. It is established that the use of stepwise single-angle free bending of the workpiece expands the possibilities of working with a wide variety of parts and reduces the time for reconfiguring production conditions for different part profiles.

Keywords: stage bending, thin sheet metal, plasticity, production equipment

Molodetska Tatyana Igorivna, candidate of engineering sciences, docent, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, molodetska.tanya@ukr.net

АНАЛІЗ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ МЕТАЛУ ПРИ КУВАННІ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Анотація

У роботі представлено результати аналізу процесу перерозподілу металу під час вільного кування колінчастого валу із застосуванням інструмента типу перетискача. Проведено комп'ютерне моделювання процесу деформації при різних ступенях деформації в зоні перетиску. Розглянуто вплив впровадження інструмента "перетискач" на формозміну заготовки. Результати дослідження демонструють можливість цілеспрямованого формоутворення шатунної щоки шляхом керованого переміщення металу.

Ключові слова: кування, колінчастий вал, деформація, перетискач, інструмент, формозміна.

Вступ

Колінчастий вал є однією з найвідповідальніших деталей двигуна внутрішнього згорання, яка працює в умовах складних навантажень [1]. Якість його виготовлення безпосередньо впливає на довговічність та ефективність роботи двигуна. Одним із перспективних напрямів удосконалення технології формування таких деталей є використання методу вільного кування з попереднім локальним перерозподілом металу в заготовці [2].

Застосування перетискача на етапі попереднього формування забезпечує цілеспрямоване переміщення металу в зону щоки колінчастого валу, що покращує геометричну відповідність заготовки.

Результати дослідження

У ході дослідження було проведено комп'ютерне моделювання процесу вільного кування заготовки колінчастого валу з використанням інструмента типу перетискача. Було розглянуто вплив ступеня деформації в зоні формування щоки на характер перерозподілу металу при значеннях $E = 0\%$, 20% , 30% і 40% . При $E = 0\%$ форма заготовки залишалася незмінною, без локального переміщення металу. Зі зростанням ступеня деформації до 20% відбувається формування заглиблення в центральній зоні з частковим переміщенням металу вбік. При 30% формується виразна щока з рівномірним розподілом об'єму металу, що свідчить про ефективне формоутворення. При 40% спостерігається інтенсивне зміщення металу та формування щоки колінчастого валу.

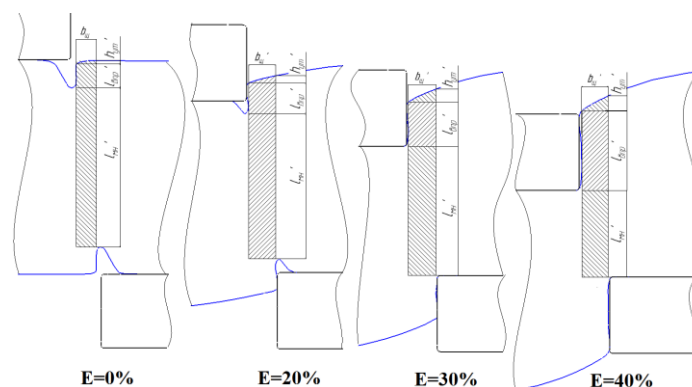


Рис. 1. Аналіз перерозподілу об'єму металу з різним ступенем деформації

Висновки

Результати моделювання підтверджують ефективність застосування перетискача як інструмента для локального перерозподілу металу під час вільного кування колінчастого валу. Зі збільшенням ступеня деформації спостерігається посилення формоутворення щоки заготовки та активне переміщення металу в суміжні зони. Найбільш виразна геометрія щоки досягається при ступені деформації 30–40%, що свідчить про можливість гнучкого керування формою заготовки залежно від вимог до готової деталі. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення технології вільного кування та покращення точності формування колінчастих валів

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дубовик С.І., Новіков В.П. Основи технології машинобудування. – К.: Наука і техніка, 2006. – 456 с.
2. Altan T., Ngaile G., Shen G. Cold and Hot Forging: Fundamentals and Applications. – ASM International, 2005. – 499 p.

Палієнко Володимир Олексійович — аспірант кафедри КМІТ, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, e-mail: mustmix13@gmail.com

Чухліб В.Л. — д.т.н., проф., завідувач кафедри КМІТ, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Analysis of metal redistribution during crankshaft forging

Abstract

The paper presents the results of analyzing the process of metal redistribution during free crankshaft forging using a clamp-type tool. The computer modeling of the deformation process at different degrees of deformation in the clamping zone was carried out. The influence of the introduction of the “clamp” tool on the workpiece deformation is considered. The results of the study demonstrate the possibility of purposeful forming of the connecting rod cheek by controlled metal movement.

Keywords: forging, crankshaft, deformation, clamp, tool, shape change.

Palienko Volodymyr V. — PhD student, Department of KMIT, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, e-mail: mustmix13@gmail.com

Chukhlib V. — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of KMIT, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine

ЧИСЕЛЬНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТРИШАРОВІЙ ЦИЛІНДРИЧНІЙ ОБОЛОНЦІ ЕЛІПТИЧНОГО ПЕРЕРІЗУ З РЕБРИСТИМ НАПОВНЮВАЧЕМ НА ОСНОВІ ГІПОТЕЗИ ЛАМАНОЇ ЛІНІЇ

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

Анотація

Дано постановку і розроблено методику чисельного розв'язання нестационарних динамічних задач для тришарової циліндричної оболонки еліптичного поперечного перерізу з дискретним ребристим наповнювачем. Запропонована методика базується на використанні гіпотези ламаної лінії, співвідношень теорії Тимошенка, варіаційно-різницевого методу та явної скінченно-різницевої апроксимації за часом. Отримано конкретні числові результати для оболонок даного класу за дії імпульсного навантаження.

Ключові слова: тришарова циліндрична оболонка, еліптичний поперечний переріз, ребристий наповнювач, гіпотеза ламаної лінії, динамічне навантаження, чисельна методика.

На теперішній час для розрахунку шаруватих анізотропних структур застосовують два підходи. В першому підході використовуються теорії, при розробці яких кінематичні гіпотези застосовуються до кожного шару окремо. При побудові теорій другого підходу розв'язувальні рівняння отримуються із залученням гіпотез до всього пакету шарів в цілому. Згідно термінології, запропонованій автором статті [1], теоріям першого підходу дано назву дискретно-структурних, а другого – неперервно-структурних.

В даній роботі на основі дискретно-структурного підходу розроблена чисельна методика розрахунку тришарових циліндричних оболонок еліптичного поперечного перерізу з дискретним ребристим наповнювачем за дії нестационарних динамічних навантажень. Неоднорідна тришарова пружна структура складається з внутрішньої та зовнішньої обшивок, які жорстко з'єднані між собою системою поздовжніх і поперечних ребер. Величини для внутрішньої і зовнішньої обшивок позначаються індексами (1) і (2) зверху, а для поздовжніх і поперечних ребер наповнювача – (i) та (j) знизу. Віднесемо оболонку до криволінійної ортогональної системи координат (α_1, α_2, z) , спряженої з лініями головних кривин.

За незалежні змінні приймемо переміщення серединних поверхонь внутрішньої і зовнішньої обшивок та кути повороту їх нормалей $u_1^{(1)}, u_2^{(1)}, u_3^{(1)}, \varphi_1^{(1)}, \varphi_2^{(1)}, u_1^{(2)}, u_2^{(2)}, u_3^{(2)}, \varphi_1^{(2)}, \varphi_2^{(2)}$.

Враховуючи кінематичні умови контакту обшивок і ребер наповнювача, виразимо узагальнені переміщення i-го поздовжнього ребра $u_{1i}(\alpha_1), u_{2i}(\alpha_1), u_{3i}(\alpha_1), \varphi_{1i}(\alpha_1), \varphi_{2i}(\alpha_1)$ через незалежні змінні:

$$\begin{aligned}
 u_{1i}(\alpha_1) &= \frac{1}{2} [u_1^{(1)}(\alpha_1, \alpha_{2i}) + u_1^{(2)}(\alpha_1, \alpha_{2i})] + \frac{1}{4} [h^{(1)} \varphi_1^{(1)}(\alpha_1, \alpha_{2i}) - h^{(2)} \varphi_1^{(2)}(\alpha_1, \alpha_{2i})]; \\
 u_{2i}(\alpha_1) &= \frac{1}{2} [u_2^{(1)}(\alpha_1, \alpha_{2i}) + u_2^{(2)}(\alpha_1, \alpha_{2i})] + \frac{1}{4} [h^{(1)} \varphi_2^{(1)}(\alpha_1, \alpha_{2i}) - h^{(2)} \varphi_2^{(2)}(\alpha_1, \alpha_{2i})]; \\
 \varphi_{1i}(\alpha_1) &= \frac{1}{h_i} [u_1^{(2)}(\alpha_1, \alpha_{2i}) - u_1^{(1)}(\alpha_1, \alpha_{2i})] + \frac{1}{2h_i} [h^{(1)} \varphi_1^{(1)}(\alpha_1, \alpha_{2i}) + h^{(2)} \varphi_1^{(2)}(\alpha_1, \alpha_{2i})]; \\
 \varphi_{2i}(\alpha_1) &= \frac{1}{h_i} [u_2^{(2)}(\alpha_1, \alpha_{2i}) - u_2^{(1)}(\alpha_1, \alpha_{2i})] + \frac{1}{2h_i} [h^{(1)} \varphi_2^{(1)}(\alpha_1, \alpha_{2i}) + h^{(2)} \varphi_2^{(2)}(\alpha_1, \alpha_{2i})];
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$u_{3i}(\alpha_1) = u_3^{(1)}(\alpha_1, \alpha_{2i}) = u_3^{(2)}(\alpha_1, \alpha_{2i}) \quad (i = 1, 2, \dots, I).$$

Аналогічно записуються вирази для узагальнених переміщень j -го поперечного ребра.

Деформування обшивок і елементів наповнювача будемо описувати співвідношеннями теорії, яка враховує деформації поперечного зсуву (модель Тимошенка) [2, 3].

Система розв'язувальних рівнянь отримана з варіаційного принципу Гамільтона–Остроградського [2]:

$$\int_{t_1}^{t_2} [\delta(\Pi - K) - \delta A] dt, \quad (2)$$

де Π, K – потенціальна і кінетична енергії обшивок і ребристого наповнювача; A – робота зовнішніх сил.

При розв'язанні конкретних динамічних задач дана система доповнюється відповідними крайовими і початковими умовами.

Запропонована чисельна методика розв'язання рівнянь коливань тришарової циліндричної оболонки еліптичного поперечного перерізу з дискретним ребристим наповнювачем за дії нестационарного навантаження базується на застосуванні варіаційного векторно-різницевого методу при побудові різницевих співвідношень за просторовими координатами та явній скінченно-різницевої апроксимації за часовою координатою [2, 3].

З використанням розробленої методики і складених програм досліджено вплив геометричних і механічних параметрів обшивок та жорсткостей ребристого наповнювача на хвильові процеси в оболонках даного класу за дії імпульсного поверхневого навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Piskunov V.G. An iterative analytical theory in the mechanics of layered composite systems // Mech. Compos. Mater. – 2003. – 39, N 1. – P. 1–16.
2. Головки К.Г., Луговой П.З., Мейш В.Ф. Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках / Под ред. акад. НАН Украины А.Н. Гузя. – К.: Изд.-полиграф. центр «Киевский ун-т», 2012. – 541 с.
3. Максимюк В.А., Сторожук Е.А., Чернышенко И.С. Вариационно-разностные методы в линейных и нелинейных задачах деформирования оболочек из металлических и композитных материалов (обзор) // Прикл. механика. – 2012. – 48, №6. – С. 3–80.

Лисенко Анна Володимирівна, молодший науковий співробітник, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ, aniutapavliuk@gmail.com.

Сторожук Євген Анатолійович, член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор, заступник завідувача відділу, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ, stevan@ukr.net.

NUMERICAL METHOD OF STUDYING DYNAMIC PROCESSES IN A THREE-LAYER CYLINDRICAL SHELL OF ELLIPTICAL SECTION WITH RIBBED FILLER BASED ON THE HYPOTHESIS OF A BROKEN LINE

Abstract

A formulation is given and a method for numerically solving unsteady dynamic problems for a three-layer cylindrical shell of elliptical cross-section with a discrete ribbed filler is developed. The proposed method is based on the use of the broken line hypothesis, the relations of the Timoshenko theory, the variational-difference method, and the explicit finite-difference approximation in time. Specific numerical results are obtained for shells of this class under the action of an impulse load.

Key words: *three-layer cylindrical shell, elliptical cross-section, ribbed filler, broken line hypothesis, dynamic load, numerical method.*

Anna Lysenko, Junior Researcher, S.P. Tymoshenko Institute of Mechanics of NAS of Ukraine, Kyiv, aniutapavliuk@gmail.com.

Evgen Storozhuk, Corresponding Member of NAS of Ukraine, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Deputy Head of the Department, S.P. Tymoshenko Institute of Mechanics of NAS of Ukraine, Kyiv, stevan@ukr.net.

РОЗПІЗНАВАННЯ РУХІВ ОЧЕЙ НА ОСНОВІ БІОЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті описано систему моніторингу рухів очей, яка використовує сенсор QVar LSM6DSV16X для збору та обробки сигналів. Система, заснована на проєкті VitalCore, забезпечує ефективне розпізнавання рухів очей за допомогою фільтра Савіцького-Голя та нейронних мереж, з мінімальним енергоспоживанням.

Ключові слова: система моніторингу, рухи очей, сенсор QVar, VitalCore, нейронні мережі, фільтр Савіцького-Голя, енергоспоживання, розпізнавання сигналів, акселерометр, гіроскоп.

Abstract

The article describes an eye movement monitoring system that uses the QVar LSM6DSV16X sensor for signal acquisition and processing. The system, based on the VitalCore project, provides efficient eye movement recognition using the Savitsky-Golay filter and neural networks, with minimal power consumption.

Keywords: monitoring system, eye movement, QVar sensor, VitalCore, neural networks, Savitsky-Golay filter, power consumption, signal recognition, accelerometer, gyroscope.

Вступ

У сучасних системах для моніторингу рухів очей важливу роль відіграють точність та ефективність збору і обробки сигналів. Одним з основних завдань є використання енергоефективних технологій для збору та обробки даних у реальному часі. Для досягнення цієї мети, у даній роботі використано сенсор QVar LSM6DSV16X, який поєднує функції акселерометра та гіроскопа і має можливість виконувати попередню обробку сигналів. Система на основі відкритого проєкту VitalCore дозволяє реалізувати високу точність розпізнавання рухів очей при мініальному енергоспоживанні.

Результати дослідження

Для збору сигналів використовується сенсор QVar LSM6DSV16X[1] від STMicroelectronics, який поєднує функції акселерометра та гіроскопа, а також має можливість попередньої обробки сигналів безпосередньо на пристрої. Завдяки вбудованому підсилювачу, цей датчик може виявляти слабкі електричні сигнали, що виникають під час рухів очей. Сенсор оснащений двома електродами, які зчитують сигнали, підсилюють їх і передають мікроконтролеру в цифровому форматі. Хоча датчик характеризується низьким енергоспоживанням, його повна активація може вимагати до 650 мкА. Вся система побудована на основі відкритого проєкту VitalCore[2], що забезпечує відтворюваність і можливість масштабування для подальших досліджень. Як показано на рисунку 1, архітектура включає три основні компоненти: VitalCore, VitalPack та сенсор QVar.



Рисунок 1 : Блок-схема системи.

Основним елементом системи є VitalCore — відкритий проєкт, розроблений спеціально для застосувань, що потребують мінімального енергоспоживання. Ця платформа використовує мікросхему NRF534. Для виконання більш інтенсивних обчислювальних задач застосовується модуль

VitalPack, який містить чип GAP9 від Greenwaves. Це енергоефективний мікроконтролер, здатний виконувати штучний інтелект безпосередньо на пристрої (периферії системи). VitalPack має шість каналів підключення, що забезпечує високу гнучкість системи та дає змогу експериментувати з різними розташуваннями електродів.

VitalCore обмінюється даними з VitalPack за допомогою механізму прямого доступу до пам'яті (DMA) та FIFO-буферів, що оптимізує використання енергії. VitalPack отримує дані від QVar, фільтрує їх і передає VitalCore, який формує фіксовані часові вікна, які знову передаються на VitalPack для розпізнавання. Результати розпізнавання повертаються до VitalCore для подальшого використання.

Для розробки простого алгоритму, здатного розпізнавати рухи очей і працювати на малопотужному процесорі, використано фільтр Савіцького-Голя[3] і згорткову нейронну мережу (CNN)[4]. Отримані сигнали розбиваються на невеликі вікна, які потім стандартизуються і згладжуються за допомогою фільтра Савіцького-Голя[3].

$$y_i = \sum_{j=-m}^m c_j * y_{i+j} \quad 1$$

де y_i — згладжене значення в точці i , y_{i+j} — вхідні значення в вікні шириною $2m+1$, c_j — коефіцієнти фільтра (вони залежать від порядку полінома та розміру вікна), m — кількість точок ліворуч і праворуч від центральної точки (тобто розмір вікна: $2m+1$).

Оброблені дані передаються до нейронної мережі CNN для розпізнавання. Архітектура мережі складається з кількох етапів. Першим компонентом є вхідний шар, який приймає дані у вигляді часових вікон з п'ятьма каналами, що відповідають різним сенсорам. Далі слідує чотири згорткові шари (1D Convolutional Layers), кожен з яких має 64 фільтри та розмір ядра 7. Після згорткових шарів йдуть транспоновані згорткові шари (Transposed Convolutional Layers) з 64 фільтрами та ядром розміру 7 на 7 каналів. Наступний етап — шар вирівнювання (Flatten Layer), який перетворює багатовимірні дані в один вектор, підготовлюючи їх до подальшої обробки в повнозв'язному шарі. Потім дані передаються до повнозв'язного шару (Fully Connected Layer), який з'єднує всі нейрони між собою, дозволяючи моделі обчислити ймовірності для кожного класу рухів очей на основі вхідних даних. Для виходу використовується функція softmax, яка перетворює результати в ймовірності, де кожен клас отримує свою ймовірність, що відображає ймовірність правильного класу для поточного руху очей.

На етапі навчання модель тренується на заздалегідь підготовлених даних, де кожне вікно чітко позначено, вказуючи на початок та кінець руху очей. Модель точно знає, що в цьому вікні є рух, і повинна навчитися визначати, який саме. Це значно полегшує задачу, оскільки немає потреби вгадувати, чи відбувається рух, оскільки він вже підтверджений. Також у деяких вікнах може не бути руху, і щоб модель не давала випадкових відповідей, додається спеціальна позначка, наприклад, "немає руху" або "миготіння", що дозволяє уникнути помилкових результатів.

Висновки

Описана схема системи збору та обробки сигналів для моніторингу рухів очей на основі сенсора QVar LSM6DSV16X та відкритого проєкту VitalCore демонструє ефективне поєднання енергоефективності та високої точності розпізнавання рухів. Архітектура системи забезпечує гнучкість завдяки модулю VitalPack, який дозволяє експериментувати з різними конфігураціями електродів для зчитування сигналів. Процес обробки даних, починаючи з первинного збору сигналів, фільтрації за допомогою фільтра Савіцького-Голя та завершуючи застосуванням нейронних мереж для розпізнавання, забезпечує високу ефективність і точність при мінімальному енергоспоживанні. Всі етапи взаємодії компонентів системи, включаючи обмін даними між VitalCore і VitalPack через механізм DMA, оптимізують енергетичні ресурси, що робить систему ідеальною для використання в умовах, де важлива низька споживана потужність. Таким чином, схема є перспективною для подальших удосконалень та адаптацій у різних галузях, де потрібне моніторинг рухів очей з високою точністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковалик С. В. Система відбору електроміографічних сигналів для біокерованих протезів : магістерська робота / С. В. Ковалик ; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2020. – 84 с. – Режим доступу: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/29791>.
2. Николайчук В. І. Розроблення засобів відбору сигналів для електроенцефалографічних діагностичних систем : магістерська робота / В. І. Николайчук ; ТНТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2020. – 96 с. – Режим доступу: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/29792>.
3. Левенець С. В., Гаврилюк С. В., Боярчук О. Д. Основи нейрофізіології : навч. посіб. / С. В. Левенець та ін. – Луганськ : ЛНУ ім. Т. Шевченка, 2021. – 184 с. – Режим доступу: <https://anatomy.luguniv.edu.ua>.

Мормітко Олексій Михайлович — аспірант кафедри біомедичної інженерії та опто-електронних систем, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця.

Науковий керівник: ***Тимчик Сергій Васильович*** канд. техн. наук, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико електронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: tymchyksv@ukr.net.

Oleksiy Mykhailovych Mormitko — graduate student of the Department of Biomedical Engineering and Opto-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: ***Tymchyk Serhiy Vasyliovych*** — candidate. technical of Sciences, associate professor of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, e-mail: tymchyksv@ukr.net.

СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ СИЛИ ЗАХОПЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕМГ СИГНАЛІВ ТА ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто систему прогнозування сили захоплення на основі поверхневих ЕМГ-сигналів з використанням глибокої нейронної мережі. Запропонований підхід забезпечує високу точність класифікації сили стискання та стабільне керування протезною рукою в режимі реального часу.

Ключові слова: електроміографія, сила захоплення, глибока нейронна мережа, автокодер, класифікація, протез руки, сигнали ЕМГ, м'язова активність, сигмоїдна функція, зворотний зв'язок.

Abstract

The paper considers a grip force prediction system based on surface EMG signals using a deep neural network. The proposed approach provides high accuracy in grip force classification and stable control of a prosthetic hand in real time.

Keywords: electromyography, grip force, deep neural network, autoencoder, classification, prosthetic hand, EMG signals, muscle activity, sigmoid function, feedback.

Вступ

Протези верхніх кінцівок, що керуються сигналами м'язової активності (ЕМГ), відкривають нові можливості для відновлення рухових функцій у людей з ампутацією. Одним із ключових завдань таких систем є точне визначення сили захоплення, що дозволяє користувачеві виконувати делікатні та точні рухи. Проте ЕМГ-сигнали є нестабільними, індивідуальними для кожного користувача та чутливими до зовнішніх факторів, що ускладнює розпізнавання сили в режимі реального часу. В останні роки штучні нейронні мережі, зокрема глибоке навчання, продемонстрували високу ефективність у задачах класифікації складних біомедичних сигналів. У даній роботі розглядається система, яка використовує глибоку нейронну мережу з двошаровим автокодером для класифікації сили захоплення на основі багатоканальних sEMG-сигналів. Особливу увагу приділено попередній обробці сигналів, вибору характеристик у часовій області, побудові архітектури моделі та оцінці точності розпізнавання. Такий підхід дозволяє покращити точність та стабільність керування протезною рукою в умовах реального застосування.

Результати дослідження

Система включає кілька ключових компонентів, що працюють узгоджено в режимі реального часу. Основним сенсором є браслет МҮО, який зчитує поверхневі електроміографічні (ЕМГ) сигнали з м'язів передпліччя. Ці сигнали відображають намір користувача здійснити захоплення. Ще одним важливим елементом є шестиосьовий датчик сили, який визначає ступінь стиснення об'єкта протезом[1].

Для підвищення зворотного зв'язку та точності контролю захоплення, на кінчику пальця протеза встановлено силочутливий резистор (FSR), що реєструє силу натиску. Крім того, вібраційний модуль передає інформацію про рівень цієї сили назад користувачеві, покращуючи відчуття взаємодії з об'єктом[1].

Сигнали обробляються за допомогою глибокої нейронної мережі (DNN), яка класифікує силу стискання на кілька рівнів. Розраховане значення сили подається на нечіткий контролер, який керує

механізмом стискання протезної руки. Це забезпечує адаптивне регулювання сили відповідно до наміру користувача.

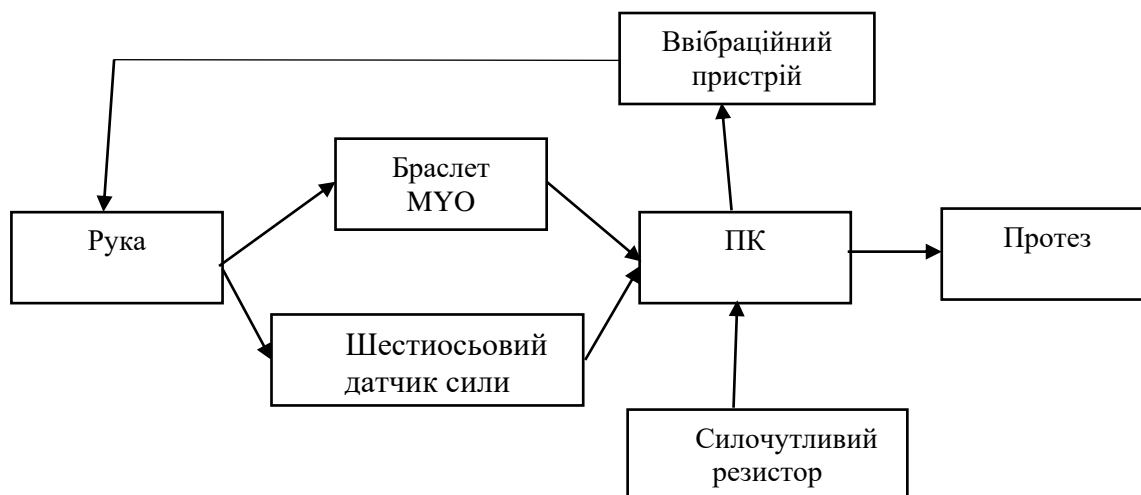


Рисунок 1. Структурна схема системи

Для розпізнавання сили захоплення на основі сигналів м'язової активності, силу поділяють на вісім дискретних рівнів у межах від 0 до 40 ньютонів. Наприклад, перший рівень охоплює інтервал 0–5 Н, другий — 5–10 Н і так далі. Такий розподіл забезпечує стабільніше керування порівняно з використанням безперервних значень сили, які можуть спричинити коливання та знижувати надійність керування. До того ж, вібраційний пристрій зворотного зв'язку не здатен передавати безперервну шкалу сили — він функціонує лише з фіксованими рівнями. Отже, застосування дискретної шкали забезпечує ефективнішу роботу системи.

Для виявлення моменту початку та завершення руху руки застосовується обчислення середнього абсолютного значення (MAV) сигналів ЕМГ із восьми каналів. Це значення порівнюється з наперед заданим порогом, і на його основі визначається час старту та завершення руху.

Щоб система могла точно прогнозувати силу захоплення, необхідно правильно підібрати характеристики, що описують ЕМГ-сигнали. Існує безліч таких характеристик — у часовій, частотній або комбінованій областях. У даному дослідженні були обрані чотири найпоширеніші характеристики з часової області: MAV (середнє абсолютне значення), RMS (середньоквадратичне значення), SD (стандартне відхилення) та WL (довжина форми хвилі)[2].

Кожна з цих характеристик має своє функціональне значення. MAV відображає загальну інтенсивність м'язової активності. RMS демонструє рівень активності м'язів під час руху. SD дає змогу оцінити варіабельність сигналу протягом одного скорочення. А WL поєднує інформацію про амплітуду, частоту та тривалість сигналу, тобто характеризує його складність[2].

$$MAV_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x(i)| \quad 1$$

$$RMS_k = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i)^2} \quad 2$$

$$SD_k = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x(i) - \mu)^2} \quad 3$$

$$WL_k = \sum_{i=1}^{N-1} |x(i+1) - x(i)| \quad 4$$

де $x(i)$ — це дані ЕМГ кожного зразка, N — це розмір ковзного вікна, μ — середнє значення даних N , k — номер каналу.

Для розрахунку характеристик ЕМГ-сигналів використовується підхід із ковзним вікном. Сигнали аналізуються у вікнах тривалістю 50 мс із перекриттям: кожне наступне вікно зміщується на 25 мс.

Такий підхід дозволяє системі з високою точністю відслідковувати динамічні зміни в сигналі. Аналогічна методика застосовується до сигналів сили, де середнє значення в кожному вікні приймається як показник сили захоплення[3].

Для прогнозування сили захоплення на основі ЕМГ-сигналів використовується глибинна нейронна мережа, що включає двошаровий автокодер. Така архітектура дозволяє ефективно витягувати значущі ознаки з вхідних даних і забезпечує точність прогнозування рівнів сили[4].

Нейронна мережа містить два приховані шари, кожен із яких має по 200 нейронів. Така конфігурація забезпечує глибоке представлення даних і дозволяє моделі навчатись складним залежностям між сигналами і рівнями сили. Як функція активації використовується сигмоїдна функція, що забезпечує необхідну нелінійність у мережі та сприяє точнішому моделюванню зв'язків у даних.

Навчання нейронної мережі відбувається у два етапи. Спочатку приховані шари навчаються на немаркованих даних, після чого мережа донавчається з використанням маркованих даних для класифікатора softmax, що виконує розподіл сили на відповідні рівні.

Для уникнення перенавчання в мережі застосовується регуляризація у формі штрафу за розрідженість, що дозволяє зменшити складність моделі та підвищити її здатність до узагальнення. Оновлення вагових коефіцієнтів відбувається за допомогою алгоритму зворотного поширення помилки (backpropagation), який є базовим методом оптимізації у навчанні штучних нейронних мереж.

Висновки

У цій роботі було представлено систему, що поєднує обробку ЕМГ-сигналів та глибинне навчання для прогнозування сили захоплення руки. Запропонований підхід із використанням глибинної нейронної мережі з двошаровим автокодером демонструє високу точність класифікації сили на основі сегментованих ЕМГ-сигналів, що дозволяє ефективно реалізовувати багаторівневе керування протезом.

Поділ сили захоплення на дискретні рівні значно підвищує стабільність роботи системи та дозволяє адаптувати вібраційний зворотний зв'язок для покращення сприйняття користувача. Обрані характеристики сигналу та архітектура нейронної мережі забезпечують достатню чутливість до змін у сигналі без значної втрати узагальнюючої здатності. Отримані результати підтверджують перспективність застосування нейромережевих методів для інтелектуального управління біонічними пристроями на основі біологічних сигналів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Shahid, T., Iqbal, K., Rehman, M., Riaz, N. (2023). Estimation and Early Prediction of Grip Force Based on sEMG Signals and Deep Recurrent Neural Networks. arXiv preprint arXiv:2302.09555. <https://arxiv.org/abs/2302.09555>.
2. Fontana, F., Elsig, L., Schmidhauser, J., et al. (2024). Simultaneous Control of Human Hand Joint Positions and Grip Force via HD-EMG and Deep Learning. arXiv preprint arXiv:2410.23986. <https://arxiv.org/abs/2410.23986>.
3. Yao, Y., Yu, L., Liu, C., et al. (2022). Continuous Grip Force Estimation from Surface Electromyography Using Generalized Regression Neural Network. Biomedical Signal Processing and Control, 76, 103697. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36120747/>.
4. Tung, V. P., Trinh, T. T., Do, T. T., & Phung, B. T. (2021). Hand Posture and Force Estimation Using Surface Electromyography and an Artificial Neural Network. Journal of Healthcare Engineering, 2021, 5593547. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34006135/>.

Пастушенко Антон Олександрович — аспірант кафедри біомедичної інженерії та опто-електронних систем, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця.

Науковий керівник: **Коваль Леонід Григорович** — к. т. н., доцент, завідувач кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: koval.l@vntu.edu.ua.

Anton Oleksandrovych Pastushenko — a graduate student of the Department of Biomedical Engineering and Opto-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Koval Leonid Hryhorovych** — — Ph.D., associate professor, head of the Department of Biomedical Engineering and Opto-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: koval.l@vntu.edu.ua.

MODELLING THE DYNAMIC PROCESS OF MUSCLE CONTRACTION

Vinnitsia National Technical University

Abstract.

Mathematical models of muscle contraction based on the hypotheses of Hill and Huxley were investigated. Models of muscle tissue force under isometric and dynamic conditions were developed, incorporating phenomenological relationships and cross-bridge kinetics. Comparison with experimental data confirmed the adequacy of these models for describing biological processes in muscle tissues..

Keywords: muscle contraction, load, mathematical model, force, tension.

Introduction

It is important to determine the structural adaptability and plasticity of skeletal muscle during limb lengthening. It has been shown [1] that muscle and fascia overload leads to microcirculatory disturbances and tissue hypoxia. Therefore, determining more precise parameters of skeletal muscle function during the distraction osteogenesis procedure in a non-invasive and minimally traumatic manner will create conditions for adaptive growth of preserved muscle fibres during the distraction and fixation phase. The modelling of the contractile activity of muscle tissue is also particularly relevant at the present time due to attempts to create artificial muscles based on active and adaptive materials [2] using different physical principles of force generation.

Research results

An adequate mathematical model of real muscle tissue should be able to describe the anisotropy of its properties, the non-linearity of its deformation, the changes in its mechanical properties during activation of the contractile function and the influence of these factors on the activation process. One of the basic approaches to the mathematical modelling of the physiological process of muscle contraction is the steady-state relationship between the constant contraction rate v and the load p (isotonic muscle contraction) [2]:

$$(p + a)v = b(p_0 - p), \quad (1)$$

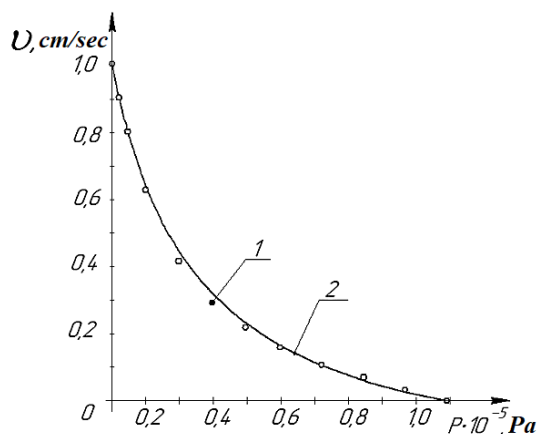
where a and b – parameters of Hill's equation [1], which depend on the type of muscle and on the conditions of the experiment, in particular on temperature.

The Hill model is a purely phenomenological model, reproducing phenomenology rather than a mechanism of behaviour. It does not incorporate the internal laws of muscle contraction. A common drawback of the Hill model is the assumption that the force-velocity relationship must be satisfied immediately after a change in load. This is not consistent with experimental data on the recovery of force tension after a step change in muscle length. This led to the creation of a more advanced model of muscle contraction based on the kinetics of transverse bridges, which is based on the ratchet principle (sliding thread theory) of A. Huxley's muscle contraction [2]. This is the mechanism of force generation in muscle fibres based on the interaction between the proteins actin and myosin [1].

In general, the dependence of the damping force is as follows:

$$p = \rho \int_{-\infty}^{+\infty} r(x)n(x,t)dx, \quad (2)$$

where $n(x)$ – is the proportion of bridges (myosin heads that can attach to actin to generate force) with displacement x that are in a bound state; $r(x)$ is the elastic force developed by each bridge, which is an elastic element with displacement x .



1 – Hill model; 2 – Huxley model

Fig. 1 – Comparative diagram of the dependence of the force applied to the muscle on the speed of contraction

the physiological process of muscle tissue contraction in the modes of isometric tetanus and muscle contraction (lengthening) at a constant speed with a high degree of adequacy.

The results of the theoretical and experimental study [2] of the physiological process of muscle contraction prove the rationality of using the theory of sliding filaments and transverse bridge cycling as the basis for force generation and muscle contraction.

Improving the accuracy of identifying the physiological process of muscle contraction by developing effective methods of mathematical modelling will increase the reliability of predicting the kinematic and force parameters of the musculoskeletal system in the development of artificial implants in mechanical bioengineering.

REFERENCES

1. Philippou A., Halapas A., Maridaki M., Koutsilieris M. Type I insulin like growth factor receptor signaling in skeletal muscle regeneration and hypertrophy // J. Musculoskelet. Neuronal Interact., 2007. – V. 7, №3. – P. 208-218.
2. Кветний Р. Н. Математичне моделювання фізіологічного процесу м'язового скорочення / Р. Н. Кветний, Я. В. Іванчук, К. В. Добровольська // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – Вінниця, 2021. – № 1 (50). – С. 86 – 98. doi: 10.31649/1999-9941-2021-50-1-86-98.

Кветний Роман Н. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Automation and Intelligent Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Іванчук Ярослав В. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ivanchuck@ukr.net.

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО ПРОЦЕСУ М'ЯЗОВОГО СКОРОЧЕННЯ

Анотація.

Досліджено математичні моделі м'язового скорочення на основі гіпотез Хілла та Хакслі. Розроблено моделі силового навантаження м'язової тканини для ізометричного та динамічного режимів, що враховують феноменологічні залежності та кінетику поперечних місточків. Порівняння з експериментальними даними підтвердило адекватність моделей для опису біологічних процесів у м'язах.

Ключові слова: м'язове скорочення, навантаження, математична модель, сила, розтяг.

Кветний Роман Наумович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет.

Іванчук Ярослав Володимирович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, e-mail: ivanchuck@ukr.net.

РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНИХ ІМПЛАНТІВ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ ТРАВМ ШИЇ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА БІОМЕДИЧНІ РІШЕННЯ

Вінницький національний медичний університет імені М. Пригова

Анотація

У роботі розглянуто сучасні тенденції в розробці штучних імплантів для лікування травм шиї, зокрема проникаючих поранень, що вимагають високої точності та індивідуалізованого підходу до пацієнта. Оцінено використання передових технологій, таких як 3D-друк, біоактивні покриття та інтелектуальні імпланти, які здатні реагувати на фізіологічні зміни організму. Виявлено, що ці технології сприяють швидкому загоєнню, знижують ризик ускладнень, а також дозволяють покращити довготривалу стабільність і функціональність імплантів. Стаття також акцентує увагу на перспективах застосування таких імплантів в умовах обмежених медичних ресурсів та воєнних конфліктів. Підкреслено важливість подальших досліджень для удосконалення матеріалів та технологій виготовлення імплантів, а також для зниження ризиків відторгнення та інфекцій.

Ключові слова: штучні імпланти, травми шиї, 3D-друк, біоактивні покриття, інтелектуальні імпланти, тканинна інженерія, інноваційні технології, регенерація тканин.

Abstract

The paper reviews current trends in the development of artificial implants for the treatment of neck injuries, in particular penetrating wounds that require high precision and an individualized approach to the patient. The use of advanced technologies, such as 3D printing, bioactive coatings, and intelligent implants that can respond to physiological changes in the body, is analyzed. It is found that these technologies promote rapid healing, reduce the risk of complications, and improve the long-term stability and functionality of implants. The article also focuses on the prospects for using such implants in conditions of limited medical resources and military conflicts. The importance of further research to improve materials and technologies for the manufacture of implants, as well as to reduce the risks of rejection and infections is emphasized.

Keywords: artificial implants, neck injuries, 3D printing, bioactive coatings, intelligent implants, tissue engineering, innovative technologies, tissue regeneration.

Штучні імпланти відіграють ключову роль у сучасній біомедицині, забезпечуючи функціональне відновлення пошкоджених тканин, органів і структур організму. Особливе значення вони мають у хірургічному лікуванні критичних травм, таких як проникаючі поранення шиї, де анатомічні структури піддаються значним механічним навантаженням і можуть бути серйозно пошкоджені. Незважаючи на значний прогрес у розробці біосумісних матеріалів, ефективне застосування імплантів залишається складним завданням через ризики відторгнення, інфекційних ускладнень, а також необхідність забезпечення довготривалої функціональності та структурної стабільності. Особливо актуально це питання постає на догоспітальному етапі в умовах обмежених медичних ресурсів, а також у віддалених регіонах, де доступ до високотехнологічної медичної допомоги може бути обмеженим. Важливими аспектами сучасної хірургії залишаються забезпечення адекватного відновлення функцій дихання, прийому їжі та захисту структур шийного відділу хребта за допомогою передових імплантологічних рішень.

Метою даної роботи є проведення ретроспективного аналізу сучасних наукових праць, присвячених розробці та клінічному застосуванню штучних імплантів для відновлення пошкоджених структур шиї, оцінка їх ефективності, перспектив подальших досліджень та потенціалу використання в умовах воєнних конфліктів і масових уражень.

Швидке впровадження нових біоматеріалів у медичну практику зазвичай є складним та поетапним процесом. Полієфірефіркетон (РЕЕК) поступово став основним матеріалом для виготовлення імплантів у хірургії хребта та ортопедії. Його поширення можна порівняти з еволюційним процесом, де менш ефективні альтернативи, як-от Ultrarek, були витіснені з ринку, а інші, такі як полісульфон, зазнали невдач через короткотривалі клінічні результати. Як відзначають автори попередніх досліджень, успіх РЕЕК значною мірою був зумовлений стабільним виробництвом спеціально

розроблених для медичної галузі матеріалів, що відповідають сучасним регуляторним вимогам якості та сертифікації.

Незважаючи на те, що лише один глобальний виробник на сьогодні пропонує РЕЕК з довгостроковим дозволом на імплантацію, зростаючий попит на ці матеріали стимулює значний інтерес до створення нових РЕЕК-композитів, зокрема біоактивних.

У своїй роботі [1] автори узагальнили великий обсяг наукових даних щодо структури, механічних властивостей та хімічної стійкості поліарилефіркетонів (РАЕК). Такі дослідження допомагають зрозуміти, чому ці полімери мають високу механічну міцність, хімічну інертність та біосумісність, що робить їх перспективними матеріалами для медичних застосувань. Їх властивості дозволяють зменшити ризик небажаних біологічних реакцій, порівняно з іншими матеріалами, що використовуються в клінічній практиці протягом десятиліть.

На сьогоднішній день РЕЕК активно використовується у хірургії хребта завдяки своїй радіопрозорості, що значно полегшує візуальний контроль під час операцій. Однак у більш традиційних медичних галузях, таких як заміна суглобів або лікування переломів, ця перевага не має такого критичного значення. Перспективними напрямками залишаються розробки ізоеластичних стрижнів та поверхнева заміна кульшового суглоба, хоча ці підходи ще перебувають на ранніх стадіях клінічного застосування і потребують багаторічних досліджень для оцінки їх ефективності. Тим не менш, для хірургії хребта, де довгострокові рішення залишаються обмеженими, РЕЕК зберігає своє значення як один із найперспективніших матеріалів для створення інноваційних імплантів [1].

Розробка біоміметичних штучних шийних дисків, які імітують природні властивості міжхребцевих дисків, дозволяє зберігати рухливість хребта та зменшувати ризик дегенеративних змін у сусідніх сегментах. Такі імпланти виготовляються з використанням передових біоматеріалів та технологій, що забезпечують їхню ефективність та довговічність [2]. Хоча це дослідження має певні обмеження, його результати вказують на те, що застосування біоміметичного штучного міжхребцевого шийного диску (англ. «Cervical disc replacement» (CDR)) (biomimetic artificial intervertebral CDR (bioAID)) може забезпечити збереження міждискового тиску (IDP) і сегментної кінематики прилеглих рівнів хребта на рівні, подібному до природного стану. Такі дані підтримують припущення, що використання інноваційного біоAID для заміни значно дегенерованих міжхребцевих дисків (IVD) може бути перспективним варіантом терапії. Завдяки збереженню нормальної рухливості та навантаження на оброблених і прилеглих рівнях хребта, біоAID може зменшити ризик розвитку дегенеративних змін у сусідніх сегментах. Проте, для підтвердження його безпеки та ефективності порівняно з іншими сучасними методами лікування необхідні додаткові доклінічні дослідження з використанням великих тваринних моделей [2].

Інноваційні тканинно-інженерні імпланти розробляються для пацієнтів з пошкодженнями голосових зв'язок, зокрема після хірургічних втручань на гортані. Ці імпланти сприяють регенерації тканин та відновленню функції голосу, що є важливим аспектом реабілітації після травм шиї. Розробка нової технології дослідниками з Університету Пердью та Медичної школи Університету Індіани може в майбутньому стати важливим кроком у лікуванні пацієнтів з важкими ушкодженнями голосових зв'язок, отриманих під час хірургічних втручань на гортані [3].

Спільна команда біомедичних інженерів із Пердью та клініцистів з Індіанського університету розробила тканинні замінники для реконструкції пошкоджених ділянок гортані.

Гортань — це складний анатомічний орган, що включає зовнішній хрящовий каркас, який забезпечує структурну підтримку, внутрішні м'язи, відповідальні за скорочення та контроль голосу, ковтання і дихання, а також вібраційне покриття, необхідне для створення звуків.

Щороку тисячі пацієнтів із онкологічними ураженнями гортані або серйозними травмами проходять процедуру тотальної ларингектомії, під час якої видаляється весь орган. Після такої операції пацієнти втрачають можливість говорити природним голосом і дихають через штучний отвір у шиї, відомий як стома.

Як зазначає Стейсі Халум, ларинголог із досвідом хірургії голови та шиї, існує дуже мало варіантів для відновлення гортані, які дозволяють повернути її природний вигляд, структуру та функціональність [4]. На сьогоднішній день хірурги іноді використовують місцеві або вільні тканинні трансплантати для закриття дефектів гортані, однак такі тканини часто втрачають об'єм, утворюють рубці і не можуть повноцінно відновити функцію голосоутворення, оскільки не здатні до активних рухів.

Хоча впровадження таких технологій у практику ще потребує часу, нові пристрої вже сьогодні можуть значно розширити наші знання про роботу спинного мозку, не завдаючи йому додаткових пошкоджень. Це може відкрити нові можливості для лікування таких захворювань, як хронічний біль, запалення та гіпертонія, що підтверджує великий потенціал цього підходу для поліпшення якості життя пацієнтів.

Висновки

Сучасні тенденції у розробці імплантів для лікування травм шиї визначають, що використання технологій 3D-друку дозволяє створювати імпланти, які точно відповідають індивідуальним анатомічним особливостям пацієнта. Це є особливо важливим при складних пораненнях шиї, де важливо забезпечити високу точність та сумісність імплантату з навколишніми тканинами, що сприяє швидшому загоєнню та знижує ризик ускладнень.

Розробка імплантів, здатних реагувати на фізіологічні зміни організму, такі як зміна температури або рівня рН, дозволяє значно покращити ефективність лікування. Ці імпланти можуть адаптуватися до змін у стані пацієнта, що знижує ризик інфекцій та ускладнень, а також дозволяє забезпечити постійний моніторинг процесу загоєння.

Використання біоактивних покриттів для імплантів, які стимулюють ріст кісткової тканини та зменшують ймовірність інфекцій, є важливим напрямом у розвитку нових медичних технологій для лікування травм шиї. Такі покриття сприяють пришвидшенню процесів регенерації та покращують загальний результат лікування.

Інноваційні підходи дозволяють значно підвищити ефективність лікування травм шиї, знижуючи ризики ускладнень і забезпечуючи більш індивідуалізований підхід до кожного пацієнта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kurtz, S. M. (2011). PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. *Biomaterials Science and Engineering*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2040108/>
2. Jacobs, C. A. M. (2023). A biomimetic artificial cervical disc replacement: biomaterial and biomechanical design characterization. *PhD Thesis 1 (Research TU/e / Graduation TU/e)*, Biomedical Engineering. Eindhoven University of Technology.
3. Brookes, S., et al. (2020). Laryngeal reconstruction using tissue-engineered implants in pigs: a pilot study. *The Laryngoscope*. <https://doi.org/10.1002/lary.29282>
4. Halum, S. L., Bijangi-Vishehsaraei, K., Saadatzadeh, M. R., & McRae, B. R. (2019). Differences in laryngeal neurotrophic factor gene expression after recurrent laryngeal nerve and vagus nerve injuries. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 122(10), 653-663. <https://doi.org/10.1177/000348941312201009>

Федотова Вікторія Володимирівна - студентка 5 курсу, факультет лікувальний №1, Вінницький національний медичний університет імені М. Пригова, м. Вінниця, e-mail: : vi.fedotova02@gmail.com

Fedotova Viktoriia V. –student 5rd year of the Faculty of Medicine 1, Medicine National Pirogov Medical University Vinnytsya, Vinnytsya, e-mail: vi.fedotova02@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ У КОЛІННОМУ СУГЛОБІ ЛЮДИНИ ПРИ ПРИСІДАННІ

¹Національний університет «Одеська політехніка»

²Вінницький національний технічний університет

³Люблінський технологічний університет

Анотація

У дослідженні виконано математичне моделювання силових навантажень, що виникають у колінному суглобі при присіданні. Розглянуто два варіанти руху: з прямою спиною та з її відхиленням вперед. Реалізовано розрахунки обертального моменту в суглобі та реакції опори з використанням САД-середовища Autodesk Inventor. Отримані результати можуть бути використані для оцінки ефективності розвантажувальних ортезів і підбору індивідуальних параметрів засобів реабілітації.

Ключові слова: біомеханіка, колінний суглоб, момент сили, присідання, ортез, обертальний момент.

Присідання є одним із базових функціональних рухів, який активно використовується у діагностиці, реабілітації та фізичній підготовці. Визначення силового навантаження на колінний суглоб за допомогою математичного моделювання та візуалізації дозволяє не лише покращити розуміння біомеханіки руху, але й забезпечити обґрунтований підбір ортезів і засобів реабілітації, підвищуючи ефективність індивідуального підходу до пацієнта.

Сили, що діють на сегменти нижньої кінцівки та тулуба, визначались у припущенні про відсутність інерційних складових. Для повної визначеності системи сил які діють на сегменти людського тіла під час присідання (Рис. 1) додано реакцію опори у вигляді сили R .

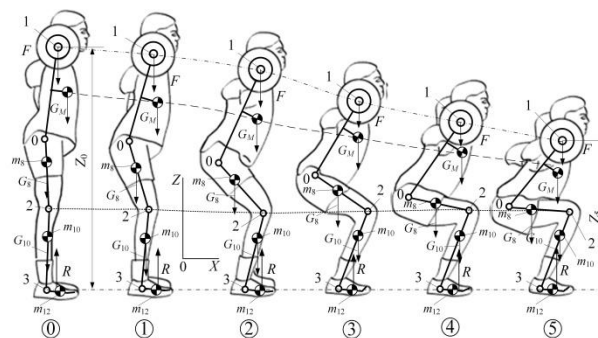


Рисунок 1 – Шість положень сегментів людського тіла у фазі присідання (згинання нижніх кінцівок) з обтяженням.

Напрямок цієї сили перпендикулярний до площини опори у якості якої розглядають площу контакту між стопою и опорною поверхнею [1, 2] та визначають як:

$$R = G_M + G_8 + G_{10} + G_{12}. \quad (1)$$

Рівновага системи перевірялась за умовою:

$$\sum M_{S3} = 0 \quad (2)$$

що забезпечує остійність вертикального положення тіла за відсутності патологій вестибулярного апарату. [3, 4].

Математичне моделювання виконано за допомогою САД-пакету Autodesk Inventor, що дозволило візуалізувати послідовність фаз руху та визначити силові параметри для кожного положення. Реалізований алгоритм дозволяє вводити початкові дані, проводити чисельне ітераційне моделювання та отримувати візуальні результати.

Проаналізовано два сценарії присідання: з прямою спиною $\varphi_{T-8} \approx 0^\circ$ (Рис. 2, а) та з відхиленням тулуба вперед $\varphi_{T-8} > 0^\circ$ (Рис. 2, б).

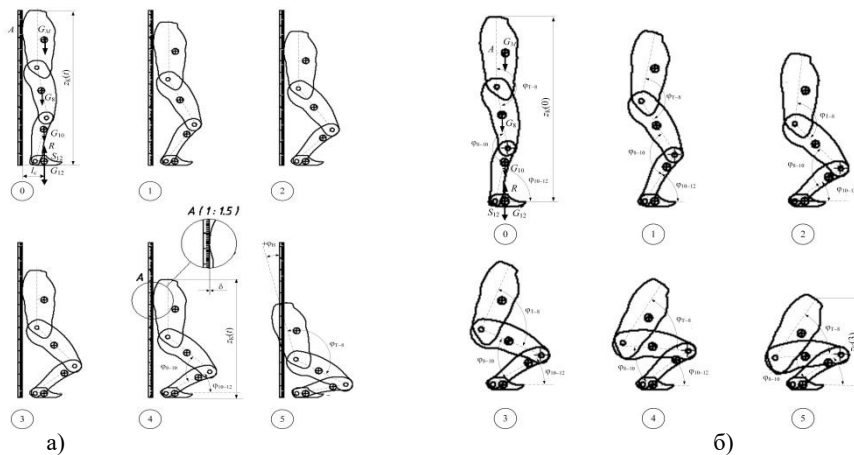


Рисунок 2 – Візуалізація результатів присідання: з «прямою» спиною по 6-ти положеннях сегментів нижніх кінцівок і тулуба (а); з відхиленням тулуба вперед з визначенням кутів між сегментами нижніх кінцівок і тулуба (б).

Встановлено, що при вертикальному положенні тулуба система втрачає рівновагу. Навпаки, при нахилі тулуба вперед рівновага зберігається, що підтверджено як кінематично, так і силово.

Опрацювання результатів проведеного дослідження дозволило встановити залежності між контрольованим параметром $z_k(t)$ і кутами між сегментами нижніх кінцівок (Рис. 3, а). Розрахунок обертального моменту в колінному суглобі проведено щодо відповідного шарніра (Рис. 3, б).

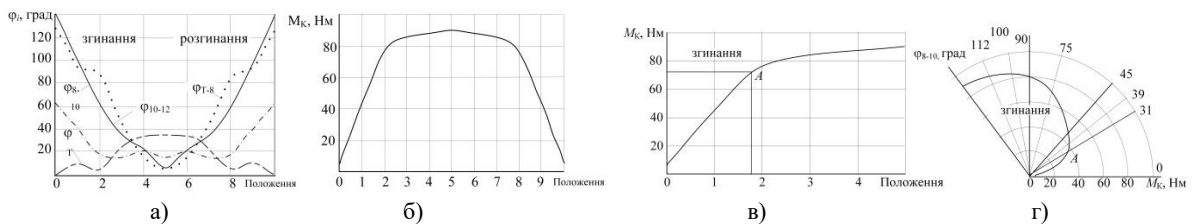


Рисунок 3 – Графічна інтерпретація фаз згинання і розгинання у присіданні: кути між сегментами нижніх кінцівок і тулуба (а); значення моменту у колінному суглобі (б); зміна моменту по положенням (в); по кутам згинання колінного суглобу (г).

При аналізі графічної інтерпретації результатів розрахунку моменту у колінному суглобі встановлено, що момент у крайніх положеннях не дорівнює нулю, що зумовлено прийнятим спрощенням про фіксовану точку прикладання сили R .

Аналіз зміни моменту виконано як за фазами присідання (Рис. 3, в), так по змінам моменту по кутам згинання в суглобі (Рис. 3, г). Останній варіант є більш інформативним для практичного використання.

Реалізоване моделювання дозволяє якісно оцінити розподіл сил у колінному суглобі під час присідання з різними положеннями тулуба. Візуалізація в *Autodesk Inventor* забезпечує наочну інтерпретацію силових і кутових характеристик руху. Результати можуть бути використані для індивідуального підбору параметрів розвантажувальних ортезів та реабілітаційних пристроїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Myer G. D. et al. The back squat: A proposed assessment of functional deficits and technical factors that limit performance. *Strength and conditioning journal*, 2014, 36(6), P. 4–27.
2. Doorenbosch C.A., Harlaar J., Roebroeck M.E., Lankhorst G.J. Two strategies of transferring from sit-to-stand; the activation of monoarticular and biarticular muscles. *J. Biomech.* 1994. 27, № 11. P. 1299–1307.
3. Schwanbeck S., Chilibeck P. D., Binsted G. A comparison of free weight squat to Smith machine squat using electromyography. *Journal of Strength and Conditioning Research*: Dec. 2009. Vol. 23. Issue 9. P. 2588–2591
4. Fry A. C., Chadwick J. S. and Schilling B. K. Effect of Knee Position on Hip and Knee Torques During the Barbell Squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2003, 17, P. 629–633.

Сидоренко Ігор Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій проєктування та дизайну Національного університету «Одеська політехніка», Одеса, sii@op.edu.ua

Ковбан Софія Вікторівна, аспірант Національного університету «Одеська політехніка», Одеса, sofie.kovban@op.edu.ua

Павлов Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем Вінницького національного технічного університету, Вінниця, psv@vntu.edu.ua

Вуйцік Вальдемар, доктор технічних наук, професор, професор факультету електротехніки та комп'ютерних наук Люблінського технологічного університету, Люблін, waldemar.wojcik@pollub.pl

DETERMINATION OF FORCE LOAD IN THE HUMAN KNEE JOINT WHEN SQUATTING

Abstract

The study performed mathematical modeling of force loads that arise in the knee joint during squatting. Two variants of movement were considered: with a straight back and with its forward deflection. Calculations of the torque in the joint and the support reaction were implemented using the Autodesk Inventor CAD environment. The results obtained can be used to assess the effectiveness of unloading orthoses and the selection of individual parameters of rehabilitation tools.

Keywords: biomechanics, knee joint, moment of force, orthosis, squatting, torque.

Sydorenko Igor Ivanovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Design Information Technologies and Design, Odesa Polytechnic National University, Odesa, sii@op.edu.ua

Kovban Sofiia Viktorivna, postgraduate student at the Odesa Polytechnic National University, Odesa, sofie.kovban@op.edu.ua

Pavlov Sergii Volodymyrovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, psv@vntu.edu.ua

Wojcik Waldemar, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Lublin University of Technology, Lublin, waldemar.wojcik@pollub.pl

ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНО-МАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕГМЕНТІВ ТІЛА ДЛЯ БІОМЕХАНІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

¹Національний університет «Одеська політехніка»

²Вінницький національний технічний університет

³Люблінський технологічний університет

Анотація

У роботі представлено підхід до визначення геометрично-масових характеристик сегментів тіла людини для побудови біомеханічної моделі нижньої кінцівки. Визначено довжини, маси та положення центрів мас сегментів тіла для подальшого аналізу навантажень у колінному суглобі. Отримані результати можуть бути використані для індивідуалізованого підбору параметрів ортопедичних виробів та реабілітаційних засобів.

Ключові слова: антропометрія, біомеханіка, колінний суглоб, метод сегментації, регресійний аналіз.

Біомеханічне моделювання є одним із ключових інструментів у дослідженнях рухових функцій людини, особливо в контексті розробки допоміжних ортопедичних пристроїв. Особливо важливим є моделювання навантажень у колінному суглобі для достовірного аналізу яких необхідно мати точно визначені геометрично-масові характеристики відповідних сегментів людського тіла. Хоча існують узагальнені статистичні моделі, адаптація методів до конкретних антропометричних параметрів пацієнта є критично важливою для забезпечення коректності розрахунків та подальшого практичного використання отриманих результатів.

Для визначення геометрично-масових показників тіла використано експериментально-аналітичний метод, запропонований Національним управлінням з авіації (США), що базується на радіоізотопних антропометричних даних [1, 2, 3].

Параметри біомеханічних довжин, мас та координат центрів мас для сегментів тіла отримано за допомогою рівнянь множинної регресії, що пов'язують довжину й масу тіла з геометричними характеристиками його сегментів.

Біомеханічні довжини сегментів тіла L_i визначаються:

$$L_i = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3, \quad (1)$$

де X_1 – довжина ноги; X_2 – довжина тіла (зріст); X_3 – довжина руки; B_0, B_1, B_2, B_3 – коефіцієнти множинної регресії (Табл. 1).

Геометрично-масові показники сегментів тіла Y визначаються:

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2, \quad (2)$$

де X_1 – маса тіла; X_2 – довжина тіла; A_0, A_1, A_2 – коефіцієнти рівняння множинної регресії (Табл. 2).

Розрахунковий зріст:

$$l_1 + l_8 + l_{10} + l_{01} + l_{02} + l_{03}, \quad (3)$$

де l_i – розрахункова довжина відповідного сегменту, мм

Розрахункова маса тіла:

$$2m_{12} + 2m_{10} + 2m_8 + 2m_6 + 2m_4 + 2m_2 + m_1 + m_{01} + m_{02} + m_{03}, \quad (4)$$

де m_i – розрахункова маса відповідного сегменту, кг

У якості об'єкта дослідження, з урахуванням існуючих геометрично-масових показників обрано людину чоловічої статі, яка має зріст 1830 мм, довжина руки становить 640 мм, а вага – 82 кг. За використаною методикою розрахунку геометрично-масових показників встановлені основні показники, які враховуються у запропонованій математичній моделі (Табл. 1, Табл. 2).

Показники розраховані за виразами (3) і (4) становлять розрахунковий зріст – 1886,39 мм, а розрахункову масу – 82,13 кг, та обумовлюють похибку 3,08% і 0,15% відповідно зросту і маси

в порівнянні з фактичними, що є цілком достатнім для подальшого використання отриманих розрахункових результатів.

Отримані геометрично-масові показники дають змогу перейти до подальшого кінематичного аналізу тіла під час присідання, визначення діючих сил та обертового моменту у колінному суглобі та оцінки дії розвантажувальних ортезів.

Таблиця 1 – Біомеханічні довжини сегментів та відповідні коефіцієнти регресії при математичному моделюванні

№	Сегмент	L_i , мм	B_0	B_1	B_2	B_3
1	Голова	268,64	15,9	-0,046	0,094	-0,047
01	Верхня частина тулуба	285,1	3,78	-0,133	0,11	0,17
02	Середня частина тулуба	310,15	3,16	-0,219	0,241	-0,042
03	Нижня частина тулуба	315,1	-12,9	-0,16	0,19	0,26
8	Стегно	412,71	5,34	0,33	0,093	-0,012
10	Гомілка	293,79	1,05	0,282	0,049	0,033
12	Стопа	260,85	0,516	0,0086	0,109	0,069

Таблиця 2 – Геометрично-масові показники при математичному моделюванні

№	Сегмент	Маса сегмента, кг				Положення центру мас на позаддовжній осі сегмента, мм			
		Y	A_0	A_1	A_2	Y	A_0	A_1	A_2
12	Стопа	1,13	-0,829	0,0077	0,0073	151,36	3,767	0,065	0,033
10	Гомілка	3,59	-1,592	0,0362	0,0121	167,38	-6,05	-0,039	0,142
8	Стегно	11,85	-2,649	0,1463	0,0137	254,01	-2,42	0,038	0,135
6	Кисть	0,5	-0,117	0,0036	0,0018	122,81	4,11	0,026	0,033
4	Передпліччя	1,29	0,3185	0,0145	-0,001	149,15	0,192	-0,028	0,093
2	Плече	2,23	0,25	0,0301	-0,003	140,12	1,67	0,03	0,054
1	Голова	5,32	1,296	0,0171	0,0143	123,61	8,357	-0,003	0,023
01	Верхня частина тулуба	12,8	8,2144	0,1862	-0,058	125,44	3,32	0,0076	0,047
02	Середня частина тулуба	13,37	7,181	0,2234	-0,066	101,08	1,398	0,0058	0,045
03	Нижня частина тулуба	9,46	-7,498	0,0976	0,049	92,71	1,182	0,0018	0,0434

Запропонована методика дозволяє з високою точністю визначати геометрично-масові характеристики сегментів тіла людини. Розраховані результати забезпечують основу для подальшого біомеханічного аналізу, у тому числі для визначення навантажень у колінному суглобі при функціональних рухах. Отримані дані можуть бути використані при проектуванні та індивідуальному налаштуванні розвантажувальних ортезів і засобів реабілітації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Drillis, R. and R. Contini Body segment parameters. USAF, WADC Tech. Report 1166.03. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1966.
2. Dempster W. T. Space requirements of the seated operator. USAF, WADC Tech. Rep. 55-159, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1955.
3. Harless, E. The static moments of the component masses of the human body. Trans. of the Math-Phys., Royal Bavarian Acad. of Sci. 8(1,2): 69-96, 257-294. Unpublished English translation, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1962.

Сидоренко Ігор Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій проектування та дизайну Національного університету «Одеська політехніка», Одеса, sii@op.edu.ua

Ковбан Софія Вікторівна, аспірант Національного університету «Одеська політехніка», Одеса, sofie.kovban@op.edu.ua

Павлов Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем Вінницького національного технічного університету, Вінниця, psv@vntu.edu.ua

Вуйцік Вальдемар, доктор технічних наук, професор, професор факультету електротехніки та комп'ютерних наук Люблінського технологічного університету, Люблін, waldemar.wojcik@pollub.pl

DETERMINATION OF GEOMETRIC-MASS CHARACTERISTICS OF BODY SEGMENTS FOR BIOMECHANICAL MODELING

Abstract

The study presents an approach to determining the geometric and mass characteristics of human body segments for constructing a biomechanical model of the lower limb. The lengths, masses, and positions of the segmental centers of mass were calculated to enable further analysis of knee joint loading. The results may be applied for individualized selection of parameters for orthopedic devices and rehabilitation aids.

Keywords: anthropometry, biomechanics, knee joint, regression analysis, segmentation method.

Sydorenko Igor Ivanovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Design Information Technologies and Design, Odesa Polytechnic National University, Odesa, sii@op.edu.ua

Kovban Sofiia Viktorivna, postgraduate student at the Odesa Polytechnic National University, Odesa, sofie.kovban@op.edu.ua

Pavlov Sergii Volodymyrovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, psv@vntu.edu.ua

Wojcik Waldemar, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Lublin University of Technology, Lublin, waldemar.wojcik@pollub.pl

ІНЖЕНЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В РИНОЛОГІЇ: СИМУЛЯЦІЯ, НАВІГАЦІЯ ТА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ХІРУРГІЇ

Харківський національний університет радіоелектроніки

Анотація

У роботі розглянуто використання тривимірного моделювання як інструменту біомедичної інженерії в ринології. Представлено результати клінічних і навчальних досліджень із використанням 3D-друкованих анатомічних моделей для симуляційного тренування функціональної ендоскопічної хірургії пазух носа. Показано, що такі моделі забезпечують високу точність, відтворюваність та об'єктивну оцінку хірургічних навичок. Проведено порівняльний аналіз з кадаверичними тренінгами, що підтвердив еквівалентність результатів. Зроблено висновок про перспективність впровадження 3D-моделювання у навчальний процес, передопераційне планування та сертифікацію хірургів.

Ключові слова: 3D-моделювання, ринологія, біомедична інженерія, симуляційне навчання, FESS.

Розвиток біомедичної інженерії в останнє десятиліття суттєво вплинув на трансформацію підходів до хірургічного навчання, планування оперативних втручань та післяопераційної верифікації результатів у сфері оториноларингології [1]. У сучасній літературі розглядаються різноманітні підходи до моделювання базових навичок ендоскопічної хірургії [2]. Серед них – використання овочів (перець, томати), тваринних тканин (зокрема, голови ягнят) замість трупного матеріалу, а також 3D-моделі та технології доповненої реальності. Кожен із цих методів має певні переваги та обмеження, що унеможливує його повноцінне заміщення трупних зразків. Абстрактні моделі на основі овочів ефективно розвивають базові хірургічні навички, такі як зорово-моторна координація, точність рухів та маневреність під час роботи з ендоскопічними інструментами. Згідно з даними, 90% учасників навчальних програм відзначили підвищення впевненості та кращу підготовку до подальших етапів навчання, включаючи диссекцію трупів і реальні хірургічні втручання. Тваринні тканини не повністю відтворюють анатомічні особливості людини та реакції на хірургічні маніпуляції. Наприклад, голова ягняти широко використовується у тренуваннях з ендоскопії носових пазух через її документально підтверджену схожість з людською анатомією. Однак такі моделі мають суттєві недоліки: необхідність спеціальних умов зберігання, обмежений термін придатності (до 4 годин) та відмінності у будові складних структур (наприклад, задніх гратчастих клітин, клиноподібного чи лобового синусів). Таким чином, як овочеві, так і тваринні моделі слугують допоміжними інструментами для опанування базових навичок роботи з ендоскопічним обладнанням, але не є самодостатніми для повноцінної підготовки хірургів. Їхнє застосування доцільне лише у поєднанні з іншими методами навчання [3, 4]. Особливо перспективним напрямом є впровадження тривимірного (3D) моделювання в ринології, де складна анатомічна будова приносних синусів створює високі вимоги до просторової орієнтації хірурга, точності доступу та безпеки маніпуляцій. Технології 3D-друку, обробки медичних зображень та симуляційного аналізу забезпечують формування анатомічно достовірних моделей, які можуть застосовуватись як у навчальних цілях, так і для клінічного планування втручань. 3D-моделі, виготовлені з даних комп'ютерної томографії (формат DICOM), проходять сегментацію у спеціалізованому програмному забезпеченні (Mimics, 3D Slicer) з подальшим експортом у STL-файли для адитивного виробництва. У типових моделях використовуються полімери з контролем твердості: для імітації кісткової тканини застосовується матеріал з твердістю Shore

D 83–86, для м'яких тканин — Shore A 28–33. Мінімальна товщина друку становить 0,0125 мм, що забезпечує високу точність відтворення складних анатомічних зон, зокрема фронтальної пазухи, *agger nasi* та решітчастого лабіринту. Клінічну ефективність таких моделей було продемонстровано в дистанційному навчальному курсі, де хірурги отоларингологи під контролем досвідчених спеціалістів виконували симуляційні фронтальні синусотомії на моделях із наростаючою складністю варіативності анатомії. Під час курсу час виявлення дренажного шляху фронтальної пазухи (FSDP) зменшився з 1292 ± 672 с до 321 ± 267 с ($p = 0,017$), попри ускладнення анатомії. Об'єм FSDP збільшився з $2,36 \pm 0,00$ до $9,70 \pm 1,49$ мл ($p = 0,014$), що підтверджено за допомогою 3D-реконструкції в системі SYNAPSE VINCENT. Загальний освітній ефект курсу був оцінений учасниками на $95,5 \pm 5,1$ бала зі 100 можливих, а спостерігачами — на $89,2 \pm 15,8$ бала. Розширене дослідження за участю 47 оториноларингологів (9 експертів, 19 фахівців середнього рівня, 19 новачків) дозволило валідувати ефективність 3D-моделей за шкалою OSATS (Objective Structured Assessment of Technical Skills). Експерти набрали $74,7 \pm 3,6$ бала, фахівці середнього рівня — $58,3 \pm 10,1$, новачки — $43,1 \pm 11,1$ ($p < 0,001$). У групі новачків, які проходили семисесійну тренувальну програму, OSATS зріс з $41,1 \pm 8,0$ до $61,1 \pm 6,9$ ($p < 0,001$), а час виконання mini-FESS скоротився з $1783,2 \pm 577,8$ до $861,6 \pm 441,0$ с ($p = 0,004$). Після завершення тренування 80% новачків вперше успішно виконали повний FESS на кадаврах, що вказує на високу адаптивність симуляцій до клінічної практики [5]. У порівняльному дослідженні 17 хірургів виконували ідентичні FESS-процедури на 3D-моделях і на кадаврах. За OSATS-оцінкою не було виявлено статистично значущих відмінностей: $50,41 \pm 13,31$ на моделях проти $48,29 \pm 16,01$ на кадаврах ($p = 0,36$). Аналогічно, час виконання mini-FESS не відрізнявся достовірно ($21:29 \pm 0:10$ хв проти $20:33 \pm 0:07$ хв, $p = 0,53$). Висока кореляція результатів між моделями та кадаврами ($r = 0,84$, $p < 0,001$) підтверджує об'єктивну придатність моделей як альтернативи для навчання та оцінки хірургів [6]. Інженерні аспекти моделювання включають модульність, можливість стандартизації та варіативність анатомічної складності. Різні типи моделей охоплюють різні варіанти анатомічної будови, дозволяючи адаптувати навчання відповідно до рівня підготовки. Прозорі сегменти моделі забезпечують візуальний контроль за якістю розтину, а сумісність із навігаційними та AR-системами відкриває перспективи інтеграції у хірургію з віртуальним плануванням. Проте, основною проблемою залишається відтворення реалістичних умов операції, таких як слизова оболонка, кровотеча та забруднення лінзи ендоскопа, що ускладнює процес навчання. У контексті інженерії 3D-моделювання поєднує точність цифрової обробки медичних зображень, функціональність сучасних полімерних матеріалів і технології адитивного виробництва. Це дозволяє реалізувати концепцію цифрового двійника ЛОР-анатомії для використання як у передопераційному плануванні, так і в післяопераційній оцінці втручань [7, 8]. За рахунок низької вартості, відсутності етичних та інфекційних ризиків, високої стандартизації і масштабованості, даний підхід є одним з найбільш перспективних у хірургічному навчанні. Сучасні клінічні рекомендації з підготовки хірургів визнають навчання на кадаврах «золотим стандартом», однак у останні роки зростає інтерес до відтворюваних навчальних моделей. Цей пов'язано із економічною доцільністю, правовими обмеженнями та етичними аспектами використання біологічних зразків. Кожен із альтернативних методів має власні сильні та слабкі сторони, найбільш перспективним напрямком для навчання та преопераційного планування вважається 3D-моделювання [8].

Таким чином, тривимірне моделювання в ринології, засноване на принципах біомедичної інженерії, продемонструвало високу ефективність як засіб хірургічного навчання, інструмент об'єктивного тестування навичок та технологію планування складних оперативних втручань. Інтеграція з телемедичними платформами [9, 10], навігаційними системами та технологіями доповненої реальності визначає подальший вектор розвитку створення інтелектуальних симуляційних тренінгових середовищ для постійної клінічної практики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tymkovych, M. et al. (2021). Application of SOFA Framework for Physics-Based Simulation of Deformable Human Anatomy of Nasal Cavity. 8th European Medical and Biological Engineering Conference. EMBEC 2020. IFMBE Proceedings, vol 80. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64610-3_14.
2. Selivanova, K. G., Avrunin, O. G., Tymkovych, M. Y., & Manhora, T. V. (2021). 3D Visualization of Human Body Internal Structures Surface During StereoEndoscopic Operations Using Computer Vision Techniques. *Przegląd Elektrotechniczny*, (9), 30–33.

3. Tikka S, Chaithra BG, Sharma SB, Janakiram TN. A Feasible, Low-Cost, Capsicum and Tomato Model for Endoscopic Sinus and Skull Base Surgery Training. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2022 Dec;74(Suppl 3):4565-4570. doi: 10.1007/s12070-021-02583-z. Epub 2021 Jul 5. PMID: 36742779; PMCID: PMC9895242.
4. De Oliveira HF, Bollela VR, Anselmo-Lima WT, Costa CAPO, Nakanishi M. A feasible, low-cost, reproducible lamb's head model for endoscopic sinus surgery training. *PLoS One.* 2017 Jun 29;12(6):e0180273. doi: 10.1371/journal.pone.0180273. PMID: 28662196; PMCID: PMC5491169.
5. Suzuki M, Watanabe R, Nakazono A, Nakamaru Y, Suzuki T, Kimura S, Matoba K, Murakami M, Hinder D, Psaltis AJ, Homma A, Wormald PJ. Can high-fidelity 3D models be a good alternative for cadaveric materials in skill assessment for endoscopic sinus surgery? A comparison study in assessment for surgical performance in 3D models and cadavers. *Front Med (Lausanne).* 2024 Oct 17;11:1301511. doi: 10.3389/fmed.2024.1301511. PMID: 39484199; PMCID: PMC11524814.
6. Suzuki M, Miyaji K, Watanabe R, Suzuki T, Matoba K, Nakazono A, Nakamaru Y, Konno A, Psaltis AJ, Abe T, Homma A, Wormald PJ. Repetitive simulation training with novel 3D-printed sinus models for functional endoscopic sinus surgeries. *Laryngoscope Invest Otolaryngol.* 2022 Jul 21;7(4):943-954. doi: 10.1002/lio2.873. PMID: 36000044; PMCID: PMC9392405.
7. Avrunin, O. G., Tymkovych, M. Y., Saed, H. F. I., Loburets, A. V., Krivoruchko, I. A., Smolarz, A., & Kalimoldayeva, S. (2019). Application of 3D printing technologies in building patient-specific training systems for computing planning in rhinology. Paper presented at the Information Technology in Medical Diagnostics II - Proceedings of the International Scientific Internet Conference on Computer Graphics and Image Processing and 48th International Scientific and Practical Conference on Application of Lasers in Medicine and Biology, 2018, 1-8. doi:10.1201/9780429057618-1.
8. Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія / [С.В. Павлов, О.Г. Аврунін, С.М. Злепко, Є.В. Бодяньський та ін.]; за редакцією С. Павлова, О. Авруніна. – Вінниця: ПП «ГД «Едельвейс і К», 2019. – 260 с.
9. Місоченко С. Ю., Селіванова К. Г., Аврунін О. Г. Дослідження використання вірогіднісних методів у сфері обробки біомедичних зображень. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXX міжнародної науковопрактичної конференції MicroCAD2022, 19-21 жовтня 2022 р. Харків : НТУ «ХП», 2022. С. 902.
10. Avrunin, O., Kolisnyk, K., Nosova, Y., Tomashevskiy, R., & Shushliapina, N. (2020). Improving the methods for visualization of middle ear pathologies based on telemedicine services in remote treatment. Paper presented at the 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2020 - Conference Proceedings, 347-350. doi:10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250090.
4. Sokol, Y., Avrunin, O., Kolisnyk, K., & Zamiatin, P. (2020). Using medical imaging in disaster medicine. Paper presented at the 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems, IEPS 2020 - Proceedings, 287-290. doi:10.1109/IEPS51250.2020.9263175

Соколюцов Андрій Олегович, аспірант кафедри біомедичної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки. м. Харків, andrii.sokoltsov@nure.ua

Аврунін Олег Григорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки. м. Харків, oleh.avrunin@nure.ua

ENGINEERING TECHNOLOGIES OF THREE-DIMENSIONAL MODELING IN RHINOLOGY: SIMULATION, NAVIGATION, AND SURGICAL OUTCOME ASSESSMENT

Abstract

This study explores the application of three-dimensional modeling as a biomedical engineering tool in rhinology. It presents clinical and educational research findings on the use of 3D-printed anatomical models for simulation-based training in functional endoscopic sinus surgery (FESS). The models demonstrate high anatomical accuracy, reproducibility, and enable objective evaluation of surgical skills. A comparative analysis with cadaveric training confirmed the equivalence of outcomes. The study concludes that 3D modeling holds significant promise for integration into surgical education, preoperative planning, and surgeon certification processes.

Keywords: 3D modeling, rhinology, biomedical engineering, simulation training, FESS.

Andrii Sokoltsov, PhD student, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, andrii.sokoltsov@nure.ua

Oleh Avrunin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, oleh.avrunin@nure.ua

ОПТИМІЗАЦІЯ ОБРОБКИ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ В ТЕЛЕМЕДИЧНИХ СИСТЕМАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА АДАПТИВНОГО СТИСНЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація.

У роботі запропоновано підхід до оптимізації обробки біомедичних зображень у телемедичних системах шляхом інтеграції адаптивного стиснення та сегментації з використанням згорткових нейронних мереж (U-Net). Розроблено клієнт-серверну архітектуру, яка забезпечує ефективну передачу та аналіз медичних даних в умовах нестабільних мереж. Адаптивне стиснення зменшує обсяг даних на 40–60%, зберігаючи діагностичну якість (PSNR 35-40 дБ). Сегментація зображень ОКТ та судин сітківки за допомогою U-Net підвищує точність аналізу. Результати підтверджують перспективність підходу для підвищення якості діагностики в телемедичних системах.

Ключові слова: телемедичні системи, адаптивне стиснення, згорткові нейронні мережі, U-Net, сегментація зображень, клієнт-серверна обробка, біомедичні зображення.

Вступ

Сучасні телемедичні системи забезпечують дистанційну діагностику та моніторинг стану здоров'я, обробляючи великі обсяги біомедичних зображень, зокрема ОКТ-зображення та фундус-фотографії [1]. Однак обробка цих даних стикається з викликами, пов'язаними з обмеженою пропускнуою здатністю мереж та високими обчислювальними вимогами. Згорткові нейронні мережі, зокрема U-Net, демонструють високу ефективність у сегментації біомедичних зображень, але їхня ресурсозатратність робить локальну обробку на клієнтських пристроях малоефективною [2]. Для вирішення цих проблем запропоновано підхід, що поєднує адаптивне стиснення для оптимізації передачі даних через нестабільні мережі та серверну обробку зображень із використанням згорткових нейронних мереж. Така клієнт-серверна архітектура дозволяє зменшити навантаження на клієнтські пристрої, забезпечити стабільну передачу даних та підвищити точність діагностичного аналізу в телемедичних системах.

Наукова новизна роботи полягає у розробці клієнт-серверного підходу до обробки біомедичних зображень, який поєднує динамічне адаптивне стиснення даних із глибоким навчанням на сервері. Вперше реалізовано автоматичний вибір алгоритмів стиснення на основі типу вхідних медичних даних (зображення/сигнали) та поточних параметрів мережі (пропускна здатність, втрати пакетів). Такий підхід дозволяє досягти високої ефективності передачі без зниження діагностичної інформативності зображень.

Метод обробки біомедичних зображень в телемедичних системах з використанням згорткових нейронних мереж та адаптивного стиснення

Запропонований підхід до оптимізації обробки біомедичних зображень у телемедичних системах базується на інтеграції адаптивного стиснення та серверної сегментації з використанням згорткових нейронних мереж (U-Net) у клієнт-серверній архітектурі. Цей підхід вирішує проблему високої ресурсозатратності алгоритмів глибокого навчання та обмеженої пропускнуої здатності мереж, забезпечуючи ефективну передачу та аналіз медичних даних [3].

Першим компонентом є адаптивне стиснення, яке зменшує обсяг даних для передачі через нестабільні мережі. Алгоритми JPEG 2000 і SPIHT застосовуються для стиснення зображень (КТ, МРТ, ОКТ) із втратами, зберігаючи діагностичну якість (PSNR 35-40 дБ), тоді як біомедичні сигнали (ЕКТ,

ЕЕГ) стискаються без втрат за допомогою алгоритмів Гафмана та FLAC [4]. Вибір алгоритму здійснюється автоматично на основі типу даних і параметрів мережі, таких як швидкість передачі та рівень втрати пакетів. Моделювання в Python із використанням бібліотек OpenCV і SciPy [5] показало зменшення обсягу даних на 40-60%, що знижує затримки передачі та оптимізує використання ресурсів клієнтських пристроїв.

Другим компонентом є серверна сегментація зображень за допомогою U-Net [2], що дозволяє проводити складні обчислення на потужних серверних платформах, зменшуючи навантаження на клієнтські пристрої. Для зображень оптичної когерентної томографії (ОКТ) модель U-Net, реалізована в TensorFlow/Keras, забезпечує точну сегментацію шарів сітківки, досягаючи індексу структурної схожості (SSIM) на 44% вищого порівняно з класичними методами (оператори Собеля, Прюїтт). Попередня обробка зображень фільтром Гауса додатково підвищує SSIM на 4,5%, покращуючи виявлення патологій, таких як макулодистрофія.

Третім компонентом є сегментація судин сітківки на фундус-фотографіях, також виконана за допомогою U-Net яка була навчена на датасеті HRF [6]. Модель досягає коефіцієнта Дайса 0,56 та індексу Жаккара (IoU) 0,39, що свідчить про прийнятну точність для основних судин, хоча дрібні структури потребують подальшої оптимізації. Використання skip-connections у U-Net забезпечує збереження просторової інформації, що є критичним для точного виділення судин.

Клієнт-серверна архітектура об'єднує ці компоненти: клієнтські пристрої виконують стиснення даних і передають їх на сервер, де проводиться сегментація зображень. Динамічне регулювання рівня стиснення залежно від стану мережі забезпечує стабільність передачі, а гібридне шифрування (AES-256, RSA) гарантує безпеку конфіденційних медичних даних. Механізм буферизації та корекції помилок на основі коду Ріда-Соломона додатково підвищує стійкість системи до втрат інформації.

Для оцінки ефективності запропонованої архітектури було проведено моделювання в Python 3.9 із використанням бібліотек OpenCV, SciPy, TensorFlow, NumPy. Змодельовано три мережеві сценарії: стабільний, помірно завантажений, перевантажений.

Метрики оцінки включали:

- середню затримку передачі;
- обсяг переданих даних (до і після стиснення);
- якість сегментації (SSIM, Dice, IoU);
- навантаження на клієнтське обладнання (вимірюване через середній час обробки).

Умови:

- кількість зображень: 200 ОКТ, 100 фундус-фото;
- роздільна здатність: 512x512 пікселів;
- середній час обробки одного зображення на сервері: 0.6 с;
- середнє зменшення обсягу даних: 53%.

Результати моделювання показали:

- зменшення середньої затримки на 35–50% порівняно з підходами без стиснення;
- стабільність сегментації при зменшенні розміру даних (SSIM зберігається >0.91);
- зменшення навантаження на клієнтські пристрої у 3 рази за рахунок делегування обробки серверу.

Ці досягнення сприяють підвищенню точності та швидкості діагностики в телемедичних системах, відкриваючи можливості для їхньої інтеграції в системи дистанційного моніторингу здоров'я.

Висновки

Запропонований підхід до оптимізації обробки біомедичних зображень у телемедичних системах, який поєднує адаптивне стиснення даних та серверну сегментацію із застосуванням згорткових нейронних мереж U-Net, підтверджує свою ефективність. Адаптивне стиснення дозволяє оптимально зменшувати обсяг даних для передачі через нестабільні мережі, зберігаючи при цьому високу якість зображень.

Клієнт-серверна архітектура розподіляє обчислювальне навантаження, виконуючи складну обробку на сервері, що дозволяє знизити вимоги до клієнтських пристроїв і забезпечити швидку та точну діагностику. Безпека даних гарантується гібридним шифруванням, яке захищає інформацію під час передачі.

Експерименти показали, що запропонований метод знижує обсяг передаваних даних та підвищує стабільність телемедичних систем, одночасно покращуючи якість сегментації зображень. Подальші

дослідження можуть зосередитися на вдосконаленні алгоритмів сегментації, адаптації моделей під різні типи зображень та масштабуванні системи для практичного застосування.

Інтеграція такого підходу у телемедичні платформи сприятиме підвищенню доступності медичних послуг, особливо в віддалених регіонах, та покращенню якості дистанційної діагностики й моніторингу пацієнтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Павлов, С. В., Вовкотруб, Д. В., Довгалюк, Р. Ю., & Хані, А.-З. Інформаційні технології підвищення якості біомедичних зображень. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2012 № 21(2). С. 41-48 <https://itce.vntu.edu.ua/index.php/itce/article/view/52>
2. Павлов С. В. , Салдан Й. Р. , Злепко С. М. , Азаров О. Д. , Тимченко Л. І. , Абраменко Л. В. Методи попередньої обробки томографічних зображень очного дна . Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2019. № 2. С. 4-12. <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/30520>
3. Zuiderveld, Karel J.. "Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization." *Graphics gems* (1994). <https://sci-hub.se/10.1016/b978-0-12-336156-1.50061-6>
4. OpenCV Team. (n.d.). OpenCV: Open Source Computer Vision Library. OpenCV. Retrieved March 26, 2025, from <https://opencv.org/>
5. Matplotlib Developers. (n.d.). Matplotlib Pyplot Tutorial. Matplotlib. Retrieved March 26, 2025, from <https://matplotlib.org/stable/tutorials/introductory/ pyplot.html>
6. Dataset Ninja. Visualization Tools for High Resolution Fundus Dataset. Dataset Ninja; 2025. Accessed February 10, 2025. <https://datasetninja.com/high-resolution-fundus>

Андрікевич Сергій Анатолійович – здобувач наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 163 Біомедична інженерія, група 163-23а, кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, andrikevuch.serhii@gmail.com.

Щербатюк Артем Володимирович – здобувач наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 163 Біомедична інженерія, група 163-23а, кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, scherbatyuk.art@gmail.com.

Яковишен Павло Олександрович – здобувач наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 163 Біомедична інженерія, група 163-23а, кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, yakovishen3@gmail.com.

OPTIMIZATION OF BIOMEDICAL IMAGE PROCESSING IN TELEMEDICAL SYSTEMS USING CONVULSIVE NEURAL NETWORKS AND ADAPTIVE COMPRESSION

Abstract.

The paper proposes an approach to optimize biomedical image processing in telemedicine systems by integrating adaptive compression and segmentation using convolutional neural networks (U-Net). A client-server architecture has been developed that ensures efficient transmission and analysis of medical data in unstable network conditions. Adaptive compression reduces the data volume by 40–60% while maintaining diagnostic quality (PSNR 35–40 dB). Segmentation of OCT and retinal vessel images using U-Net increases the accuracy of analysis. The results confirm the promising approach for improving the quality of diagnostics in telemedicine systems.

Keywords: telemedical systems, adaptive compression, convolutional neural networks, U-Net, image segmentation, client-server processing, biomedical images.

Andrikevych Serhii Anatoliiovych – Candidate for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 163 Biomedical Engineering, group 163-23a, Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, andrikevuch.serhii@gmail.com.

Shcherbatyuk Artem Volodymyrovych – Candidate for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 163 Biomedical Engineering, group 163-23a, Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, scherbatyuk.art@gmail.com.

Yakovyshen Pavlo Oleksandrovych – Candidate for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 163 Biomedical Engineering, group 163-23a, Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, yakovishen3@gmail.com.

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕХАНІКИ ШТУЧНОГО КОЛІННОГО СУГЛОБА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто ключові аспекти оптимізації механіки штучного колінного суглоба з метою покращення функціональних результатів та підвищення задоволеності пацієнтів після ендопротезування. Проаналізовано сучасні напрямки вдосконалення, включаючи дизайн імплантатів для відтворення природної кінематики, інноваційні матеріали та покриття для підвищення довговічності та біосумісності, удосконалення хірургічних технік для точності та балансу, персоналізацію в ендопротезуванні та роль комп'ютерного моделювання і робототехніки. Обговорено досягнуті результати, клінічне значення оптимізованої механіки, а також не вирішені проблеми та перспективи подальших досліджень у цій галузі.

Ключові слова: ендопротезування колінного суглоба, штучний колінний суглоб, біомеханіка, кінематика, оптимізація, дизайн імплантатів, матеріали для імплантатів, хірургічні техніки, персоналізована медицина, комп'ютерне моделювання, робототехніка.

Annotation

This work examines the key aspects of optimizing the mechanics of artificial knee joints to improve functional outcomes and patient satisfaction after arthroplasty. Current areas of improvement are analyzed, including implant design to replicate natural kinematics, innovative materials and coatings to enhance durability and biocompatibility, refinement of surgical techniques for precision and balance, personalization in arthroplasty, and the role of computer modeling and robotics. The achieved results, clinical significance of optimized mechanics, as well as unresolved problems and prospects for further research in this field are discussed.

Keywords: total knee arthroplasty, artificial knee joint, biomechanics, kinematics, optimization, implant design, implant materials, surgical techniques, personalized medicine, computer modeling, robotics.

Вступ

Ендопротезування колінного суглоба (ЕКС) є визнаним та ефективним методом лікування пацієнтів з термінальними стадіями дегенеративно-дистрофічних захворювань, що дозволяє суттєво зменшити больовий синдром та покращити якість життя. [1] Однак, незважаючи на значні успіхи, до 20% пацієнтів висловлюють незадоволення результатами операції, часто пов'язане з відчуттям "неприродності" суглоба та обмеженнями функціональності порівняно зі здоровим коліном. [2] Це вказує на наявність значного потенціалу для подальшої оптимізації. Основними причинами невдач ЕКС та необхідності ревізійних втручань є інфекційні ускладнення, нестабільність компонентів, їх асептичне розхитування та розвиток тугорухливості. [3] Механічні проблеми, такі як знос поліетиленового вкладиша, неоптимальне позиціонування компонентів ендопротеза та порушення балансу зв'язкового апарату, відіграють у цьому ключову роль. Важливо зазначити, що незадоволеність пацієнтів та висока частота ревізійних операцій є не лише клінічними викликами, але й створюють значний економічний тягар для систем охорони здоров'я, оскільки ревізійні втручання є складнішими, дорожчими та часто асоціюються з гіршими функціональними результатами. Таким чином, оптимізація механіки штучного колінного суглоба спрямована не тільки на покращення індивідуальних клінічних результатів, але й на підвищення загальної економічної ефективності ЕКС.

Головною метою оптимізації механіки штучного колінного суглоба є максимальне наближення його біомеханічних характеристик до фізіологічної норми здорового коліна, прагнучи до створення так званого "забутого суглоба". [4] Це включає завдання з покращення кінематики (відтворення природних рухів) та кінетики (розподіл навантажень), зменшення зносу компонентів, підвищення стабільності ендопротеза, забезпечення його довготривалої та надійної фіксації, що в сукупності має призвести до покращення функціональних результатів та підвищення рівня задоволеності пацієнтів.

Напрямки Оптимізації Механіки Штучного Колінного Суглоба

Покращення дизайну імплантатів: відтворення природної кінематики.

Еволюція дизайну ендопротезів колінного суглоба пройшла шлях від простих шарнірних конструкцій до складних багатокомпонентних систем, які прагнуть відтворити комплексну тривимірну кінематику природного коліна, що включає поліцентричне обертання, трансляцію та ротацію.[5] Сучасні розробки зосереджені на імплантатах з асиметричною геометрією суглобових поверхонь, наприклад, дизайни з медіальним pivot-механізмом, які забезпечують медіальну стабільність та контрольовану латеральну рухливість, що більше відповідає фізіологічному руху.[6] Високофлексійні (high-flexion) дизайни теоретично дозволяють збільшити амплітуду рухів, однак їх клінічні переваги та довгострокові ризики все ще потребують ретельного вивчення.[7] Існують різні концепції стабілізації: круціат-зберігаючі (CR), задньо-стабілізовані (PS) та бікруціат-стабілізовані (BCS) дизайни, кожен з яких має свої особливості у відтворенні функції зв'язкового апарату.[2] Дослідження показують, що BCS ендопротези можуть забезпечувати кінематику, ближчу до нормальної, в ранній та пізній фазах згинання, але можуть мати обмеження в середній фазі.[8-9] Модульність компонентів, таких як аугменти та подовжувачі ніжок, дозволяє краще адаптувати імплантат до індивідуальних анатомічних особливостей та наявних кісткових дефектів, що особливо важливо при ревізійних операціях.[9-10] Спостерігається чітка тенденція переходу від універсальних дизайнів до більш анатомічно-орієнтованих та функціонально-адаптованих імплантатів. Цей рух зумовлений розумінням того, що саме відхилення від природної кінематики, характерні для ранніх моделей ендопротезів (наприклад, парадоксальний передній зсув стегнової кістки [11]), є однією з ключових причин незадовільних функціональних результатів та відчуття "штучності" суглоба після ЕКС. [3]

Інноваційні матеріали та покриття: підвищення довговічності та біосумісності

Значний прогрес досягнуто у розробці матеріалів для компонентів ендопротезів. Високомолекулярний поліетилен (UHMWPE) та його вдосконалені модифікації, зокрема високозшитий поліетилен (HXLPE), демонструють значно нижчий рівень зносу, що зменшує ризик остеолізу, спричиненого частками зносу.[5] Зменшення зносу поліетилену безпосередньо впливає на зниження ризику асептичного розхитування, оскільки саме частки зносу є тригером запальної реакції та подальшого остеолізу.[12] Це не лише подовжує термін служби імплантату, але й зменшує потребу в ревізійних операціях. Керамічні матеріали, такі як оксид цирконію (OxZr) та оксид алюмінію, використовуються для створення пар тертя з низьким коефіцієнтом тертя та високою зносостійкістю.[5] Титанові сплави та тантал широко застосовуються завдяки їх біосумісності та здатності до остеointegraції, особливо при використанні пористих структур.[5] Біоактивні покриття, наприклад, гідроксиапатит (HA) або біоскло, наносяться на поверхню імплантатів для стимуляції остеointegraції та покращення фіксації до кісткової тканини.[13-15] Антибактеріальні покриття, що містять іони срібла або антибіотики, розробляються для зниження ризику перипротезної інфекції.[5] Важливо відзначити, що незважаючи на основний фокус на зносі поліетилену, вивільнення іонів металів (Co, Cr, Mo, Ti) з металевих компонентів також є значущим фактором, який може мати клінічні наслідки, особливо для пацієнтів з підвищеною чутливістю до металів.[16] Це підкреслює важливість розробки неметалевих альтернатив або ефективних бар'єрних покриттів для мінімізації будь-яких потенційно шкідливих продуктів з усіх компонентів імплантату.

Удосконалення хірургічних технік: точність та баланс

Оптимізація хірургічних технік спрямована на досягнення точного позиціонування компонентів, відновлення фізіологічної осі кінцівки та адекватного балансу м'яких тканин. Існують різні підходи до резекції кістки, зокрема, техніка вимірної резекції (measured resection) та техніка збалансування проміжків (gap balancing), а також їх гібридні варіанти. Вимірня резекція базується на анатомічних орієнтирах, тоді як збалансування проміжків пріоритезує досягнення рівномірного натягу зв'язок у згинанні та розгинанні.[1] Кінематичне вирівнювання (Kinematic Alignment - KA) є альтернативою традиційному механічному вирівнюванню (Mechanical Alignment - MA) і має на меті відновити індивідуальну доартрозну вісь суглоба пацієнта.[4] Цей підхід відображає фундаментальний зсув у філософії ЕКС – від прагнення до універсальної "ідеальної" нейтральної осі до визнання важливості індивідуальної анатомії для досягнення оптимальної функції. KA потенційно забезпечує більш природну кінематику та кращі функціональні результати, вимагаючи менше втручань у м'які тканини.[3] Точне відновлення ротації компонентів та балансу м'яких тканин є критично важливим для функції надколінника та загальної стабільності суглоба.[1]

Персоналізація в ендопротезуванні: індивідуальний підхід

Персоналізований підхід в ЕКС передбачає використання пацієнт-специфічних інструментів (PSI) та індивідуально виготовлених імплантатів (custom-made implants), розроблених на основі передопераційних даних комп'ютерної (КТ) або магнітно-резонансної (МРТ) томографії пацієнта.[16] Переваги такого підходу включають потенційно точніше позиціонування компонентів, краще прилягання імплантату до кісткової тканини, а також можливе зменшення часу операції та інтраопераційної крововтрати.[17] Клінічні дослідження вказують на можливе покращення функціональних результатів та підвищення задоволеності пацієнтів при використанні персоналізованих рішень. Технологія 3D-друку активно використовується для виготовлення індивідуальних шаблонів для резекції кістки, а в деяких випадках і самих імплантатів, особливо при наявності значних кісткових дефектів. Системи, такі як Persona Knee System, пропонують розширені опції розмірів та анатомічно адаптовані компоненти для кращого відтворення природної кінематики.[12] Ефективність персоналізованого підходу залежить від точності на всіх етапах: від збору даних та планування (з використанням комп'ютерного моделювання) до виготовлення (з використанням 3D-друку та відповідних матеріалів) та хірургічної реалізації (з можливою підтримкою навігаційних або роботизованих систем). Незважаючи на загальні переваги, існують певні занепокоєння щодо деяких типів персоналізованих імплантатів; наприклад, повідомлялося про відносно високу частоту асептичного розхитування стегнового компонента при пацієнт-специфічному однополюсному ендопротезуванні. Це вказує на те, що деталі дизайну навіть у кастомних імплантатах мають вирішальне значення і потребують подальших досліджень.

Роль комп'ютерного моделювання та робототехніки в оптимізації

Комп'ютерне моделювання та робототехніка трансформують ЕКС, перетворюючи його з процедури, що значною мірою покладається на досвід хірурга, на більш науково обґрунтований та керований даними процес. Аналіз методом скінчених елементів (FEA) використовується для оцінки напружено-деформованого стану кісткових тканин та компонентів імплантату, прогнозування зносу, оптимізації дизайну та хірургічних технік.[14] Моделювання багатотілової динаміки (MBD) дозволяє аналізувати кінематику та кінетику суглоба in vivo.[11] Обчислювальна гідродинаміка (CFD) застосовується для моделювання процесів змащення в штучних суглобах. Комп'ютерна навігація (CAS) та робот-асистовані системи (RA-ТКА) підвищують точність резекції кістки, позиціонування імплантатів та балансування м'яких тканин. RA-ТКА може сприяти зменшенню післяопераційних ускладнень та тривалості госпіталізації, а також покращенню точності вирівнювання.[15] Ці технології дозволяють проводити доклінічну оптимізацію та підвищувати передбачуваність результатів хірургічного втручання.

Висновок

Досягнуто значного прогресу в розумінні біомеханіки колінного суглоба, розробці нових матеріалів та впровадженні технологій для підвищення точності хірургічних втручань та персоналізації лікування. Проте, досягнення "забутого суглоба" для всіх пацієнтів залишається складним завданням. З невіршеними питаннями є довготривала виживаність нових імплантатів, оптимізація для специфічних груп пацієнтів, подальше зниження ризику ускладнень та економічна ефективність новітніх розробок.⁹ Існує певний розрив між технологічним потенціалом (наприклад, повне відтворення індивідуальної кінематики) та тим, що рутинно досягається в клінічній практиці. Подолання цього розриву вимагає не тільки подальших технологічних інновацій, але й кращого розуміння біологічних реакцій організму на імплантат.

Майбутні напрямки досліджень включають розробку "розумних" імплантатів, здатних адаптуватися до навантажень або вивільняти терапевтичні агенти; інтеграцію штучного інтелекту в передопераційне планування та інтраопераційну навігацію; розвиток регенеративних підходів; проведення довгострокових досліджень нових технологій; та поглиблене вивчення взаємодії "імплантат-організм" на клітинному та молекулярному рівнях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Total Knee Replacement Techniques - StatPearls - NCBI Bookshelf, 20, 2025, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538208/>
2. Comparison of in vivo knee kinematics before and after bicruciate 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8436441/>
3. The Future of TKA - Personalized Hip and Knee Joint Replacement, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK565763/>
4. Kinematic alignment in total knee arthroplasty - <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7407864/>
5. The Best Latest Innovations in Knee Implant Materials for, <https://plancherortho.com/the-best-latest-innovations-in-knee-implant-materials-for-arthroplasty/>
6. - Ревізійне ендопротезування кульшового та колінного суглобів - Клініка Angelholm, https://angelholm.ua/uk/services/reviziine_endoprotezuvannia_kulshovogo_ta_kolinnogo_suglobiv_4/
7. Early mechanical failure in total knee arthroplasty , <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2219938/>
8. Failure After Modern Total Knee Arthroplasty: A Prospective Study of, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5794604/>
9. Future directions in knee replacement - PubMed, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20408486/>
10. Evolution of TKA design - PMC, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6178992/>
11. Knee Joint Biomechanics in Physiological Conditions and How <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7160724/>
12. Differences in kinematics and kinetics during gait between total knee, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39667041/>
13. In Vivo Kinematic Comparison of a Bicruciate Stabilized Total Knee, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29066105/>
14. A Review on Biomaterials for Orthopaedic Surgery and <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9145924/>
15. Bioactive Coatings for Orthopaedic Implants—Recent Trends in Development of Implant Coatings - PMC, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4139820/>
16. Wear in total knee arthroplasty—just a question of polyethylene 5, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3923952/>
17. Номер № 3-4 (13-14) 2018 - Застосування імплантатів з покриттям матеріалом на основі біоактивного скла у пацієнтів після видалення пухлин кісток, доступ отримано травня 20, 2025, <https://tf-g.com.ua/info/articles/zastosuvannya-implantativ-z-pokrittjam-materialom-na-osnovi-bioaktivnogo-skla-u-patsijentiv-pislya-vidalennya-puhlin-kistok.html>

Сидорук Олег Олександрович - аспірант гр 163-23а, кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: **Коваль Леонід Григорович** - к.т.н., доцент, завідувач кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Oleh Oleksandrovych Sydoruk - graduate student gr 163-23a, department of biomedical engineering and optical-electronic systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Koval Leonid Hryhorovych - Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ТА СТАНУ ЛЮДИНИ В УМОВАХ РОЗУМНОГО СЕРЕДОВИЩА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі теоретично обґрунтовано підхід до моделювання взаємозв'язку між параметрами мікроклімату приміщення (температура, вологість, CO₂, освітленість) та функціональним станом людини. Запропоновано концепцію інтеграції такої моделі у медичну інформаційну систему, що функціонує в умовах розумного середовища. Особливу увагу приділено застосуванню методів штучного інтелекту та адаптивного регулювання з використанням біологічного зворотного зв'язку. Представлено структурну модель та підходи до формалізації взаємозалежностей між зовнішніми та внутрішніми фізіологічними параметрами.

Ключові слова: мікроклімат, функціональний стан, біосенсори, IoT, розумне середовище, медична інформаційна система, адаптивне керування.

ВСТУП

Параметри мікроклімату приміщень мають суттєвий вплив на фізіологічний стан людини. У контексті сучасної біомедичної інженерії зростає інтерес до інтеграції даних про мікроклімат з фізіологічними показниками для створення інтелектуальних систем підтримки життєдіяльності. Особливо це актуально в умовах лікувально-профілактичних закладів, навчальних приміщень, офісних просторів тощо, де мікрокліматичні умови можуть істотно впливати на працездатність, самопочуття та функціональний стан людини [1].

У наукових публікаціях останніх років з'являються окремі підходи до персоналізованого мікрокліматичного регулювання, однак відсутні цілісні моделі, що поєднують медичну інформацію, дані з сенсорних систем та механізми зворотного впливу на середовище. У цьому контексті важливо сформулювати теоретичну основу для побудови таких систем, з урахуванням індивідуальної фізіологічної реакції людини на параметри навколишнього середовища [1, 2].

Метою даної роботи є розробка структурної моделі, яка описує взаємозв'язок між параметрами мікроклімату та станом людини, і визначення ключових підходів до її застосування в медичних інформаційних системах адаптивного типу.

Новизна дослідження полягає в формалізації підходу до побудови моделі, що враховує взаємозв'язок між показниками мікроклімату та фізіологічним станом людини. Запропоновано концептуальну структуру такої моделі з можливістю її інтеграції в IT-системи розумного середовища. Теоретично обґрунтовано доцільність використання методів штучного інтелекту, таких як нейронні мережі, методи нечіткого виведення та багатофакторний аналіз, для реалізації адаптивного керування умовами середовища на основі індивідуального фізіологічного зворотного зв'язку [3].

ОСНОВНІ ПІДХОДИ

У рамках дослідження запропоновано концептуальний підхід до побудови системи, що враховує взаємозв'язок між параметрами мікроклімату приміщення та функціональним станом людини. Основу підходу становить ідея про створення адаптивного середовища, яке динамічно змінює свої параметри залежно від реакцій організму користувача. Такий підхід може бути реалізований як компонент медичної інформаційної системи в умовах «розумного середовища» [1, 5].

Передбачається, що система буде включати такі основні функціональні компоненти:

1. Модуль збору параметрів середовища та фізіологічного стану

Теоретично розглядається можливість використання наявних у літературі сенсорних технологій для моніторингу мікроклімату (температура, вологість, рівень CO₂, освітленість) та

базових фізіологічних показників людини (ЧСС, температура тіла, ШГР, частота дихання). Збір таких даних є необхідним для подальшого моделювання та аналізу [4].

2. Аналітичний блок

У межах концепції розглянуто можливість застосування методів:

- кореляційного та регресійного аналізу для визначення кількісного взаємозв'язку між параметрами середовища та реакцією організму;
- штучних нейронних мереж (зокрема багатошарових перцептронів або рекурентних мереж типу LSTM) для виявлення складних нелінійних залежностей;
- нечіткої логіки для формалізації експертних знань і прийняття рішень на основі нечітких вхідних змінних.

3. Модель зворотного зв'язку

Розробка математичної моделі, яка включає контур зворотного зв'язку між фізіологічними параметрами та регуляторами мікроклімату, є ключовим теоретичним завданням. Така модель має враховувати індивідуальні особливості користувача, допустимі межі параметрів, а також часову динаміку змін стану організму [6].

4. Концепція візуалізації та адаптивного керування

На рівні концепту запропоновано структуру, згідно з якою результати аналізу передбачають виведення рекомендацій або автоматизованих впливів на мікрокліматичні параметри (наприклад, через системи вентиляції, освітлення, обігріву). Усі рішення можуть бути представлені користувачу у вигляді інтерфейсу для нагляду за станом середовища та організму.

Таким чином, підхід ґрунтується на міждисциплінарному поєднанні біомедицинської інженерії, математичного моделювання, штучного інтелекту та елементів автоматичного керування. Основною метою є створення науково-обґрунтованої основи для подальшої реалізації інтелектуальних медико-орієнтованих систем адаптації мікроклімату.

РЕЗУЛЬТАТИ

У результаті дослідження пророблено концептуальну модель інформаційної системи, що дозволяє поєднати дані про параметри мікроклімату з фізіологічними показниками людини для подальшого аналізу та формування керуючих дій у розумному середовищі.

На основі аналізу літературних джерел та відомих принципів моделювання взаємодії людина–середовище, виділено ключові компоненти системи:

- **сенсорний рівень**, що передбачає збір мікрокліматичних параметрів та базових фізіологічних показників;
- **аналітичне ядро**, орієнтоване на багатofакторний аналіз, застосування нейромережевих моделей та нечіткого логічного виведення;
- **блок прийняття рішень**, у якому формуються рекомендації або сигнали керування на основі попереднього аналізу;
- **інтерфейс користувача**, який може забезпечити доступ до індивідуалізованої інформації про стан середовища та функціональний стан організму.

Було пророблено загальну структурну схему, яка демонструє потоки інформації між функціональними модулями системи. Теоретичний аналіз показує доцільність використання нечіткої логіки для прийняття рішень в умовах варіативності фізіологічних реакцій, а також потенціал нейромереж для адаптивного навчання моделі на основі індивідуальних даних.

Окреслено потенційні сценарії застосування моделі — в умовах лікувальних установ, навчальних закладів, офісів, де критичним є підтримання комфортного функціонального стану персоналу чи пацієнтів. Отримані результати створюють передумови для подальших емпіричних досліджень та реалізації програмно-апаратних прототипів таких систем.

ВИСНОВКИ

У роботі теоретично обґрунтовано підхід до побудови моделі взаємозв'язку параметрів мікроклімату приміщення та фізіологічного стану людини. Запропонована модель враховує можливість використання фізіологічних реакцій як зворотного зв'язку для адаптивного регулювання умов навколишнього середовища.

Запропонована концепція інтегрується у контекст розумного середовища та медичних інформаційних систем, що дозволяє поєднати моніторинг стану людини з керуванням

технічними засобами підтримки мікроклімату. Обґрунтовано використання таких методів, як неймережі, регресійний аналіз та нечітка логіка для формалізації й обробки багатofакторних залежностей між зовнішніми та внутрішніми параметрами.

Результати дослідження формують основу для подальших експериментальних та прикладних розробок, зокрема розробки адаптивних алгоритмів управління, персоналізованих інтерфейсів взаємодії та програмних модулів для інтеграції в eHealth-системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Павлов С. В., Салдан Й. Р., Злепко С. М. Контроль стану організму в системах eHealth. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 142 с.
2. Тимченко Л. І., Азаров О. Д. Системи сенсорного моніторингу.– Вінниця: ВНТУ, 2019.– 128 с.
3. ISO 7730:2005 – Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
4. World Health Organization. WHO guidelines on indoor air quality: selected pollutants. – Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2010.
5. Zuiderveld, Karel J. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization. In *Graphics Gems*, Academic Press, 1994.
6. Kovalchuk V. I. Modelling of biomedical processes: theoretical and applied aspects. – Kyiv: Naukova Dumka, 2022. – 256 p.

Пантелейчук Дмитро Олександрович – здобувач наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 163 Біомедична інженерія, група 163-23а, кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, vindims@gmail.com.

Науковий керівник: Костішин Сергій Володимирович – кандидат техн. наук, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, seruykost@gmail.com

MODEL OF THE INTERRELATIONSHIP BETWEEN MICROCLIMATE PARAMETERS AND HUMAN FUNCTIONAL STATE IN A SMART ENVIRONMENT

Abstract

The paper theoretically substantiates an approach to modeling the interrelationship between indoor microclimate parameters (temperature, humidity, CO₂, illuminance) and the functional state of a human. A concept is proposed for integrating such a model into a medical information system operating within a smart environment. Particular attention is paid to the use of artificial intelligence methods and adaptive regulation based on biological feedback. A structural model is presented along with approaches to formalizing the interdependencies between external and internal physiological parameters.

Keywords: microclimate, functional state, biosensors, IoT, smart environment, medical information system, adaptive control.

Dmytro Panteleichuk – Candidate for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 163 Biomedical Engineering, group 163-23a, Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, vindims@gmail.com.

Supervisor: Kostishin Serhii – candidate of Tech. of Sciences, Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, seruykost@gmail.com

МОДЕЛЬ РУКИ ЯК БІОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ В ПРОЦЕСІ ПРИЦІЛЮВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Дослідження аналізує біомеханіку руки в прицілюванні, охоплюючи анатомію, моделювання, вплив тремору, втоми та віддачі. Розглядається кінематична структура кисті для покращення процесу тренування і підвищення стабільності та точності процесу прицілювання.

Ключові слова: біомеханіка, стрільба, кисть, прицілювання.

Вступ

Людська рука є надзвичайно складною біологічною структурою, що виконує широкий спектр функцій, від грубого захоплення до точних, делікатних рухів, необхідних у повсякденному житті та професійній діяльності. Оцінка її функцій з біомеханічної точки зору включає такі аспекти, як антропометрія (вимірювання та розміри кисті), кінематика (рухи кисті та діапазон рухів суглобів пальців), кінетика (аналіз сил сухожиль та суглобів) та електроміографія (ЕМГ), що досліджує м'язову активність [1].

У контексті прицілювання з короткоствольної зброї, рука виступає як критично важливий інтерфейс між стрільцем та зброєю, безпосередньо впливаючи на точність та стабільність пострілу. Підтримання стабільної постави під час прицілювання є надзвичайно важливим для досягнення високої точності стрільби з пістолета. Властиві руці складність та адаптивність, що еволюціонували для тонкої маніпуляції, парадоксальним чином роблять її вирішальною для такого завдання, як стрільба, що вимагає як точності, так і стабільності проти зовнішніх динамічних сил. Це підкреслює фундаментальний біомеханічний виклик: перетворення системи, розробленої для складних, різноманітних рухів, на таку, що може підтримувати надзвичайну статичну стабільність під динамічними навантаженнями. Це вимагає не лише сили, а й активної стабілізації та надзвичайно точного скорочення м'язів для пригнічення небажаних рухів, що є ключовим для успішного прицілювання [1, 3, 4].

Біомеханічне моделювання кисті для аналізу прицілювання

Для всебічної оцінки функцій кисті з біомеханічної точки зору використовуються кілька методологій. Кінематика та кінетика кисті кількісно оцінюються та візуалізуються за допомогою протоколів функціонального тестування, що включають системи захоплення руху та багатоосьові тензодатчики. Дані руху використовуються для розрахунку кінематичного простору пальців, що відображає всі можливі положення, яких може досягти кожен палець. Ці сили, отримані за допомогою тензодатчика, перетворюються в ту ж координатну площину та накладаються на кінематичні простори кожного пальця для кожного учасника. Поєднання методологій (антропометрія, кінематика, кінетика, ЕМГ) забезпечує цілісний погляд на функцію руки, переходячи від простого спостереження до кількісних, прогностичних моделей. Цей багатомодальний підхід є важливим для захоплення складної, динамічної природи прицілювання, де тонкі зміни в активації м'язів та кутах суглобів можуть мати значний вплив на точність [2].

Біомеханічні моделі кисті є складними через її складну анатомію та велику кількість ступенів свободи (DOF). Повна модель людської кисті може мати близько 30 DOF. Однак моделі можуть бути спрощені для обчислювальної ефективності, наприклад, моделювання пальців як 4-DOF кінематичних ланцюгів (2 DOF у п'ястково-фаланговому (MCP) суглобі для відведення/приведення та згинання/розгинання, 1 DOF у проксимальному міжфаланговому (PIP) та 1 DOF у дистальному міжфаланговому (DIP) суглобах) та 3 DOF для обертання долоні, що загалом становить 23 DOF [2].

Існують багатотілові моделі, що симулюють рухи, такі як латеральний щипковий рух, шляхом застосування зовнішніх змінних у часі крутних моментів до суглобів пальців, що імітують мускулатуру, сухожилля та зв'язки. Ці моделі можуть генерувати анімовані представлення рухів та виводити динамічні змінні. Моделі, засновані на ЕМГ, можуть передбачати рухи передпліччя на основі легко вимірюваних сигналів sEMG від основних м'язів, таких як двоголовий та триголовий м'язи плеча. Ці моделі включають підмоделі для попередньої обробки sEMG, динаміки активації, динаміки скорочення та механіки опорно-рухового апарату, і можуть бути адаптовані до нових користувачів з мінімальними вимірюваннями, що робить їх практичними для швидкого розгортання. Розробка обчислювально ефективних біомеханічних моделей зі зменшеною кількістю DOF є критично важливим досягненням. Хоча повномасштабні динамічні симуляції є складними, ці спрощені моделі, особливо ті, що базуються на ЕМГ, пропонують практичний шлях для аналізу в реальному часі та прогностичного контролю в таких застосуваннях, як допоміжні пристрої або, за аналогією, передові системи тренування стрільби. Здатність передбачати рух за сигналами ЕМГ до того, як рух стане помітним, є революційною для проактивного контролю в завданнях високої точності, таких як стрільба. Це може призвести до систем, які "попередньо коригують" тремор або відхилення, що є ключовим для покращення прицілювання.

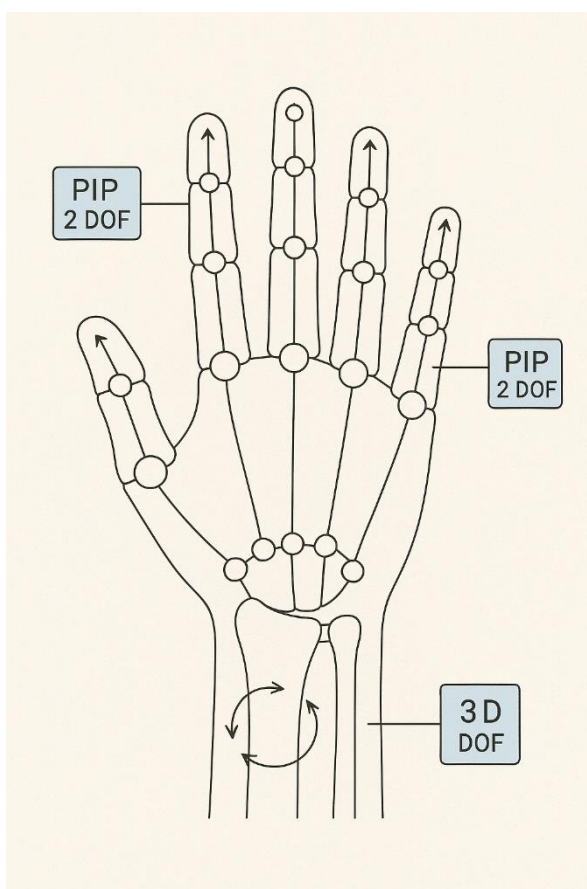


Рисунок 1 – Спрощена кінематична структура людської кисті з візуалізацією ступенів свободи (DOF) для пальців та долоні.

На рис. 1 позначені суглоби з числовим зазначенням їхніх DOF, а також можливі напрямки рухів, такі як згинання/розгинання та відведення/приведення. Цей рисунок дозволяє візуально оцінити як можна спростити кінематичну модель кисті для досягнення обчислювальної ефективності, зберігаючи при цьому достатню біомеханічну точність, що є критично важливою для практичного застосування.

Висновки

Модель руки як біомеханічної системи в процесі прицілювання з короткоствольної зброї є багатогранною концепцією, що охоплює складну анатомію, кінематику, кінетику, нервовий контроль та взаємодію зі зброєю. Оптимальна стрілецька ефективність залежить від здатності стрільця контролювати фізіологічний тремор, ефективно поглинати віддачу та підтримувати стабільний хват, що є результатом складної взаємодії м'язів, суглобів та сенсорного зворотного зв'язку. Біомеханічні моделі, від багатотілових симуляцій до ЕМГ-орієнтованих прогностичних систем, надають цінні інструменти для кількісної оцінки та оптимізації цих процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інноваційні технології фізичного виховання і спорту / Укладач: О. В. Юденко. – К.: Національний університет оборони України, 2024. – 360 с.
2. Спортивна стрільба з лука: основи й удосконалення спеціальної підготовленості : монографія / Б. А. Виноградський. – Л. : ЛДУФК, 2012. – 306 с - ISBN 978-966-2328-40-0
3. Wang, Y., Li, Y., & Li, Y.. The Effects of Hand Tremors on the Shooting Performance of Air Pistol Shooters with Different Skill Levels. – Sensors. – 2024. – № 24(8) – P. 2438.
4. Balance Training and Shooting Performance: The Role of Load and the Unstable Surface. / Goudas, K., et al.. // International Journal of Environmental Research and Public Health – 2024. –№ 21(1). – 93 p.
5. A biomechanical model for myoelectric hand prosthesis control systems / Peerdeman, B., et al. // 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), – 2015. – 126-129 p.

Костішин Сергій Володимирович – кандидат техн. наук, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, seruykost@gmail.com

MODEL OF HAND AS A BIOMECHANICAL SYSTEM IN THE AIMING PROCESS

Abstract

The study analyzes the biomechanics of the hand in aiming, covering anatomy, modeling, the effects of tremor, fatigue, and recoil. The kinematic structure of the hand is considered to improve the training process and increase the stability and accuracy of the aiming process.

Keywords: biomechanics, shooting, hand, aiming.

Kostishin Serhii – candidate of Tech. of Sciences, Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, seruykost@gmail.com

Матеріали для стоматологічних реставрацій та їх вибір

Вінницький національний технічний університет

Анотація. У матеріалах роботи наведено результати аналізу та вибору матеріалів для стоматологічних реставрацій. У стоматології формуються нові вимоги до технологій реставраційних робіт та матеріалів, які використовуються. Вибір оптимального матеріалу є важливим для забезпечення довговічності та функціональності реставрацій, особливо враховуючи вплив щоденних навантажень на зуби та зміну температури під час прийому їжі та напоїв. Дослідження, спрямовані на аналіз функціональних критеріїв матеріалів, дають змогу покращити клінічні результати та зменшити потребу в повторних реставраціях, що є важливим як з точки зору здоров'я пацієнтів, так і економічної ефективності. Для формування критеріїв вибору стоматологічних матеріалів використано такі фактори:

- забезпечення безпеки для пацієнта під час проведення стоматологічних маніпуляцій;
- прискорення виконуваних робіт при збереженні високої якості;
- спрощення завдання, яке стоїть перед стоматологом та забезпечення комфорту його роботи;
- надання стійкості стоматологічним конструкціям - імплантатам, коронкам, вінірам та ін;
- забезпечення високих гігієнічних стандартів та дотримання міжнародних медичних норм.

Ключові слова: кваліметрична оцінка, стоматологічні матеріали, фактори оцінки, критерії.

Підвищені сучасні вимоги до критеріїв якості життя формують у стоматології нові вимоги до технологій реставраційних робіт та матеріалів, які використовуються. Потрібні високі механічні, естетичні властивості, стійкість до впливів кислот, лугів, перепаду температур тощо, які відповідають сучасним стандартам якості. Поряд з високими твердістю та зносостійкістю необхідно забезпечити добру придатність до механічної обробки, ливарні властивості, відсутність шкідливих викидів під час виготовлення та експлуатації. Вибір оптимального матеріалу є важливим для забезпечення довговічності та функціональності реставрацій, особливо враховуючи вплив щоденних навантажень на зуби та зміну температури під час прийому їжі та напоїв. Дослідження, спрямовані на аналіз функціональних критеріїв матеріалів, дають змогу покращити клінічні результати та зменшити потребу в повторних реставраціях, що є важливим як з точки зору здоров'я пацієнтів, так і економічної ефективності.

Під час ортопедичного лікування використовується велика кількість основних і допоміжних стоматологічних матеріалів. Ці матеріали мають свої технологічні переваги та недоліки, різну економічну вартість та естетичний вигляд.

Від вибору матеріалів для стоматологічного кабінету безпосередньо залежить ефективність виконуваної дантистом роботи. Важливість постійної наявності цих компонентів у достатній кількості зумовлена такими факторами:

- забезпечення безпеки для пацієнта під час проведення стоматологічних маніпуляцій;
- прискорення виконуваних робіт при збереженні високої якості;
- спрощення завдання, яке стоїть перед стоматологом та забезпечення комфорту його роботи;
- надання стійкості стоматологічним конструкціям - імплантатам, коронкам, вінірам та ін;
- забезпечення високих гігієнічних стандартів та дотримання міжнародних медичних норм.

Не всі стоматологічні матеріали можуть якісно сприяти реалізації цих завдань. Тому вибір кожного елемента має бути продуманим. Для кожного конкретного випадку протезування виникає проблема оптимального вибору матеріалів, технологій та відповідного обладнання. Із конструкційних матеріалів для ортопедичних стоматологічних конструкцій доцільно виділити стоматологічні пластмаси, покривні лаки та цементи для постійної фіксації зубних протезів, а також функціонально-конструкційні матеріали (підкладочні силіконові й адгезивні). Для їх порівняння та вибору необхідно застосувати відповідні кваліметричні показники. Продукцію вивчають за декількома параметрами у відповідності до ISO-14569. Завданням даної роботи є розробка методики оцінки матеріалів за комплексом факторів.

Серед сучасних матеріалів для зубопротезування потрібно виділити:

- композитні матеріали – це стоматологічні конструкції синтетичного походження, що використовуються для виготовлення різних протезів. Композит – стоматологічний матеріал, що забезпечує ефективну естетичну реставрацію коронок зубів, оскільки за структурою та зовнішнім виглядом він схожий з натуральною зубною емаллю:

- керамічні та металокерамічні конструкції – це основні стоматологічні матеріали, що стають головною альтернативою композиту. Вони представлені керамічними масами, які випалюють у стоматологічних печах для отримання протезів, коронок, вінірів, накладок та інших елементів;

- металеві конструкції, представлені в стоматологічній практиці – це елементи, виготовлені зі сплавів. У більшості випадків використовуються нержавіючі сталі, сплави титану та нікель-титану, сплави золото-платина, срібло-паладій. Вони призначені для виготовлення незнімних протезів, брекет-систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Янішен І. В. Кваліметрична систематизація стоматологічних матеріалів: клініко-технологічна комплаєнтність акрилових пластмас для базису знімного протеза / І. В. Янішен // Вісник проблем біології та медицини. – 2015. – Вип. 2, вип. 2 (119). – С. 271–275.
2. Пат. 45911, Україна, МПК А61В 10/00. Спосіб оцінки клініко-технологічної якості силіконового відбиткового матеріалу / В. П. Голік, І. М. Ярина, І. В. Янішен, С. П. Шкляр / Оpubл. 25.11.2009. – Промислова власність, 2009. – 2. – № 9. [Україна].

Вітавський Максим Олександрович, аспірант, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, vit24asp@gmail.com

Савуляк Валерій Іванович, д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, korsav84@gmail.com

MATERIALS FOR DENTAL RESTORATIONS AND THEIR SELECTION

Abstract. The materials of the work present the results of the analysis and selection of materials for dental restorations. In dentistry, new requirements are being formed for the technologies of restoration work and the materials used. The choice of the optimal material is important for ensuring the durability and functionality of restorations, especially taking into account the impact of daily loads on teeth and temperature changes during eating and drinking. Studies aimed at analyzing the functional criteria of materials make it possible to improve clinical results and reduce the need for repeated restorations, which is important both from the point of view of patient health and economic efficiency. The following factors were used to form the criteria for selecting dental materials:

- ensuring safety for the patient during dental manipulations;
- accelerating the work performed while maintaining high quality;
- simplifying the task facing the dentist and ensuring the comfort of his work;
- providing stability to dental structures - implants, crowns, veneers, etc.;
- ensuring high hygiene standards and compliance with international medical standards.

Keywords: qualimetric assessment, dental materials, assessment factors, criteria

Vitavsky Maksym Oleksandrovysh, PhD student, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, vit24asp@gmail.com

Savulyak Valeriy Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, korsav84@gmail.com

ГЕМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕХАНІЧНИХ ШТУЧНИХ КЛАПАНІВ СЕРЦЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто гемодинамічні властивості механічних штучних серцевих клапанів у контексті їхньої еволюції, сучасних моделей та клінічних аспектів застосування. Розглянуто еволюцію типів клапанів та сучасні підходи до їх гемодинамічної оцінки. На основі аналізу досліджень оцінено показники: ефективна площа отвору, градієнт тиску, напруження зсуву за Рейнольдсом, в'язке напруження зсуву та ризик ускладнень.

Ключові слова: гемодинаміка, механічний клапан серця, ефективна площа отвору, хірургія клапана.

Вступ

Серцеві клапани відіграють ключову роль у забезпеченні одномірного потоку крові в серці та між серцем і великими судинами. Порушення їх структури або функції – наслідок вроджених вад, ревматичних уражень, дегенеративних змін або інфекційних процесів – часто потребують хірургічного втручання у вигляді протезування. Механічні штучні серцеві клапани, такі як двостулкові, нахилені дискові та кульові, широко застосовуються для заміни пошкоджених природних клапанів завдяки їх високій зносостійкості та довговічності – термін служби таких протезів становить 20–30 років або більше. Однак вони мають вищу тромбогенність порівняно з біопротезами, що вимагає пожиттєвої антикоагуляції. Гемодинамічні властивості цих клапанів, зокрема градієнти тиску, ефективна площа отвору (ЕОА) та турбулентність потоку, визначають їхню функціональність і ризик ускладнень, таких як тромбоз механічного клапана, річна частота якого становить 0,1–5,7% [1].

Перші механічні клапани, зокрема кулькові моделі на кшталт Starr-Edwards, мали значні гемодинамічні недоліки, включаючи створення турбулентного потоку та підвищений ризик тромбоутворення. Згодом були розроблені клапани з нахиленим диском і двостулкові конструкції, які значно покращили гемодинамічні властивості. Проте жоден з сучасних механічних клапанів не є повністю фізіологічним замінником нативної анатомічної структури. У світлі розвитку технологій виготовлення клапанів і появи нових підходів до їх дослідження, зокрема за допомогою *in vitro* стендових моделей, прецизійної ехокардіографії, комп'ютерної томографії, моделювання рідинної динаміки, актуальним є систематичний аналіз сучасних даних про гемодинаміку механічних клапанів різних типів.

Результати дослідження

Гемодинамічні властивості механічного клапана – це сукупність характеристик, що визначають його здатність забезпечувати адекватний потік крові при мінімальних втратах енергії та без шкоди для кровообігу. Основними параметрами, що оцінюються у дослідженнях і клінічній практиці, є: ефективна площа отвору (ЕОА), усереднений та піковий градієнт тиску, пікова швидкість потоку (V_{max}), напруження зсуву за Рейнольдсом (RSS), в'язке напруження зсуву (VSS), індекс доплерівської швидкості тощо. Від цих показників залежить як функціональність протеза, так і ризик таких ускладнень, як тромбоз, гемоліз, ендокардит і регургітація [2].

Типи механічних серцевих клапанів:

1. Кулькові клапани. Першим комерційно доступним механічним клапаном був клапан Starr-Edwards (1960-ті роки), який складався з металеві сітки (клітки) та кульки з силікону або титану, покритої піролітичним вуглецем. Така конструкція створювала значний опір потоку крові, викликала турбулентність, підвищувала зсувні напруження і, як наслідок, ризик тромбоутворення.

Попри виняткову довговічність (деякі моделі функціонували понад 30 років), ці клапани більше не застосовуються в сучасній практиці через незадовільні гемодинамічні характеристики.

2. Клапани з нахиленим диском. З метою зменшення турбулентності були розроблені клапани з нахиленим (одностулковим) диском, серед яких поширеними є Björk-Shiley та Medtronic Hall. Ці клапани мають диск, що відкривається під кутом, створюючи два потоки: центральний та периферійний. Це дозволило покращити ефективну площу отвору (ЕОА) та знизити градієнт тиску в порівнянні з кульковими моделями, проте потік залишався асиметричним, а односторонній характер відкриття викликав нерівномірне навантаження на стінки судин.

3. Двостулкові клапани. Найбільш широко застосовуваними сьогодні є двостулкові механічні клапани, такі як St. Jude Medical (SJM), ATS Medical, Carbomedics та On-X. Вони складаються з двох симетричних напівциркулярних дисків, які відкриваються одночасно, формуючи три потоки: центральний і два периферійних. Така конструкція мінімізує опір потоку, покращує ЕОА і знижує турбулентність. Наприклад, дослідження Natoum et al. показало, що клапан SJM мав найбільший ЕОА серед порівнюваних зразків – $1,96 \pm 0,02 \text{ см}^2$, а рівень RSS та VSS був значно нижчий, ніж у попередніх моделей.

Сучасні двостулкові клапани мають додаткові переваги завдяки вдосконаленим матеріалам – піролітичний вуглець, титанові кільця, антиадгезивні покриття. Деякі моделі, як On-X, демонструють покращену аеродинаміку і навіть допускають зниження цільового INR до 1.5–2.0 у вибраних пацієнтів, що потенційно знижує ризик кровотеч. Проте, згідно з даними багатьох клінічних досліджень, тип протеза має менший вплив на гемодинамічні результати порівняно з такими чинниками, як площа поверхні тіла пацієнта та розмір імплантованого клапана.

Перші покоління клапанів мали спрощену конструкцію, що забезпечувала базову функцію, проте була далекою від фізіологічних показників гемодинаміки. Сучасні моделі демонструють вдосконалені характеристики завдяки прогресу в матеріалознавстві, біоінженерії та комп'ютерному моделюванні. Попри технічне вдосконалення, всі механічні клапани вимагають довічної антикоагулянтної терапії – головним чином через залишковий ризик тромбоутворення, спричинений неприродною геометрією потоку крові та високим зсувним навантаженням. Тромбоз, регургітація, гемоліз та ендокардит залишаються провідними ускладненнями, що обмежують безпечність довготривалого використання механічних клапанів.

Розглянемо основні критерії оцінки гемодинамічних властивостей механічних клапанів:

1. Ефективна площа отвору (ЕОА) – це індикатор того, наскільки «відкритим» є клапан під час систоли. Більше значення ЕОА свідчить про менший опір кровотоку і, відповідно, нижче навантаження на серце. Ефективна площа отвору обчислюється за допомогою рівняння [3]:

$$EOA = \frac{Q_{rms}}{51,6\sqrt{PG}} \quad (1)$$

де, Q_{rms} – середньоквадратичне значення потоку через аортальний клапан протягом періоду позитивного перепаду тиску, $[\text{см}^3/\text{с}]$;

PG – середня різниця тиску виміряна протягом періоду позитивного перепаду тиску, $[\text{мм рт. ст.}]$.

Механічний клапан SJM продемонстрував ЕОА $1,96 \pm 0,02 \text{ см}^2$, що більше, ніж у біопротезів аналогічного розміру (наприклад, Hancock II – $1,05 \text{ см}^2$). On-X та ATS також показали схожі або трохи вищі значення ЕОА у порівнянні з іншими двостулковими моделями.

2. Середній градієнт тиску (MPG) є іншим важливим параметром. Він характеризує опір клапана кровотоку під час систоли. Порівнявши три моделі механічних клапанів (On-X, ATS, Bicarbon) було досліджено, що незалежно від моделі градієнти тиску були подібними і залишались стабільними протягом перших шести місяців після операції, без статистично значущих відмінностей [4].

Для клінічних цілей зазвичай розраховується середній градієнт тиску, який обчислюється на основі інтеграції миттєвих градієнтів протягом усієї систоли. Це робиться автоматично в ехокардіографічному обладнанні за допомогою рівняння:

$$MPG = \int_{t_1}^{t_2} 4V(t)^2 dt \quad (2)$$

де, $V(t)$ – швидкість кровотоку в момент часу t , $[\text{м/с}]$;

t_1 – початок фази потоку через клапан, $[\text{с}]$;

t_2 – початок фази потоку через клапан, $[\text{с}]$.

3. Турбулентність і зсувне напруження. Одним із головних недоліків механічних клапанів, особливо ранніх моделей, є формування турбулентного потоку за клапаном, що може призводити до гемолізу та підвищення ризику тромбоутворення. Дослідження показало, що рівень RSS та VSS був найвищим у кульковому клапані Starr-Edwards і значно нижчим у двостулкових моделях, таких як SJM. Водночас, біоклапан Evolut має вищі показники RSS/VSS, ніж механічний SJM, що свідчить про перевагу останнього з точки зору ламінарного потоку.

4. Поведінка при стресі. У дослідженнях продемонстровано, що під впливом добутаміну об'ємний кровотік, V_{max} та градієнт тиску зростали як у нативному, так і у протезованому клапані. Втім, ріст градієнта був значно стрімкішим у протезі, що свідчить про його нижчу адаптивність до фізіологічного стресу [5].

Розглянуті гемодинамічні параметри механічних клапанів серця неведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Гемодинамічні параметри механічних клапанів серця

Параметр	Starr-Edwards	Björk-Shiley	SJM	On-X	ATS
Тип	Кульковий	Однодисковий	Двостулковий	Двостулковий	Двостулковий
EOA (см ²)	~1,0	~1,4	~1,9-2,1	~2,0-2,1	~1,8-2,0
MPG	Високий	Середній	Низький	Низький	Низький
RSS / VSS	Дуже високу	Високі	Помірні	Помірні/низькі	Помірні
Поведінка при стресі	Жорстка	Помірна	Адаптивна	Стабільна	Стабільна

Висновки

Проведений аналіз свідчить про значний прогрес у сфері клапанного протезування, що полягає у переході від примітивних кулькових моделей до високотехнологічних двостулкових конструкцій з оптимізованою гемодинамікою. Зокрема, сучасні моделі, такі як SJM, On-X та ATS, демонструють стабільно низькі градієнти тиску, покращену ефективну площу отвору, знижену турбулентність потоку та, відповідно, нижчий ризик гемолізу і тромбоутворення.

Проте, попри суттєве вдосконалення дизайну та матеріалів, механічні клапани досі не є повністю фізіологічними пристроями. Турбулентні потоки, зсувне напруження та необхідність у довічній антикоагулянтній терапії залишаються актуальними клінічними викликами.

Отже, механічні клапани забезпечують надійне та ефективне гемодинамічне рішення при клапанному ураженні, однак залишаються далеко не ідеальними. Подальша еволюція в цій галузі має бути спрямована не лише на продовження терміну служби клапана, а й на наближення його функціональних властивостей до природного прототипу – живого серцевого клапана.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Soria Jiménez C. E., Papolos A. I., Kenigsberg B. B., et al. (2023). Management of Mechanical Prosthetic Heart Valve Thrombosis. *Journal of the American College of Cardiology*, 81(21), 2115–2127. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2023.03.412>
2. Carnazzo M.C., Al Ibraheem B.M., Calvin A.D. (2024). Severe Prosthetic Mitral Valve Regurgitation Hidden by Acoustic Shadowing: The Importance of Spectral Doppler in Prosthetic Valve Assessment. *CASE: Cardiovascular Imaging Case Reports*, 8(6), 359–363. <https://doi.org/10.1016/j.case.2024.03.004>
3. Hatoum H et al. Flow dynamics of surgical and transcatheter aortic valves: Past to present. *JTCVS Open*. 2022;9:43-56. <https://doi.org/10.1016/j.xjon.2022.01.017>
4. Algarni K.D., Hassan A., Elhenawy A. (2021). Early Hemodynamic Profile after Aortic Valve Replacement - A Comparison between Three Mechanical Valves. *Journal of Cardiac Surgery*, 36(6), 1931–1937. <https://doi.org/10.21470/1678-9741-2020-0273>
5. Choo S.J., Kim K.I., Park N.H., et al. Development of an Animal Experimental Model for a Bileaflet Mechanical Heart Valve Prosthesis. *J Korean Med Sci*. 2004;19:37-41. <https://doi.org/10.3346/jkms.2004.19.1.37>

Дячук Олексій Олександрович – аспірант кафедри БМІОЕС, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: dayte2@gmail.com

Тимчик Сергій Васильович – канд. техн. наук, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: tymchyksv@ukr.net

HEMODYNAMIC PROPERTIES OF MECHANICAL ARTIFICIAL HEART VALVES

Abstract

The paper reviews the hemodynamic properties of mechanical prosthetic heart valves in the context of their evolution, modern models, and clinical applications. The evolution of valve types and modern approaches to their hemodynamic assessment are reviewed. Based on the analysis of studies, the following indicators were evaluated: effective orifice area, pressure gradient, Reynolds shear stress, viscous shear stress, and the risk of complications..

Keywords: hemodynamics, mechanical heart valve, effective orifice area, valve surgery.

Diachuk Oleksii O. – graduate student of the Department of BMIOES, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: dayte2@gmail.com

Tymchyk Serhii V. – Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tymchyksv@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ АРХІТЕКТУР НЕЙРОМЕРЕЖ В ЗАДАЧАХ КЛАСИФІКАЦІЇ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація: Дана робота присвячена аналізу можливих варіантів обробки біомедичних зображень за допомогою нейронних мереж в задачах класифікації. Оглянуті наукові публікації демонструють сучасні завдання які стоять перед класифікацією, а саме підготовка зображень та вибір способу за яким буде проведена класифікація. Отримані результати вказують на основні проблеми якості та кількості зображень, а також вибір способу обробки зображень у виборі між готовими “важкими” рішеннями у вигляді фреймворків та полегшеним самостійно розробленим рішенням.

Ключові слова: *ШІ, машинне навчання, нейронні мережі, згорткові нейронні мережі, ендоскопія, ResNet, DenseNet, класифікація, капсульна ендоскопія, залишкова нейронна мережа*

Вступ

Застосування глибоких згорткових нейронних мереж (CNN) у задачах класифікації біомедичних зображень, зокрема в ендоскопії, демонструє значне підвищення точності діагностики та отримання результатів. Водночас ефективність мережі значною мірою залежить від її архітектури — кількості слоїв, наявності залишкових зв'язків, кількості параметрів та підходів до ініціалізації. Незважаючи на активне впровадження CNN у медичну практику, відсутні чіткі підходи до вибору оптимальної архітектури для конкретних задач. Дана робота зосереджена на дослідженні особливостей побудови різних архітектур нейромереж та їхній вплив на точність, стабільність і прогнозованість результатів класифікації на прикладі публічних наборів даних, включно з HyperKvasir [1].

Результати дослідження

Мета даного дослідження полягає у визначенні особливостей побудови згорткових нейронних мереж для обробки біомедичних зображень. Загалом прийнята базова структура нейромереж включає в собі вхідні дані або вхідні шари згортки, приховані шари згортки, повністю з'єднані шари і softmax шар, і насамкінець вихідний шар з результатом прогнозу. Описана структура варіюється в параметрах кількості шарів, спосіб їх об'єднання та функцій активації в залежності від архітектури мережі [2]. При обробленні нейромережею біомедичного зображення, береться до уваги просторова інформація зображення та перетворюється у карти особливостей для передачі в наступні шари для аналізу і класифікації. В роботах [1, 2] фокусується увага на декількох архітектурних рішеннях нейромереж, а саме DenseNet-161, ResNet-152, VGG-16 та запропонована полегшена архітектура [1] порівняна з VGG-16. Слід зазначити що перераховані архітектури мають в собі різну кількість шарів згортки, на що вказує числове значення в кінці аббревіатури. Розглянуті джерела визначають проблематику точності класифікації, акцентуючи увагу на проблемах з якими стикаються дослідники, а саме якість та кількість даних. Інколи вхідні зображення з ендоскопічного обладнання можуть мати низьку роздільну здатність [1, 2], оскільки апарати не завжди оновлюються. Низька якість, контрастність та роздільна здатність суттєво впливають на метрики за якими оцінюють результати роботи мережі. Авторами [1] було проведено дослідження роботи вибраних нейромереж на базі зображень HyperKvasir і було порівняно порівняння результатів прогнозів мереж. Основний підхід авторів різниться, оскільки в статті [1] представлена написана власноруч полегшена нейромережа, а стаття [2] представляє використання готових ваг ImageNet для дотренування DenseNet та ResNet.

Результати продемонстровані в статті [1], вказують на проблематику роздільної здатності зображень пропорційно до метрик якості класифікації зображення, оскільки було проведено тренування моделі на різних розмірах зображення від 32x32 до 512x512 (порогове

значення в базі зображень).

Інше дослідження[2] сфокусоване на мультикласифікаторі для визначення рівня чистоти шлунково кишкового тракту під час огляду капсульною ендоскопією та вказують на основну проблематику компромісу між продуктивністю та обчислювальними ресурсами. Авторами було представлено полегшену нейромережу з мінімальним набором шарів без використання готових рішень у вигляді фреймворків, що в свою чергу дозволило зменшити споживання пам'яті і досягти швидких і точних результатів прогнозування.

Висновки

В роботі було оглянуто деякі аспекти побудови архітектури нейромережі з орієнтацією на складність задач. Основні завдання при розробці архітектур нейромереж в задачах класифікації зображень представляють собою баланс між якістю та кількістю вхідних даних та глибиною нейромережі. Крім того, акцентується увага на можливостях застосування самостійно розроблених нейромереж на противагу готовим рішенням у вигляді фреймворків під конкретну задачу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Thambawita, V., Strümke, I., Hicks, S. A., Halvorsen, P., Parasa, S., & Riegler, M. A. (2021). Impact of Image Resolution on Deep Learning Performance in Endoscopy Image Classification: An Experimental Study Using a Large Dataset of Endoscopic Images. *Diagnostics*, 11(12), 2183. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11122183>
2. Noorda, R., Nevárez, A., Colomer, A., Pons Beltrán, V., & Naranjo, V. (2020). Automatic evaluation of degree of cleanliness in capsule endoscopy based on a novel CNN architecture. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74668-8>

Пуданен Юрій Євгенович — аспірант кафедри БМІОЕС, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mcpchip@gmail.com;

Кожем'яко Андрій Вікторович — кандидат техн. наук, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

ARCHITECTURAL CHARACTERISTICS OF NEURAL NETWORKS IN BIOMEDICAL IMAGE CLASSIFICATION

Vinnitsia National Technical University

Abstract: This work is dedicated to the analysis of possible approaches to biomedical image processing using neural networks for classification tasks. The reviewed scientific publications highlight current challenges in the classification domain, particularly in terms of image preprocessing and the choice of classification methodology. The obtained findings indicate key issues related to image quality and dataset size, as well as the selection between comprehensive, framework-based solutions and lightweight, custom-built models.

Keywords: *artificial intelligence, machine learning, neural networks, convolutional neural networks, endoscopy, ResNet, DenseNet, classification, capsule endoscopy, residual neural network*

Yurii Yevhenovych Poudanien – Post-Graduate student the Biomedical Engineering, e-mail: mcpchip@gmail.com.

Kozhemiako Andrii Viktorovych — Candidate of Engineering Sciences, docent of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia.

ПІДБІР АПАРАТУРИ ДЛЯ МОБІЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ НАСЕЛЕННЯ: КРИТЕРІЇ ТА ПІДХОДИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезах розглянуто актуальну проблему підбору апаратури для організації мобільних діагностичних комплексів для населення. Визначено основні групи портативного медичного обладнання та обґрунтовано ключові критерії його вибору, враховуючи технічні, експлуатаційні, економічні та медичні аспекти. Запропоновано підхід до формування оптимальних комплектів обладнання залежно від цілей та умов проведення діагностики.

Ключові слова: мобільна діагностика, медичне обладнання, портативна апаратура, телемедицина, критерії вибору, охорона здоров'я.

ВСТУП

Розвиток технологій та зростаюча потреба у доступній медичній допомозі, особливо для населення віддалених районів, маломобільних груп та в умовах надзвичайних ситуацій, стимулюють розвиток мобільної діагностики. Мобільні діагностичні комплекси дозволяють проводити скринінгові обстеження, первинну діагностику та моніторинг стану здоров'я пацієнтів поза стінами стаціонарних медичних закладів. Ефективність таких комплексів значною мірою залежить від правильності підбору необхідної апаратури. Однак, широкий спектр портативного медичного обладнання, його різні характеристики, вартість та функціональні можливості ускладнюють процес вибору оптимального комплексу для конкретних завдань. Відсутність чітких критеріїв та уніфікованих підходів до підбору апаратури для різних сценаріїв мобільної діагностики зумовлює актуальність даного дослідження.

МЕТА РОБОТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є розробка та обґрунтування ключових критеріїв підбору апаратури для мобільних діагностичних комплексів з урахуванням специфіки їх застосування та аналіз існуючих рішень для формування підходів до комплектування.

Для досягнення поставленої мети було проведено аналіз наукової та технічної літератури, присвяченої питанням мобільної медицини, телемедицини та портативного медичного обладнання. Здійснено маркетинговий аналіз наявних на ринку портативних діагностичних пристроїв різних класів. Застосовано методи систематизації та узагальнення для формування переліку вимог до апаратури залежно від виду мобільної діагностики (наприклад, загальний огляд, скринінг на певні захворювання, моніторинг хронічних станів). Використано елементи експертної оцінки для визначення пріоритетності критеріїв.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ

В ході дослідження було визначено основні групи апаратури, що використовуються в мобільній діагностиці:

1. Прилади для вимірювання базових фізіологічних параметрів (пульсоксиметри, термометри, тонометри, глюкометри).
2. Обладнання для візуалізації (портативні УЗД-апарати, дерматоскопи, отоскопи з функцією відео).
3. Пристрої для електрофізіологічних досліджень (портативні ЕКГ-апарати).
4. Комплекти для забору біологічних зразків та експрес-аналізу.
5. Телемедичні комплекти (камери високої роздільної здатності, аудіообладнання, пристрої для передачі даних).

Розроблено систему критеріїв оцінки та підбору апаратури, яка включає:

- **Технічні критерії:** точність вимірювань, надійність, портативність (вага, розмір, ергономіка), автономність роботи від джерела живлення, можливості бездротового зв'язку (Wi-Fi, Bluetooth, мобільні мережі), захищеність від зовнішніх факторів (волога, пил), сумісність з програмним забезпеченням для збору та передачі даних.

- **Експлуатаційні критерії:** зручність та простота використання для медичного персоналу, час підготовки приладу до роботи, вимоги до калібрування та обслуговування, наявність витратних матеріалів.

- **Економічні критерії:** вартість придбання обладнання, вартість витратних матеріалів, витрати на обслуговування та ремонт.

- **Медичні критерії:** відповідність стандартам діагностики для конкретного типу дослідження, безпека для пацієнта та медичного працівника, наявність необхідної сертифікації в Україні.

Обґрунтовано, що оптимальний підбір апаратури має здійснюватися на основі комплексного аналізу потреб цільової групи населення, виду діагностичних послуг, які планується надавати, умов експлуатації обладнання та наявного бюджету. Запропоновані критерії дозволяють систематизувати процес вибору та формувати типові комплекти обладнання для мобільних діагностичних бригад різного призначення.

ВИСНОВОК

Проведене дослідження дозволило визначити ключові аспекти підбору апаратури для мобільної діагностики населення та розробити систему критеріїв, яка враховує технічні, експлуатаційні, економічні та медичні фактори. Запропонований підхід сприяє формуванню ефективних та рентабельних мобільних діагностичних комплексів, що, в свою чергу, підвищує доступність медичної допомоги для широких верств населення. Перспективи подальших досліджень полягають у розробці методик оцінки ефективності використання різних комплектів обладнання в реальних умовах та створенні рекомендацій для формування специфічних комплектів для конкретних програм скринінгу або моніторингу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Патологічна фізіологія : підручник / за ред. М.Н. Зайка, Ю.В. Биця. – 6-те вид., перероб. і допов. – Київ : ВСВ "Медицина", 2015. – 720 с.
2. Коваленко В. М. Серцево-судинні захворювання в Україні: динаміка та перспективи / В. М. Коваленко, О. М. Дорогой // Український кардіологічний журнал. – 2016. – № 1. – С. 5–14.
3. Телемедицина. Базові аспекти : монографія / В.І. Гриб, С.О. Пронін, Ю.В. Пронін, В.Б. Авраменко. – Харків : Колегіум, 2018. – 196 с.
4. Всесвітня організація охорони здоров'я. Мобільне здоров'я. [Електронний ресурс]. – Дата оновлення: 09.06.2023. – Режим доступу: https://www.who.int/topics/mobile_health/en/ (дата звернення: 19.05.2025).

Поліщук Олександр Володимирович – здобувач наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 163 Біомедична інженерія, група 163-23а, кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, vindims@gmail.com.

Науковий керівник: Костішин Сергій Володимирович – кандидат техн. наук, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, seruykost@gmail.com

MODEL OF THE INTERRELATIONSHIP BETWEEN MICROCLIMATE PARAMETERS AND HUMAN FUNCTIONAL STATE IN A SMART ENVIRONMENT

Abstract

The theses consider the current problem of selecting equipment for organizing mobile diagnostic complexes for the population. The main groups of portable medical equipment are identified and the key criteria for its selection are substantiated, taking into account technical, operational, economic

and medical aspects. An approach to forming optimal equipment sets depending on the goals and conditions of diagnostics is proposed.

Keywords: mobile diagnostics, medical equipment, portable equipment, telemedicine, selection criteria, health care.

Oleksander Polishyk – Candidate for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 163 Biomedical Engineering, group 163-23a, Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, vindims@gmail.com.

Supervisor: Kostishin Serhii – candidate of Tech. of Sciences, Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, seruykost@gmail.com

РОЗРОБКИ ІМПЛАНТОВАНИХ НЕЙРОІНТЕРФЕЙСІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Розглянуто особливості використання імплантованих нейроінтерфейсів. Проаналізовано основні методи. Розглянуто досягнення закордонних фірм та науковців з України.

Ключові слова: імплантат, нейроінтерфейс, мікроелектродні решітки, біоенергетичними системами живлення імплантів

Розробки імплантованих нейроінтерфейсів [1-3] є одним із важливих напрямів нейротехнологій, які поєднують досягнення нейрофізіології, біоінженерії, мікроелектроніки та штучного інтелекту. Імплантовані нейроінтерфейси, або інвазивні інтерфейси мозок-комп'ютер, забезпечують пряме з'єднання між мозком людини та зовнішніми електронними пристроями з метою зчитування, аналізу або стимуляції мозкової активності. Сучасні розробки у цій сфері спрямовані на мініатюризацію імплантів та підвищення їх біосумісності: використовуються нові матеріали, як-от графен, наноструктуровані полімери та вуглецеві волокна, що зменшують запальні реакції й дозволяють довготривале використання пристроїв без серйозного впливу на тканини мозку. Особливу увагу приділено розробці інтелектуальних алгоритмів для обробки нейросигналів, зокрема методів машинного навчання, які дозволяють точно розпізнавати наміри пацієнта, наприклад, для керування протезами або курсором. З'являються моделі з двостороннім зв'язком, здатні не лише зчитувати активність, а й здійснювати електростимуляцію для відновлення функцій, таких як зір, слух чи контроль м'язів. Удосконалення технологій бездротової передачі даних дозволяє уникнути зовнішніх кабелів, зменшуючи ризик інфекцій і підвищуючи комфорт пацієнта. Окремі проєкти, як-от Neuralink, BrainGate та інші, вже тестують імпланти, здатні функціонувати роками з високою точністю без значного впливу на організм. Практичне застосування таких систем охоплює сфери реабілітації після травм спинного мозку, керування роботизованими протезами думкою, лікування неврологічних захворювань через глибоку мозкову стимуляцію, а також відкриває перспективи комунікації для осіб з повним паралічем. Водночас такі технології потребують суворого етичного контролю та правового регулювання, оскільки вони прямо взаємодіють із центральною нервовою системою людини і можуть впливати не лише на функції, а й на особистість.

Подальші дослідження у сфері імплантованих нейроінтерфейсів зосереджуються на підвищенні щільності каналів запису для одночасного зчитування активності з тисяч нейронів, що дозволяє досягти вищої роздільної здатності в передачі сигналів від мозку до пристрою. Вчені працюють над створенням самонавчальних інтерфейсів, які здатні адаптуватися до нейропластичності мозку, змінюючи схеми декодування сигналів у процесі взаємодії з користувачем. Такий підхід особливо актуальний для пацієнтів з нейродегенеративними розладами, де функціональний стан мозку поступово змінюється. Також ведуться роботи над біоенергетичними системами живлення імплантів, зокрема використання енергії тепла тіла або біохімічних процесів для автономного функціонування без потреби в заміні батарей. Перспективним напрямом є також інтеграція імплантованих нейроінтерфейсів із віртуальною та доповненою реальністю, що дозволяє створити нові форми взаємодії між мозком і цифровим середовищем. У військовій сфері такі інтерфейси розглядаються як засіб підвищення когнітивних можливостей бійців, а в цивільному секторі — як основа для створення нейроасистентів і пристроїв для розширення людських можливостей. У медичній практиці імпланти застосовуються для реабілітації після інсультів, контролю епілептичних нападів, лікування депресії та синдрому хронічного болю. Низка експериментів уже продемонструвала успішне відновлення функції мовлення у паралізованих пацієнтів шляхом перекладу нейросигналів у текст у реальному часі. Проте, поряд із науковими досягненнями постає низка етичних питань: щодо конфіденційності нейроданих, меж використання таких технологій, а також потенційної можливості зовнішнього втручання у свідомість людини. Тому подальший розвиток імплантованих нейроінтерфейсів потребує не лише технічного вдосконалення, а й формування чіткої нормативно-правової бази, міждисциплінарної експертизи та активного суспільного обговорення.

У розробці імплантованих нейроінтерфейсів використовуються різноманітні методи, що охоплюють як біоінженерні, так і алгоритмічні рішення. Основним методом зчитування нейрональної активності є використання мікроелектродних решіток, які імплантуються безпосередньо в кору головного мозку та реєструють електричні потенціали окремих нейронів або груп нейронів. Часто застосовують технології, як-от Utah Array або NeuroPixels, які дозволяють отримувати дані з високою просторовою та часовою роздільною здатністю. Ще один метод полягає у використанні нейронних датчиків, заснованих на наноматеріалах, зокрема графені або вуглецевих нанотрубках, які мають високу провідність і біосумісність. Для забезпечення бездротової передачі даних застосовуються індуктивні або радіочастотні системи зв'язку, що дозволяють уникнути фізичних з'єднань з імплантом і підвищити безпеку пацієнта. У процесі обробки даних широко використовуються методи машинного навчання, зокрема глибокі нейронні мережі, які забезпечують декодування нейросигналів у реальному часі — наприклад, розпізнавання моторних намірів або мовленнєвих патернів. Також застосовуються алгоритми фільтрації шуму, головним чином адаптивні фільтри Калмана та вейвлет-аналіз, що дозволяють виділити значущі сигнали на фоні біоелектричних перешкод. Методи зворотного зв'язку включають глибоку мозкову стимуляцію (DBS), мікроелектростимуляцію кори та інтерфейси зі зворотною чутливістю, які забезпечують користувачеві відчуття тиску або температури при взаємодії з протезами. Для калібрування та навчання нейроінтерфейсів використовуються протоколи зі зворотним зв'язком за принципом нейропластичності, що дозволяє пристрою адаптуватися до конкретного користувача. Сучасні методи також передбачають створення цифрових двійників мозкової активності — віртуальних моделей, які відтворюють індивідуальні особливості нервової системи пацієнта та використовуються для оптимізації взаємодії з імплантом. Усі ці методи у сукупності забезпечують високу ефективність імплантованих нейроінтерфейсів і відкривають нові можливості для нейрореабілітації, когнітивного посилення та інтерфейсів розширеної взаємодії між мозком і машиною.

У світі активно працює низка провідних компаній, які спеціалізуються на розробці імплантованих та неінвазивних нейроінтерфейсів. Однією з найвідоміших є Neuralink, заснована Ілоном Маском. Вона розробляє імплантовані нейроінтерфейси з високою пропускну здатністю для прямої комунікації між мозком і комп'ютером. У 2024 році Neuralink успішно імплантувала пристрої першим пацієнтам, дозволяючи їм керувати цифровими інтерфейсами за допомогою думки. Компанія Synchron, з офісами в США та Австралії, створила нейроінтерфейс Stentrode, який імплантується через кровоносні судини без хірургічного втручання в мозок. Synchron співпрацює з Apple щодо стандартизації керування пристроями через нейросигнали.

Ще одна молода, але перспективна компанія — Precision Neuroscience — розробляє тонкоплівкові електродні матриці, які можна легко ввести та витягти з мозку без ушкодження тканини. Paradromics фокусується на високошвидкісних BCI для пацієнтів із тяжкими формами паралічу, забезпечуючи високу точність та швидкість передачі сигналу. BrainGate, один із найстаріших дослідницьких консорціумів у галузі нейроінтерфейсів, займається тестуванням імплантів у пацієнтів із тетраплегією, забезпечуючи базову можливість взаємодії з комп'ютерами.

У сфері неінвазивних інтерфейсів значних результатів досягли компанії Kernel, NeuroSky, BrainCo та Bitbrain. Kernel створила шолом Kernel Flow для реєстрації мозкової активності на основі ближнього інфрачервоного випромінювання, придатного для досліджень когнітивних процесів. NeuroSky є лідером споживчого EEG-сектору, постачаючи доступні пристрої для освіти, ігор і тренування уваги. BrainCo розробляє системи нейроконтролю для протезів та пристроїв контролю за сном і стресом. Bitbrain, іспанська компанія, об'єднує апаратні та програмні рішення в галузі нейронауки, пропонуючи EEG-системи для наукових та прикладних досліджень. Також варто згадати Starfish Neuroscience, яку заснував генеральний директор компанії Valve Гейб Ньюелл. Її мета — створення бездротових нейроінтерфейсів, які зможуть взаємодіяти з кількома ділянками мозку одночасно, з першими прототипами, запланованими на 2025 рік.

Ці компанії представляють різні підходи до реалізації концепції взаємодії мозку з електронними пристроями: від повністю імплантованих рішень до споживчих неінвазивних технологій. Вони активно впроваджують новітні досягнення в галузі біоелектроніки, мікроелектроніки, машинного навчання та матеріалознавства, відкриваючи нові горизонти як для лікування неврологічних захворювань, так і для розширення можливостей людини у майбутньому.

Українські вчені досягли певних успіхів у сфері розробки імплантованих нейроінтерфейсів, незважаючи на обмежені фінансові та технічні ресурси. Основні дослідження зосереджені на неінвазивних та інвазивних ВСІ-системах для медичних і реабілітаційних цілей, а також на розробці алгоритмів аналізу електроенцефалографічних сигналів, які можуть застосовуватися як етап підготовки до глибших імплантаційних рішень.

Дослідницькі групи у провідних технічних університетах, зокрема у Національному технічному університеті України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Харківському національному університеті радіоелектроніки, Львівській політехніці та Вінницькому національному технічному університеті, займаються створенням прототипів нейроінтерфейсів на основі електроенцефалографії, які використовують для відновлення моторних функцій або керування технічними пристроями. Зокрема, у ВНТУ було проведено дослідження з розробки систем ВСІ для дистанційного керування роботизованими системами через інтерпретацію ЕЕГ-сигналів, що відкриває можливість використання таких технологій в інвалідних візках, екзоскелетах або розумних будинках.

На кафедрі біомедичної інженерії НТУУ "КПІ" ведуться роботи над удосконаленням електродних систем та обробкою сигналів мозку із застосуванням нейронних мереж. Крім того, українські дослідники активно публікуються у міжнародних журналах, беруть участь у грантових проектах та співпрацюють із зарубіжними партнерами в рамках Horizon Europe, COST Action та інших програм ЄС.

Важливою сферою є і розробка біосумісних матеріалів — вчені з Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України досліджують можливості створення електродів із покращеними властивостями, зокрема вуглецевих та керамічних структур, які можуть бути використані в імплантованих пристроях.

У 2020–2024 роках з'явилися перші публікації українських дослідників про математичне моделювання адаптації імплантів у мозковій тканині, а також моделі впливу мікрострумів на функціонування нейронних ланцюгів. Хоча поки що Україна не має повноцінних функціональних імплантованих ВСІ, здатних працювати на рівні проєктів як Neuralink або BrainGate, існує активна наукова база та експериментальні прототипи, що демонструють високий потенціал.

Українські вчені сьогодні закладають фундамент для подальшого розвитку імплантованих нейроінтерфейсів шляхом створення апаратних і програмних засобів, алгоритмів обробки нейросигналів, моделей стимуляції та інтерпретації мозкової активності, орієнтуючись на глобальні наукові стандарти та технологічні виклики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. C. Kemere, K. Shenoy, and T. Meng, "Model-Based Neural Decoding of Reaching Movements: A Maximum Likelihood Approach," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 51, no. 6, pp. 925–932, Jun. 2004.
2. H. Miranda, V. Gilja, C. Chestek, K. Shenoy, and T. Meng, "HermesD: A High-rate Long-range Wireless Transmission System for Simultaneous Multichannel Neural Recording Applications," *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 4, no. 3, pp. 181–191, Jun. 2010.
3. R. Chavarriaga, S. Soman, Z. McKinney, J. L. Contreras-Vidal, and S. F. Bush, "Overview of the IEEE Standards Roadmap on Neurotechnologies for Brain-Machine Interfacing," *IEEE Brain Newsletter*, May 2020

Романюк Олександр Никифорович, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, rom8591@gmail.com

Павлов Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, psv@vntu.edu.ua

Development of implanted neurointerfaces

Abstract. *The features of the use of implanted neurointerfaces are considered. The main methods are analyzed. The achievements of foreign companies and scientists from Ukraine are considered.*

Keywords: *implant, neurointerface, microelectrode arrays, bioenergetic implant power supply systems*

Romanyuk Oleksandr Nikiforovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, rom8591@gmail.com

Pavlov Serhiy Volodymyrovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, psv@vntu.edu.ua

Adaptive Trajectory Control for Mobile Robots in Dynamic Environments

Karatayeva Zh., Abdulkarimov S., Jumabekova Z., Jamanbayev M.
Almaty Technological University

Abstract

This paper presents an adaptive trajectory control system for mobile robots operating in dynamic and uncertain environments. The proposed method combines path planning with real-time trajectory adjustments based on sensor feedback, enabling robots to safely and efficiently navigate around moving obstacles. A layered control architecture is implemented using fuzzy logic and PID regulators to balance global trajectory adherence with local reactive behaviors. Simulation results demonstrate the system's ability to maintain stability and path accuracy under various disturbances and environment changes.

Keywords: adaptive control, mobile robot, trajectory tracking, dynamic environment, fuzzy-PID, obstacle avoidance, real-time navigation

INTRODUCTION

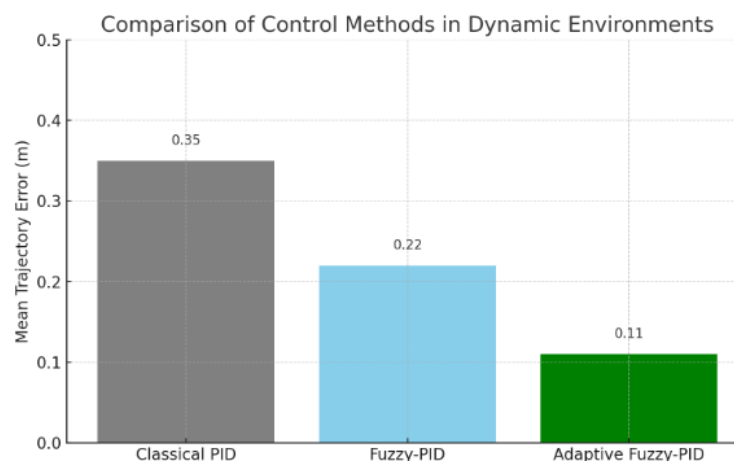
Autonomous mobile robots are increasingly deployed in dynamic environments such as warehouses, hospitals, and public spaces. These robots must follow predefined trajectories while reacting to unpredictable changes, including moving people, objects, or other robots. Traditional control systems often assume static surroundings and lack the flexibility to respond effectively to such changes.

To achieve robust mobility, adaptive trajectory control strategies are required. These systems dynamically adjust the robot's path or velocity profile in response to real-time sensory data. This paper explores the integration of adaptive control mechanisms into mobile robot navigation, focusing on how fuzzy-PID controllers can maintain trajectory fidelity while ensuring collision-free motion.

PROBLEM STATEMENT

Mobile robots operating in real-world environments face two major challenges: maintaining trajectory accuracy and avoiding dynamic obstacles. Classical trajectory tracking controllers often fail when unexpected objects appear in the path or when the surface or payload changes. This paper addresses the need for a control system that adapts its parameters on the fly, enabling the robot to continue its mission without manual intervention or recalibration.

METHODS



The proposed adaptive trajectory control system integrates both fuzzy logic and conventional PID control into a hybrid architecture. The base trajectory is generated using a global path planner, such as A* or RRT*, and is dynamically adjusted based on real-time obstacle detection using lidar or depth cameras.

The control algorithm utilizes a fuzzy-PID structure. Two inputs — position error and velocity error — are evaluated using fuzzy membership functions such as "Small", "Medium", and "Large". Based on these, control rules adjust the PID gains dynamically. This allows the controller to remain responsive to environmental changes without compromising trajectory tracking accuracy.

The algorithm was implemented in MATLAB/Simulink and tested in a simulated environment with moving obstacles and variable surface friction. Three control strategies — classical PID, fuzzy-PID, and adaptive fuzzy-PID — were evaluated. As shown in Fig. 1, the adaptive fuzzy-PID controller outperformed others in minimizing trajectory error in dynamic scenarios.

RESULTS

The performance of the proposed adaptive fuzzy-PID controller was evaluated in a simulated environment featuring dynamic obstacles and variable surface conditions. The primary performance metric was the mean trajectory error—the average distance between the robot's actual and desired paths during task execution.

Three control strategies were tested: classical PID, fuzzy-PID, and the proposed adaptive fuzzy-PID. As illustrated in Fig. 1, the classical PID controller exhibited the highest trajectory error (0.35 m), indicating limited adaptability in dynamic settings. The fuzzy-PID approach showed improvement (0.22 m), benefiting from rule-based reasoning. However, the adaptive fuzzy-PID controller achieved the best result (0.11 m), maintaining high accuracy even in unpredictable scenarios.

These results confirm that integrating adaptive fuzzy logic into the control loop significantly improves trajectory tracking in environments where traditional methods fail to compensate for external disturbances or system nonlinearities.

CONCLUSION

This study presented an adaptive fuzzy-PID control strategy for trajectory tracking in mobile robots operating within dynamic and uncertain environments. By combining the responsiveness of fuzzy logic with the stability of PID regulation, the proposed controller adapts in real time to changes such as moving obstacles and surface variability.

Simulation results demonstrated that the adaptive fuzzy-PID controller significantly reduced trajectory error compared to classical PID and standard fuzzy controllers. This improvement highlights the potential of adaptive control systems in enabling more robust and reliable robot navigation in real-world applications.

The proposed approach provides a scalable and flexible framework that can be extended to multi-robot coordination, real-world deployment, and integration with higher-level decision-making systems.

REFERENCES

1. S. M. LaValle, *Planning Algorithms*, Cambridge University Press, 2006.
2. B. Siciliano and O. Khatib, *Springer Handbook of Robotics*, 2nd ed., Springer, 2016.
3. Z. Li, M. Wang, and R. Wang, "Adaptive trajectory tracking of mobile robots based on fuzzy-PID control," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 15, no. 1, pp. 1–10, 2018.
4. R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh, and D. Scaramuzza, *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, 2nd ed., MIT Press, 2011.
5. K. M. Passino and S. Yurkovich, *Fuzzy Control*, Addison-Wesley, 1998.

6. C. Samson, B. Espiau, and M. Le Borgne, *Robot Control: The Task Function Approach*, Oxford University Press, 1991.
7. D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun, "The dynamic window approach to collision avoidance," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 4, no. 1, pp. 23–33, Mar. 1997.

Karataeva Zhanbubi Erzhanovna, Senior Lecturer, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, j.karataeva@atu.edu.kz

Abdukarimov Sadraddin Abdukarimovich, Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, s.abdukarimov@atu.edu.kz

Zhumabekova Zulfia Azimkhanovna, Senior Lecturer, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, z.jumabekova@atu.edu.kz

Zhamanbayev Muratkali Abenovich, Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, m.jamanbaev@atu.edu.kz

АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ ТРАЄКТОРІЄЮ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ У ДИНАМІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Анотація

У статті представлено адаптивну систему керування траєкторією мобільних роботів, які функціонують у динамічному та невизначеному середовищі. Запропонований метод поєднує планування шляху з корекцією траєкторії в реальному часі на основі зворотного зв'язку із сенсорів, що дозволяє роботам безпечно та ефективно обходити рухомі перешкоди. Реалізовано багаторівневу архітектуру керування із використанням нечіткої логіки та ПД-регуляторів для забезпечення балансу між глобальним слідуванням траєкторії та локальними реактивними діями. Результати моделювання підтверджують здатність системи зберігати стабільність і точність траєкторії за умов різноманітних збурень і змін у середовищі.

Ключові слова: адаптивне керування, мобільний робот, відстеження траєкторії, динамічне середовище, нечіткий-ПД, уникнення перешкод, навігація в реальному часі

Каратаєва Жанбубі Єржановна, старший викладач, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан. Email: j.karataeva@atu.edu.kz

Абдукарімов Садратдін Абдукарімович, доцент, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан. Email: s.abdukarimov@atu.edu.kz

Жумабекова Зульфія Азімхановна, старший викладач, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан. Email: z.jumabekova@atu.edu.kz

Жаманбаєв Мураткалі Абенівич, доцент, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан. Email: m.jamanbaev@atu.edu.kz

Modeling and control of an object recognition system with delta robots in CoppeliaSim

Ormanbekova A., Fazylov N., Zhumakhan N., Doszhanov O., Julayeva Zh.

Almaty technology university furkat str. 348/4, 050000 Almaty, Kazakhstan

Annotation

This study is a modular simulation-based system designed to develop and analyze the operation of a sorting system with object recognition (blob detection) in the CoppeliaSim environment. The system includes a conveyor belt, machine vision for object recognition, and two delta robots that perform automatic sorting. The paper describes the architecture of the system, provides basic control scripts in the Lua language, and performs a performance analysis based on a series of controlled experiments. The results show that there is a trade-off between conveyor speed and sorting accuracy. A comparison with physical delta robots was also performed to assess the realism of the simulation and its suitability for industrial applications.

Keywords: object recognition, CoppeliaSim simulation platform, take-and-put manipulation, delta robots, modeling, automation of industrial processes.

Introduction

Today, many factories and production lines are actively switching to full automation. This means that instead of doing all the work manually, people are now assisted by robots and "smart" machines — they assemble parts, pack products, move boxes and other operations. One of the most common tasks for such robots is the so-called "pick-and-place" — to find an object, grab it and move it to another location. For example, imagine that colorful cubes are moving along a conveyor belt. A robot with a camera looks at these cubes, determines their color, decides where to send which cube, and then captures them and puts them in the appropriate boxes. This is exactly what the pick-and-place system does. Such systems allow factories to work faster, reduce the number of errors related to the human factor, and operate around the clock without interruptions and fatigue. In recent decades, industrial robotics has undergone radical changes, from machines that needed to be manually programmed to intelligent autonomous systems capable of making decisions in real time.

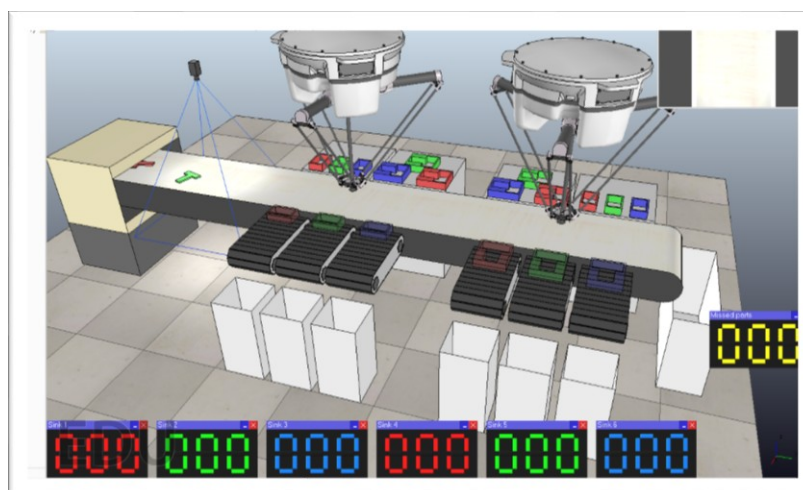


Figure 1. General view of the blobDetectionWithPickAndPlace simulation scene in the CoppeliaSim environment.

Experiments

We offer a multi-level architecture that includes combining data from various sensors (sensor fusion), real-time control algorithms, and machine learning modules. All this makes it

possible to increase the level of autonomy, reliability and efficiency of industrial robots. Our experiments and simulations show that the proposed management strategies can significantly increase the productivity of robotic operations, even in conditions of variable industrial tasks.

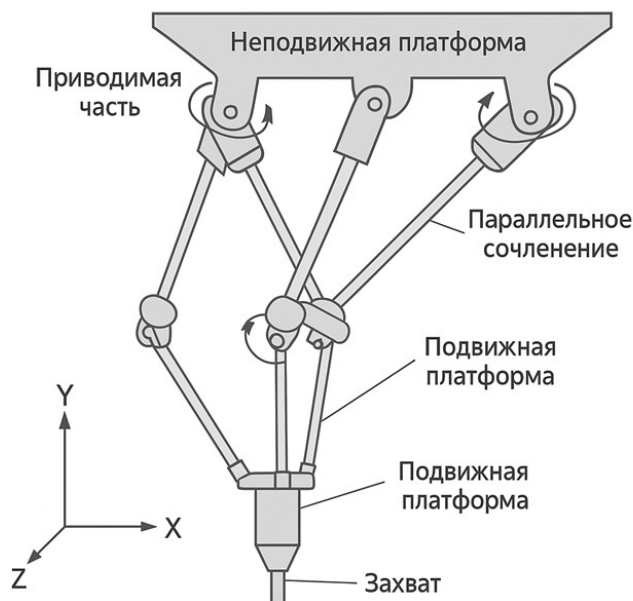


Figure 3 Kinematic diagram of delta operation

The kinematics of a delta robot is a way to understand how it moves and how its structure works. It has a fixed part on top — a platform that is attached to the frame and does not move anywhere. Three motors are mounted on it, and each motor moves its "arm" down. These motors have long levers that connect to other, lighter levers. These levers are connected to a movable platform at the bottom. It turns out that this lower platform has three attachment points, and each of them is connected to the upper levers. Thanks to this device, the lower part can quickly move up and down, left and right, forward and backward - but it does not rotate around its axis.

Discussion

The simulation results showed a significant difference in the behavior of the system before and after the application of optimization measures. Before the changes were made, the number of missing parts increased exponentially, which indicated the inconsistency of the current control configuration with increasing load. The rapid increase in the number of errors indicates that the system was losing its ability to respond to incoming objects in a timely manner, and the robots did not have time to capture them. This is due to both movement dynamics limitations (insufficient speed and acceleration parameters) and lack of coordination between the two manipulators, which led to conflicts or inaction.

Conclusion

The simulation we developed shows that even a relatively simple system consisting of a camera, a color recognition module, and two robotic arms can effectively perform useful tasks under appropriate conditions. In our case, the system was able to recognize the red, green, and blue cubes moving along the conveyor and sort them into their respective boxes. At first glance, such a task may seem insignificant, but in practice it is very common in real factories and warehouses. One of the most important observations was that the system works very well when the environment is clean and predictable. With good lighting, a uniform distance between objects and a stable conveyor speed, robots can handle tasks easily.

REFERENCES

- [1] ABB Robotics. (2023). IRB 360 FlexPicker. Retrieved from <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-360>
- [2] Coppelia Robotics. (2024). CoppeliaSim User Manual. Retrieved from: <http://www.coppeliarobotics.com>
- [3] Szeliski, R. (2010). Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer.
- [4] Zhang, Z., et al. (2021). Real-time vision-based pick-and-place with Delta robots. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 68, 102097.
- [5] Lowe, D. G. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. IJCV.
- [6] Xu, Z., Huang, Z., & Wu, Q. (2023). Real-Time Vision-Guided Control of Robotic Arms for Assembly Tasks Using Edge AI. Journal of Manufacturing Systems, 68, 211–221. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.02.003>

Ormanbekova Ainur Alibekovna, PhD, Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan. Email: ain_25@mail.ru

Fazylov Nurtalap Nurlanuly, Master's student, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan. Email: fnurtalap@bk.ru

Doszhanov Ospan Matkarimovich, Assistant Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan. Email: ospan.doszhanov@mail.ru

Zhulayeva Zhazira Tulegenovna, Senior Lecturer, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan. Email: Zhazj@mail.ru

МОДЕЛЮВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ДЕЛЬТА-РОБОТІВ У СЕРЕДОВИЩІ COPPELIASIM

Анотація

У цьому дослідженні представлено модульну симуляційну систему, призначену для розробки та аналізу роботи системи сортування з розпізнаванням об'єктів (визначення плям) у середовищі CoppeliaSim. Система включає конвеєрну стрічку, машинне бачення для розпізнавання об'єктів та два дельта-роботи, які здійснюють автоматичне сортування. У роботі описано архітектуру системи, наведено базові керувальні скрипти мовою Lua та проведено аналіз продуктивності на основі серії контрольованих експериментів. Результати демонструють компроміс між швидкістю руху конвеєра та точністю сортування. Також виконано порівняння з фізичними дельта-роботами з метою оцінки реалістичності моделювання та його придатності для промислових застосувань.

Ключові слова: розпізнавання об'єктів, платформа моделювання CoppeliaSim, маніпулювання «взяти-покласти», дельта-роботи, моделювання, автоматизація промислових процесів

Орманбекова Айнур Алібеківна, PhD, доцент, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан, ain_25@mail.ru

Фазилов Нурталап Нурланұлы, магістрант, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан, fnurtalap@bk.ru

Досжанов Оспан Маткаримович, асистент-професор, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан. Email: ospan.doszhanov@mail.ru

Джулаєва Жазира Тулегенівна, старший викладач, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан, Zhazj@mail.ru

Evaluating Key Applications of Machine Vision in Industrial and Mobile Robotics

Jamanbayev M., Nurgali N., Iskakova T., Nauryzbayeva A.

Almaty Technological University

Abstract

This paper explores the integration of machine vision into robotic systems to enhance perception, control, and adaptability. Machine vision enables robots to process visual data and make real-time decisions, significantly improving their performance in tasks such as object detection, obstacle avoidance, visual servoing, and quality inspection. The study analyzes the effectiveness of vision-based solutions across key application areas and demonstrates their impact on the flexibility and autonomy of robotic platforms.

Keywords

machine vision, robotics, object detection, visual servoing, intelligent control, automation, robotic inspection, image processing

INTRODUCTION

Machine vision has become an essential component of modern robotics, enabling robots to perceive, interpret, and interact with their environment intelligently. By integrating cameras, sensors, and advanced image processing algorithms, robotic systems gain the ability to detect objects, recognize patterns, and make data-driven decisions in real time.

In industrial settings, machine vision plays a critical role in enhancing automation, improving product quality, and reducing human error. It is widely applied in tasks such as visual inspection, object localization, defect detection, and autonomous navigation. Unlike traditional robotic systems that rely solely on pre-programmed paths and sensor feedback, vision-based systems provide adaptability and situational awareness, making them suitable for dynamic and unpredictable environments.

The development of efficient machine vision algorithms, along with advancements in hardware and computational power, has led to significant progress in intelligent robotics. This paper explores key applications of machine vision in robotics and presents an analysis of its impact on performance, flexibility, and autonomy in robotic systems.

PROBLEM STATEMENT

Despite the advancements in robotic automation, traditional sensor-based systems often struggle to adapt in complex, unstructured environments where precise spatial awareness and dynamic decision-making are required. Rigid pre-programmed logic limits the robot's ability to respond to unexpected changes, such as variations in object position, shape, or orientation.

Machine vision addresses these limitations by enabling robots to analyze visual input and interpret contextual information. However, implementing machine vision in robotics presents several challenges, including real-time image processing, noise reduction, lighting variability, and the need for robust algorithms that can generalize across diverse conditions.

This paper focuses on addressing these challenges through the integration of efficient vision algorithms tailored for robotic tasks such as object detection, obstacle avoidance, and visual tracking. The goal is to enhance robot autonomy, reduce dependence on human intervention, and increase performance in dynamic industrial and service environments.

METHODS

In this study, machine vision techniques are integrated into a robotic system to enhance perception, decision-making, and control. The approach focuses on five key applications commonly addressed using vision-based algorithms: object detection, obstacle avoidance, visual servoing, quality inspection, and path tracking.

Image data is captured using onboard cameras and processed through computer vision algorithms, including edge detection, contour analysis, and convolutional neural networks (CNNs), depending on the task. Feature extraction techniques are applied to identify objects, classify scenes, and detect anomalies. The processed visual information is then used to guide robotic actions in real time.

As shown in Fig. 1, object detection and quality inspection represent the most dominant use cases, with reported effectiveness above 85%. Visual servoing and path tracking also play essential roles in motion control and navigation, especially in unstructured environments. This distribution highlights the practical importance of machine vision across various industrial robotic tasks.

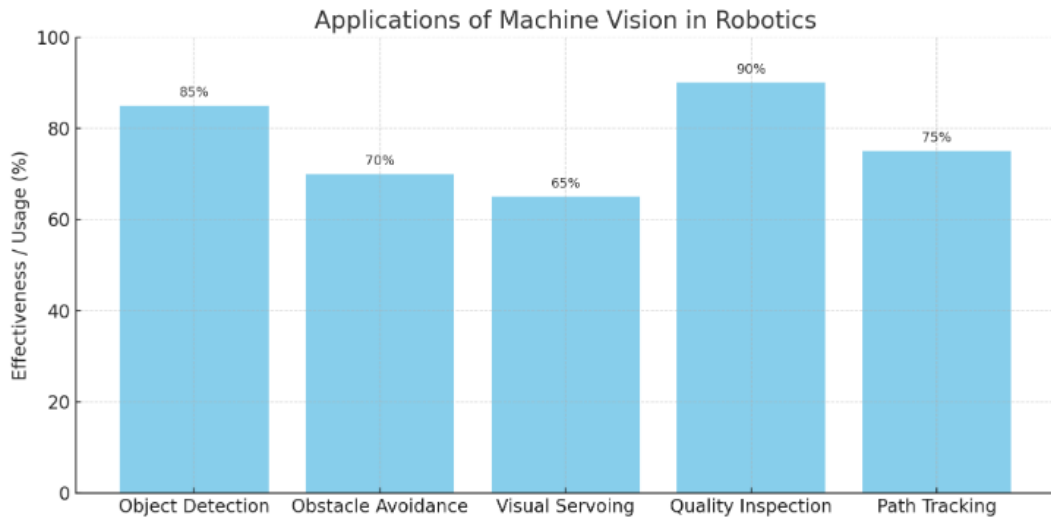


Figure. 1 – Applications of Machine Vision in Robotics

RESULTS

To evaluate the practical applications of machine vision in robotics, five key use cases were analyzed: object detection, obstacle avoidance, visual servoing, quality inspection, and path tracking. Each of these tasks represents a critical function that benefits from vision-based automation.

As illustrated in Fig. 1, quality inspection and object detection exhibit the highest levels of implementation and effectiveness, with reported usage rates above 85%. These applications are commonly used in manufacturing environments where accuracy and consistency are essential. Obstacle avoidance and path tracking also show strong relevance, particularly in mobile robotics and warehouse automation. Visual servoing, while slightly lower in frequency, plays an important role in dynamic interaction tasks where precise positioning is required.

The results confirm that machine vision significantly enhances robotic autonomy and task performance. The distribution of application areas highlights the versatility of vision systems in both fixed and mobile robotic platforms.

CONCLUSION

Machine vision has proven to be a transformative technology in the field of robotics, enabling systems to operate with higher precision, autonomy, and adaptability. By allowing robots to interpret visual data in real time, machine vision facilitates intelligent decision-making in complex and dynamic environments.

This study highlighted the most common applications of vision-based robotics, such as object detection, quality inspection, and obstacle avoidance. Through the analysis, it was shown that machine vision not only improves task efficiency but also expands the range of feasible robotic operations in both industrial and service sectors.

As computational capabilities and vision algorithms continue to evolve, the integration of machine vision into robotic systems is expected to become even more widespread, driving the next generation of intelligent, context-aware automation solutions.

REFERENCES

1. R. Szeliski, *Computer Vision: Algorithms and Applications*, Springer, 2010.
2. K. P. Valavanis and G. J. Vachtsevanos, *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, Springer, 2015.
3. B. Siciliano and O. Khatib, *Springer Handbook of Robotics*, 2nd ed., Springer, 2016.
4. D. H. Ballard and C. M. Brown, *Computer Vision*, Prentice-Hall, 1982.

5. J. Redmon et al., "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," in *Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 779–788.
6. M. Vincze, "Robust Vision for Manipulation," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 13, no. 4, pp. 13–24, Dec. 2006.
7. S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox, *Probabilistic Robotics*, MIT Press, 2005.
8. M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*, Cengage Learning, 2014.

Zhamanbayev Muratkali Abenovich, Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, m.jamanbaev@atu.edu.kz

Iskakova Tolkynai Kanatovna, Assistant Professor, Candidate of Technical Sciences, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, t.iskakova@atu.edu.kz

Nauryzbayeva Aigerim Aldabergenkyzy, Senior Lecturer, Master of Technical Sciences, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, a.nauryzbaeva@atu.edu.kz

Nurgali Nazym Niyazgaliqzy, 1st-year Master's student, Department of Automation and Robotics, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan.

ОЦІНЮВАННЯ КЛЮЧОВИХ ЗАСТОСУВАНЬ МАШИННОГО ЗОРУ В ПРОМИСЛОВІЙ ТА МОБІЛЬНІЙ РОБОТОТЕХНІЦІ

Анотація

У роботі досліджено інтеграцію машинного зору в роботизовані системи з метою підвищення їхньої здатності до сприйняття, керування та адаптації. Машинний зір дозволяє роботам обробляти візуальні дані та приймати рішення в режимі реального часу, що суттєво покращує їхню ефективність у таких завданнях, як виявлення об'єктів, уникнення перешкод, візуальне керування та контроль якості. У дослідженні проаналізовано ефективність рішень на основі машинного зору в ключових сферах застосування та продемонстровано їхній вплив на гнучкість і автономність роботизованих платформ.

Ключові слова: машинний зір, робототехніка, виявлення об'єктів, візуальне керування, інтелектуальне керування, автоматизація, роботизований контроль, обробка зображень

Жаманбаєв Мураткалі Абеневич, доцент, кандидат фізико-математичних наук, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан, m.jamanbaev@atu.edu.kz

Іскакова Толкынай Канатівна, асистент-професор, кандидат технічних наук, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан, t.iskakova@atu.edu.kz

Наурызбаєва Айгерім Алдабергенқызы, старший викладач, магістр технічних наук, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан. Email: a.nauryzbaeva@atu.edu.kz

Нурғалі Назым Ніязғаліқызы, магістрант 1 курсу кафедри «Автоматизація та робототехніка», Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан, nnazymatu@gmail.com

DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR A ROBOTIC MANIPULATOR BASED ON FUZZY LOGIC

Ormanbekova A., Kosherbayev B., Zhumakhan N., Nauryzbayeva A.

Almaty Technological University

Annotation

This paper presents the development of an adaptive control system for a two-link robotic manipulator based on fuzzy logic. The control algorithm was designed to ensure robust operation under conditions of changing external load and nonlinear dynamics. Simulation modeling was carried out in MATLAB/Simulink to compare the fuzzy logic controller (FLC) with a classical PID regulator. The results show that the FLC provides higher accuracy and faster stabilization time, making it suitable for industrial robotic systems with variable working conditions.

Keywords:

robotic manipulator, fuzzy logic, adaptive control, automation, PID

INTRODUCTION

Robotic manipulators are essential in modern industrial automation, performing tasks such as welding, assembly, and quality inspection with high precision and consistency. Their use increases productivity and reduces human involvement in repetitive or hazardous operations. The effectiveness of a robotic system depends heavily on its control strategy. While PID controllers are commonly used due to their simplicity, they struggle with nonlinearities, parameter variations, and dynamic environments.

Intelligent control methods like fuzzy logic have emerged as robust alternatives, offering adaptability without requiring an exact mathematical model. Fuzzy logic control (FLC), in particular, emulates human decision-making and handles uncertainty effectively.

This study develops an FLC-based control system for a two-link robotic manipulator, aiming to improve dynamic response, reduce steady-state error, and ensure reliable operation under varying loads and conditions.

PROBLEM STATEMENT

While classical PID controllers remain a standard in industrial automation due to their simplicity and effectiveness for linear systems with constant parameters, they exhibit significant limitations when applied to systems with nonlinear dynamics, external disturbances, or time-varying characteristics.

Fixed-gain PID controller fails to provide consistent performance. It lacks the capacity to adjust its parameters dynamically based on the current state of the system or external influences. This may lead to increased overshoot, longer settling times, degraded tracking accuracy, and potential instability, especially in tasks requiring high precision and responsiveness.

There is a clear need for an adaptive and intelligent control strategy that can effectively manage the uncertainties and complexities of robotic manipulators. Fuzzy logic control (FLC) emerges as a promising solution, offering rule-based adaptation and the ability to approximate human decision-making in uncertain conditions without requiring an accurate mathematical model of the system.

METHODS

This study presents the development of a fuzzy logic controller (FLC) for a two-link planar robotic manipulator with revolute joints. The main objective is to ensure accurate trajectory tracking and robust response under variable operating conditions. Unlike traditional PID controllers, which depend on a fixed-gain model, the FLC uses a rule-based approach that mimics human reasoning to better handle nonlinearities and uncertainties. The FLC is implemented using MATLAB's Fuzzy Logic Toolbox, with two input variables: position error and its derivative. Each input is described by triangular and trapezoidal membership

functions covering linguistic terms such as "Negative Large", "Negative Small", "Zero", "Positive Small", and "Positive Large".

A rule base of 25 fuzzy IF-THEN rules maps input combinations to control actions. The Mamdani inference method and centroid defuzzification are used to generate precise torque commands for the manipulator's joints. The entire control system is modeled and simulated in MATLAB/Simulink. The manipulator dynamics include gravitational and coupling effects. Performance was benchmarked against a classical PID controller under tests such as step response, trajectory tracking, and external disturbance handling.

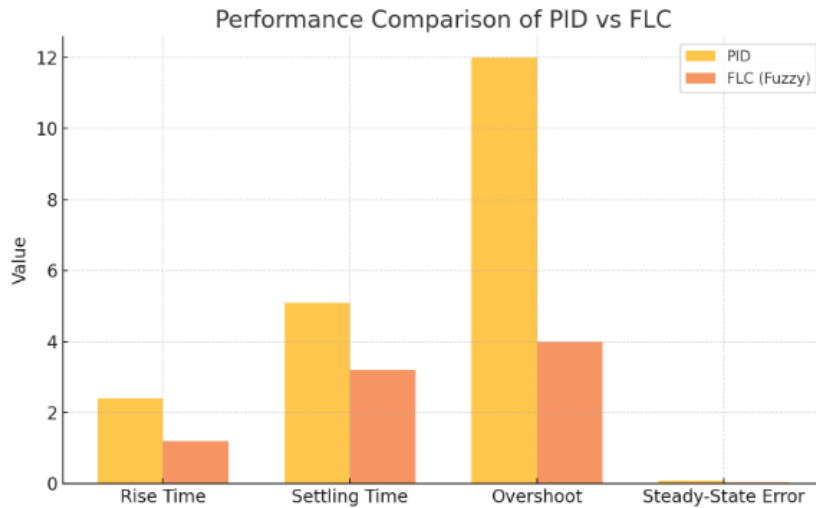


Figure. 1 – Performance of comparison of PID vs FLC

The figure presents a visual comparison of the performance between a traditional PID controller and a fuzzy logic controller (FLC) when applied to a two-link robotic manipulator. The analysis focuses on key dynamic response metrics such as rise time, settling time, overshoot, and steady-state error. The results demonstrate that the fuzzy logic controller consistently outperforms the PID controller. Specifically, the FLC responds faster to changes in input, stabilizes the system more quickly, and exhibits significantly reduced overshoot, contributing to a smoother and more accurate trajectory tracking. Additionally, the steady-state error is lower with the FLC, confirming its precision in maintaining the target position.

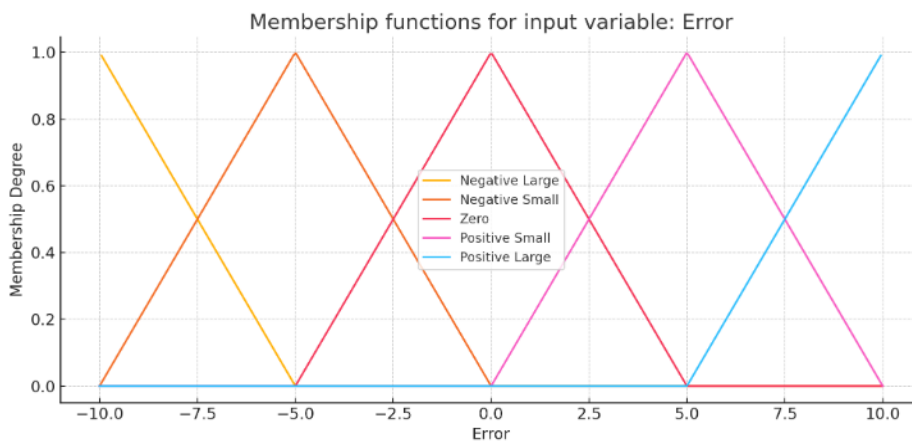


Figure. 2 – Membership functions for input for variable: Error

The figure illustrates the membership functions defined for the input variable "Error" in the fuzzy logic controller (FLC). Five linguistic terms are used to represent the range of possible error values: Negative Large (NL), Negative Small (NS), Zero (ZE), Positive Small (PS), and Positive Large (PL). Each membership function is shaped as a triangle or trapezoid and spans a specific interval on the error axis, reflecting the degree to which a given error belongs to that category.

This fuzzy partitioning allows the controller to interpret continuous input values in a qualitative manner, emulating human reasoning. For example, a small negative error may activate both the NS and ZE functions to a certain degree, which contributes to smooth and adaptive control actions. By using overlapping functions, the system achieves better granularity and transition between control rules, which is crucial for managing nonlinear behavior and uncertainties in robotic systems.

REFERENCES

1. Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.
2. Driankov, D., Hellendoorn, H., & Reinfrank, M. (1993). *An Introduction to Fuzzy Control*. Springer.
3. Åström, K.J., & Murray, R.M. (2008). *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Princeton University Press.

Kosherbayev Birzhan Onerbaiuly, Master's student, Department of Computer Engineering, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan. Email: birzhancloud400@gmail.com

Ormanbekova Ainur Alibekovna, Assistant Professor, Department of Automation and Robotics, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, a.ormanbekova@atu.edu.kz

Nauryzbayeva Aigerim Aldabergenkyzy, Senior Lecturer, Department of Automation and Robotics, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, a.nauryzbaeva@atu.edu.kz

Zhumakhan Nurzhan Beibituly, Senior Lecturer, Department of Automation and Robotics, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, n.zhumakhan@atu.edu.kz

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИМ МАНІПУЛЯТОРОМ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Анотація

У статті представлено розробку адаптивної системи керування дволанковим роботизованим маніпулятором на основі нечіткої логіки. Алгоритм керування розроблено з метою забезпечення надійної роботи в умовах змінного зовнішнього навантаження та нелінійної динаміки. Було виконано імітаційне моделювання в середовищі MATLAB/Simulink для порівняння нечіткого регулятора (FLC) із класичним ПІД-регулятором. Результати показали, що FLC забезпечує вищу точність і швидшу стабілізацію, що робить його придатним для промислових роботизованих систем із змінними умовами роботи.

Ключові слова: роботизований маніпулятор, нечітка логіка, адаптивне керування, автоматизація, ПІД

Кошербаєв Біржан Өнербайұлы, магістрант кафедри комп'ютерної інженерії, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан, birzhancloud400@gmail.com

Алібекова Айнуір Алібеківна, асистент-професор кафедри автоматизації та робототехніки, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан, a.ormanbekova@atu.edu.kz

Наурызбаєва Айгерім Алдабергенқызы, старший викладач кафедри автоматизації та робототехніки, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан, a.nauryzbaeva@atu.edu.kz

Жұмахан Нуржан Бейбітұлы, старший викладач кафедри автоматизації та робототехніки, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан, n.zhumakhan@atu.edu.kz

REINFORCEMENT LEARNING FOR AUTONOMOUS DRONE NAVIGATION IN INDOOR ENVIRONMENTS

Kosherbayev B., Kashaganova G, Шапунова Б.
Almaty Technological University

Abstract

This paper presents a reinforcement learning (RL) approach for autonomous drone navigation in complex indoor environments. Traditional navigation systems struggle with dynamic layouts and GPS-denied conditions. By leveraging RL algorithms such as Deep Q-Networks (DQN), a drone can learn optimal policies for obstacle avoidance, path planning, and goal-reaching behavior through trial and error. Simulations conducted in a virtual 3D environment demonstrate the system's ability to generalize navigation strategies across varied layouts, achieving efficient and collision-free flight without prior maps or human intervention.

Keywords: reinforcement learning, autonomous drone, indoor navigation, deep Q-network, obstacle avoidance, simulation, intelligent control

INTRODUCTION

Autonomous navigation in indoor environments presents a significant challenge for unmanned aerial vehicles (UAVs), especially in the absence of GPS signals. Conventional methods rely heavily on simultaneous localization and mapping (SLAM) or pre-defined maps, which are often computationally expensive and not robust to environmental changes.

Reinforcement learning offers a promising alternative by allowing the drone to learn navigation strategies through interaction with the environment. Instead of relying on hand-crafted rules or static maps, an RL-based agent improves its behavior via trial-and-error, guided by a reward function. This approach makes it suitable for complex, cluttered, or dynamically changing indoor spaces.

PROBLEM STATEMENT

Indoor drone navigation is hindered by the lack of GPS, frequent obstacle presence, and the need for fast decision-making in confined spaces. Traditional solutions often require manual tuning, extensive sensor fusion, or high computational power for real-time mapping.

This study addresses the problem by using reinforcement learning to allow the drone to autonomously learn optimal navigation strategies. The challenge lies in designing a reward function that encourages safety, efficiency, and target acquisition, as well as implementing a neural network architecture capable of learning from sparse feedback in complex environments.

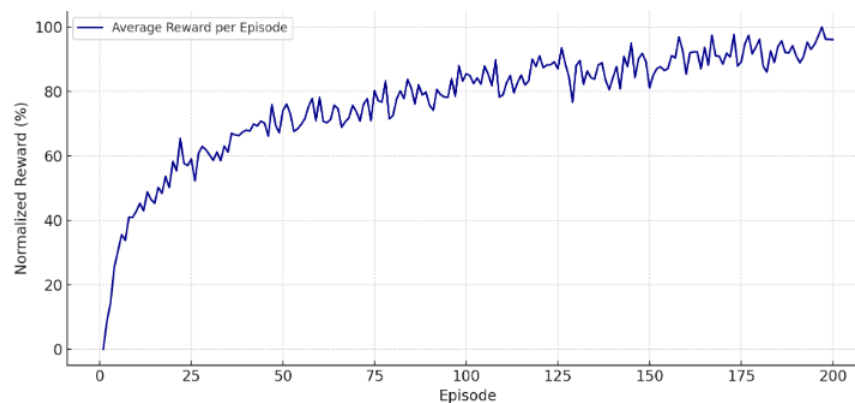


Figure 1 – Learning Curve of RL Agent for Indoor Drone Navigation

METHODS

In this study, we implemented a Deep Q-Network (DQN) to train an autonomous drone for navigating cluttered indoor environments. The simulation environment was built using a 3D physics engine with randomized obstacle placements and target locations.

The drone receives visual input in the form of depth maps or occupancy grids, which are processed into a state vector. The DQN takes this state as input and outputs action values corresponding to discrete motion commands (e.g., forward, turn left, ascend).

The reward function was designed to encourage safe and efficient navigation:

- +1 for reaching the goal;
- -1 for collisions;
- small penalties for excessive turning or time delays.

Training was conducted over 200 episodes, with the agent improving its behavior through trial and error. As shown in Fig. 1, the average reward increased steadily, indicating successful learning convergence.

RESULTS

The trained RL agent demonstrated strong performance in various randomized indoor environments. It consistently reached the target in most test cases, showing a success rate of 92% without collisions. The paths generated by the agent were significantly shorter and smoother compared to those produced by a random or rule-based controller, indicating effective policy learning.

As training progressed, especially after episode 100, the number of collisions dropped noticeably, reflecting improved obstacle awareness and decision-making. The average path efficiency increased, and the learning curve in Fig. 1 shows that the agent's reward values stabilized around episode 150, confirming convergence of the learning process.

These outcomes confirm that the proposed reinforcement learning approach enables a drone to autonomously develop robust and efficient navigation behavior without prior environmental knowledge or manual control strategies.

CONCLUSION

This work demonstrated the effectiveness of reinforcement learning for autonomous drone navigation in indoor settings, where traditional GPS-based systems fail. By employing a Deep Q-Network architecture and a carefully designed reward function, the drone successfully learned to navigate cluttered and dynamic spaces without prior mapping or human supervision.

The experimental results showed that the RL agent achieved high success rates, reduced collision frequency, and learned efficient paths through continuous interaction with the environment. The learning curve confirmed stable convergence after a moderate number of episodes, indicating the system's adaptability and robustness.

This approach highlights the potential of reinforcement learning as a scalable and flexible solution for intelligent aerial navigation in real-world indoor scenarios. Future work may include transferring the learned policy to physical drones and extending it to multi-agent coordination or dynamic target tracking.

REFERENCES

1. Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., et al. (2015). *Human-level control through deep reinforcement learning*. *Nature*, 518(7540), 529–533.
2. Lillicrap, T. P., Hunt, J. J., Pritzel, A., et al. (2016). *Continuous control with deep reinforcement learning*. arXiv preprint arXiv:1509.02971.
3. Kendall, A., Hawke, J., Janz, D., et al. (2019). *Learning to drive in a day*. 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 8248–8254.

4. Chen, Y. F., Liu, M., Everett, M., & How, J. P. (2017). *Decentralized non-communicating multiagent collision avoidance with deep reinforcement learning*. 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 285–292.
5. Garcia, J., & Fernández, F. (2015). *A comprehensive survey on safe reinforcement learning*. Journal of Machine Learning Research, 16(1), 1437–1480.
6. Koenig, N., & Howard, A. (2004). *Design and use paradigms for Gazebo, an open-source multi-robot simulator*. 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2149–2154.
7. Zhang, Q., et al. (2020). *Autonomous drone navigation using deep reinforcement learning*. Sensors, 20(12), 3400.

Kashaganova Gulzhan Bakytvna, PhD, Associate Professor of the Department of Information Systems, guljan_k70@mail.ru

Kosherbayev Birzhan Önerbayuly, Master's student, Department of Computer Engineering, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, birzhancloud400@gmail.com

Sharipova Byrzhан Dabayevna, Associate Professor of the Department of Information Systems

ПОСИЛЕНЕ НАВЧАННЯ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ НАВІГАЦІЇ ДРОНА В ПРИМІЩЕННІ

Анотація

У роботі представлено підхід до автономної навігації дрона у складних приміщеннях на основі алгоритмів посиленого навчання (RL). Традиційні системи навігації зазнають труднощів у динамічних середовищах, особливо за відсутності GPS. Завдяки використанню алгоритмів типу Deep Q-Network (DQN), дрон здатен навчитися оптимальній політиці обходу перешкод, планування траєкторії та досягнення цілі шляхом проб і помилок. Симуляції у віртуальному 3D-середовищі підтверджують здатність системи узагальнювати стратегії навігації у змінних умовах, забезпечуючи ефективний і безпечний політ без попередніх карт або втручання людини.

Ключові слова: посилене навчання, автономний дрон, навігація в приміщенні, Deep Q-мережа, уникнення перешкод, симуляція, інтелектуальне керування

Кашаганова Гулжан Бакытовна, доктор PhD, асоційований професор кафедри інформаційних систем, guljan_k70@mail.ru

Кошербаєв Біржан Өнербайұлы, магістрант кафедри комп'ютерної інженерії, Алматинський технологічний університет, м. Алмати, Казахстан, birzhancloud400@gmail.com

Шаріпова Біржан Дабаївна, асоційований професор кафедри інформаційних систем, Byrjan2103@mail.ru

ЗМІЦНЕННЯ ДОВГОМІРНИХ ОТВОРІВ КАРБОАЗОТУВАННЯМ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Хмельницький національний університет

Анотація

У роботі обґрунтовано спосіб безводневого карбоазотування в тліючому розряді для зміцнення внутрішніх поверхонь довгомірних отворів у конструкційних сталях. Розглянуто три технологічні режими насичення азотом і вуглецем. Досліджено вплив температури, тиску, складу середовища і тривалості процесу на глибину, твердість, структуру й фазовий склад зміцненого шару. Встановлено, що одночасне насичення забезпечує оптимальну якість при меншій товщині шару, підвищуючи зносостійкість поверхні без утворення ϵ -фази.

Ключові слова: карбоазотування, тліючий розряд, довгомірні отвори, конструкційні сталі, зносостійкість.

Метою роботи є обґрунтування способу і технологічних режимів безводневого карбоазотування в тліючому розряді (температури, складу насичувального середовища, його тиску, часу насичення) при яких досягаються оптимальні результати фізико-хімічних характеристик внутрішніх поверхонь довгомірних отворів в конструкційних сталях залежно від вимог експлуатації. Майже всі кінематичні пари тертя з поступальним рухом конструктивно підпадають під категорію довгомірних отворів, тобто відношення довжини (глибини) отвору до його діаметра перевищує значення чотирьох [1]. Цей показник, прийнятий в якості критерію геометричних співвідношень, обґрунтовується тим, що процес азотування подібних конструктивних елементів аналогічний за своєю природою розряду з пустотілим катодом [2]. З теорії цього процесу відомо, що реально поле проникає всередину отворів на глибину не більше двох його діаметрів. Числовий критерій карбоазотування до категорії довгомірних отворів в кількості чотирьох діаметрів стосується конструкцій, в яких отвори наскрізні. Для глухих заглиблень або отворів значення критерію може бути зменшене до двох.

Практичне значення вирішення поставленої задачі надзвичайно велике, оскільки в машинобудуванні використовується безліч деталей з довгомірними отворами, внутрішня поверхня яких є робочою і зносостійкістю якої має принципове значення для підвищення ресурсу деталей та її працездатності і терміну нормальної роботи. Прикладами таких деталей можуть служити внутрішні поверхні пневмо- та гідроциліндрів, внутрішні поверхні матеріальних циліндрів термопластавтоматів, внутрішні поверхні плунжерних насосів паливної апаратури двигунів тощо. З метою виявлення впливу варіанту технологічного процесу карбоазотування на фазову структуру та фізико-механічні характеристики конструкційних сталей проведено три варіанти технологічного процесу зміцнення: 1) насичення вуглецем ($\tau = 120$ хв, середовище – 88 % Ar + 12 % C_3H_8) + насичення азотом ($\tau = 120$ хв, середовище – 25 % Ar + 75 % N_2); 2) насичення азотом ($\tau = 120$ хв, середовище – 25 % Ar + 75 % N_2) + насичення вуглецем ($\tau = 120$ хв, середовище – 88 % Ar + 12 % C_3H_8); 3) сумісне насичення поверхні азотом і вуглецем ($\tau = 240$ хв, середовище – 88 % (Ar + N_2) + 12 % C_3H_8). Дослідження проводилися на сталях марок: 12ХН3А, 40Х, 45, ХВГ. Завданням досліджень було визначення залежності характеристик карбоазотованого шару (глибини, твердості, структури, фазового і хімічного складу) від основних параметрів технологічного процесу (тиску, складу насичуючого середовища, температури і тривалості процесу). У якості робочих газів застосовувалися суміші азоту і аргону (75 % N_2 + 25 % Ar) і пропану C_3H_8 , температура насичення змінювалася від 480 °С до 600 °С, тиск газової суміші в процесі дифузійного насичення – від 80Па до 400Па, тривалість процесу – від 20хв до 240хв.

Як показали проведені дослідження, варіант технологічного процесу зміцнення значно впливає на фізико-механічні характеристики зміцненого шару. У всіх варіантах технологічного процесу зміцнений шар складається із поверхневої карбонітридної зони та дифузійної зони внутрішнього азотування, але властивості цих зон при різних варіантах технологічного процесу різні. Так, при зміцненні сталей по першому режиму товщина карбонітридної зони максимальна, а зона внутрішнього азотування має невелику товщину. Це пояснюється тим, що створений на поверхні сталі карбонітридний шар на першому етапі обробки виконує функцію екранування поверхні від проникнення в поверхневий шар металу іонів азоту. При зміцненні по другому режиму як карбонітридна зона, так і зона внутрішнього азотування мають найбільшу товщину, але при такому зміцненні в дифузійній зоні утворюються карбонітридні включення у вигляді сітки, які значно знижують пластичність шару і при динамічних навантаженнях являються центрами зародження мікротріщин. При карбоазотуванні по третьому режиму на поверхні сталі утворюється композиційний шар, який складається із зовнішньої карбонітридної зони і розвинутої дифузійної зони без виділення по межах зерен ϵ -фази, що підвищує опір абразивному і адгезійному зношуванню. Товщина карбонітридної зони і зони внутрішнього азотування при одночасному насиченні поверхневого шару азотом і вуглецем мають меншу товщину ніж при поетапному зміцненні, але характеризуються більш якісними фізико-механічними характеристиками (поверхневою твердістю, пластичністю) та більш плавним зниженням твердості по глибині шару.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Stechyshyn, M.S., Stechyshyna, N.M., Martynyuk, A.V., Luk'yanyuk, M.M. (2018). Strength and Plasticity of the Surface Layers of Metals Nitrided in Glow Discharge. *Materials Science*. 54 (5). 55 – 60.
2. М. Stechyshyn, М. Macko, О. Dykha, S. Matiukh, J. Musial. *Tribotechnologies of strengthening and wear modeling of structural materials*. Bydgoszcz: Foundation of Mechatronics Development, 2023. 196р.
3. Патент № 156072 України «Пристрій для контролю якості азотування внутрішніх поверхонь довгомірних отворів» / Стечишин М.С., Люховець В.В., Стечишина Н.М. Здоренко Д.В. Заявл. № u 202301843 від 19.04.23; опубл. 08.05.2024.

Стечишин Мирослав Степанович, д-р техн. наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, miro@gmail.com

Диха Олександр Володимирович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, tribosensor@gmail.com

Здоренко Денис Вікторович, аспірант кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, dzdorenko@gmail.com

Бабак Олег Петрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, angbabak@gmail.com

STRENGTHENING OF LONG HOLES BY CARBONITROZING IN AGLOW DISCHARGE

Abstract

This study substantiates a hydrogen-free carbo-nitriding method using glow discharge to strengthen the inner surfaces of elongated holes in structural steels. Three technological regimes of nitrogen and carbon saturation were analyzed. The effects of temperature, pressure, atmosphere composition, and process duration on layer depth, hardness, structure, and phase composition were studied. It was found that simultaneous saturation yields optimal properties with thinner layers, enhancing wear resistance without ϵ -phase formation.

Keywords: carbo-nitriding, glow discharge, elongated holes, structural steels, wear resistance.

Stechyshyn Myroslav, D.Sc., Prof., Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering and Agricultural Engineering, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, miro@gmail.com

Dykha Oleksandr, D.Sc., Prof., Head of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, tribosensor@gmail.com

Zdorenko Denys, Postgraduate Student of the Department of Industrial Mechanical Engineering and Agricultural Engineering, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, dzdorenko@gmail.com

Babak Oleh, PhD, Ass. Prof., Associate Professor of the Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, angbabak@gmail.com

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ПРИЧИН ДЕГРАДАЦІЇ ЦИНКОВОГО ПОКРИТТЯ НА ГНУТИХ СТАЛЕВИХ ПРОФІЛЯХ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

¹ ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

² ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Анотація

Наведено результати хімічного дослідження гнутих оцинкованих профілів, виготовлених з рулонної сталі марки DX51D+Z140. Встановлено причини виникнення корозії («білої іржі») на зовнішній поверхні профілів, незважаючи на наявність цинкового покриття. Проведено комплексний аналіз впливу хлоридів, сульфатів, оксидів заліза, залишкових органічних сполук та стану хромового пасивування. Отримані результати дозволяють ідентифікувати фактори, що призвели до порушення антикорозійного захисту, та сформулювати рекомендації для усунення аналогічних дефектів у майбутньому.

Ключові слова: оцинкована сталь, гнутий профіль, корозія, хлориди, пасивація, хром, хімічний аналіз.

Огляд проблеми

У сучасних умовах гострої потреби у відновленні пошкодженого житлового фонду, зокрема внаслідок бойових дій в Україні, особливого значення набувають конструктивні матеріали, що поєднують надійність, швидкість і економічність монтажу. Ключовим елементом таких систем є гнуті профілі з оцинкованої сталі [1], які широко застосовуються у віконних конструкціях, каркасах, фасадах, а також у тепличних і сільськогосподарських спорудах. Вони забезпечують жорсткість, геометричну стабільність та зручність у використанні. Однак навіть за наявності цинкового покриття спостерігається його передчасна деградація — зокрема у вигляді «білої іржі» [2], що виникає через вологу, агресивні аерозолі та відсутність ефективної пасивації. Така корозія погіршує зовнішній вигляд виробів, спричиняє руйнування цинку, оголення сталі й зниження надійності конструкцій. Кліматичні зміни, використання реагентів, добрив і хімікатів в агросекторі створюють агресивне середовище, що підсилює вплив навіть дрібних виробничих дефектів. Виробництво цих елементів охоплює холодну прокатку, оцинкування, порізку та профілювання — і кожен етап може бути джерелом дефектів, пов'язаних із недотриманням параметрів очищення, пасивації, вологості або якості води. Забезпечення довговічності оцинкованих профілів є не лише технічним, а й соціально важливим завданням.

Методика дослідження

Для аналізу відібрано 15 зразків гнутих профілів і 3 зразки рулонної сталі. Дослідження проводилися в лабораторних умовах із дотриманням стандартів точності та відтворюваності. Зразки очищували й поділяли на сегменти: зовнішню, внутрішню поверхні та зону згину. Аналіз включав виявлення та кількісну оцінку хлоридів, сульфатів, Cr(VI), оксидів заліза (Fe_2O_3 , Fe_3O_4), залишків органічних речовин (мастила, емульсії), а також визначення маси цинкового покриття. Хлориди та сульфати визначали іонним обміном із подальшою спектрофотометрією; Cr(VI) — колориметрично з 1,5-дифенілкарбазидом; оксиди заліза — візуально після реакції з гідроксидами; органічні речовини — хроматографією після екстракції. Маса цинку визначалась гравіметрично за ДСТУ EN 10346:2014.

Результати та аналіз

Результати дослідження свідчать про багатофакторний характер корозійних пошкоджень та дають змогу точніше визначити механізми деградації цинкового покриття. На зовнішній поверхні всіх 15 зразків гнутих профілів виявлено значні концентрації хлоридів, тоді як внутрішні поверхні та зразки рулонної сталі залишались чистими. Це вказує на зовнішнє походження хлоридів, зокрема через вологе середовище з поганою вентиляцією або застосування хлорованої технічної води. Відсутність сульфатів підтверджує ефективне промивання після кислотного травлення. Шестивалентний хром (Cr(VI)) виявлено лише на внутрішній стороні профілів та в

рулонах, що свідчить про відсутність або неякісну пасивацію зовнішньої поверхні — найбільш вразливої до корозії. Це стало критичним чинником утворення «білої корозії». Під шаром цинку зафіксовано оксиди заліза, відсутні у рулонній сталі, що вказує на їх появу під час або після гнуття — ймовірно через недостатнє очищення чи вплив залишкових кислотно-сольових сполук. Аналіз показав наявність емульсій мастил у низькій концентрації, але достатній для порушення адгезії цинку та утворення мікропор, які сприяють точковій корозії у присутності вологи. Маса цинкового покриття на гнутих профілях становила 1,02 % маси, тоді як у рулонах — 1,14–1,28 %, що вказує на втрату цинку через активний корозійний процес. Візуально зафіксовано осередки білої корозії переважно вздовж згинів і кутів — зон із підвищеним механічним напруженням. Локалізація хлоридів лише на поверхні підтверджує їх зовнішнє походження, ймовірно пов'язане з умовами зберігання, транспортування або близькістю до джерел агресивного середовища (дороги із солевим обробленням, водойми). Часткова пасивація, наявність органічних залишків та оксидів заліза тільки у профілях свідчать про технологічні недоліки саме на етапі формування виробу. Гравіметричне визначення маси покриття згідно з ДСТУ EN 10346:2014 підтвердило зниження вмісту цинку в гнутих профілях (1,02 %) порівняно з рулонами (1,14–1,28 %), що є наслідком корозійної деградації.

Висновки

Дослідження показало, що корозія оцинкованих гнутих профілів має комбіноване походження — зумовлене як технологічними, так і зовнішніми чинниками. Важливе значення мають якість рулонної сталі та умови холодного формування, під час якого можливе порушення поверхневих шарів і зниження захисних властивостей. Серед основних причин деградації цинкового покриття встановлено: відсутність пасивації зовнішньої поверхні, вплив атмосферних або техногенних хлоридів, залишки оксидів заліза (включаючи окалину), сліди органіки та часткова втрата цинку внаслідок корозії. Для запобігання таким дефектам слід забезпечити повну пасивацію обох поверхонь, використовувати демінералізовану воду, покращити процеси очищення і знежирення перед оцинкуванням, а також оптимізувати умови зберігання і транспортування продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Соколов, О. М., & Джирма, С. О. (2018). Конструктивні особливості зведення малоповерхових будинків на основі застосування легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК). *Збірник матеріалів V всеукраїнського студентського науково-практичного семінару*, Центральноукраїнський національний технічний університет, 406–413.
2. Wells, N., Martinez, C. A., Bass, M., & Moon, R. E. (2015). Metal Corrosion: A Qualitative Analysis. *Forensic Engineering 2015: Proceedings*, 693–704. <https://doi.org/10.1061/9780784479711.068>.

Кухар Володимир Валентинович, доктор технічних наук, професор, проректор з науково-дослідної роботи, ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя, kvv.mariupol@gmail.com

Бутенко Елеонора Олегівна, кандидат технічних наук, доцент, завідувачка кафедри хімічної технології та інженерії, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, butenko_e_o@pstu.edu

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF THE CAUSES OF ZINC COATING DEGRADATION ON BENT STEEL SECTIONS FOR BUILDING STRUCTURES

Abstract

The results of a chemical analysis of cold-formed galvanized steel profiles made from DX51D+Z140 coil steel are presented. The causes of corrosion ("white rust") observed on the external surfaces of the profiles, despite the presence of a zinc coating, have been identified. A comprehensive analysis was conducted to assess the influence of chlorides, sulphates, iron oxides, residual organic compounds, and the state of chromate passivation. The findings make it possible to identify the factors that led to the failure of corrosion protection and to formulate recommendations for preventing similar defects in the future.

Keywords: galvanized steel, cold-formed profile, corrosion, chlorides, passivation, chromium, chemical analysis.

Volodymyr V. Kukhar, D.Sc. (Eng.), Professor, Vice-Rector for R&D, "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC" LLC, Zaporizhzhia, Ukraine, kvv.mariupol@gmail.com

Eleonora O. Butenko, Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Chemical Technology and Engineering, State Higher Educational Institution "Pryazovskyi State Technical University", Dnipro, Ukraine, butenko_e_o@pstu.edu

КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ ТИТАНУ

Г.О. Фролов, В.Д. Курілович, В.Л. Сироватка, П.В. Мазур, В.Т. Варченко, Т.М. Чевичелова

Інститут проблем матеріалознавства НАН України ім. І. М. Францевича

Постановка задачі. Вивчити структуроутворення самозмашувальних композиційних антифрикційних матеріалів на основі титану з метою визначення оптимальних значень триботехнічних характеристик у широкому діапазоні швидкостей ковзання та навантажень. Отримати склад і структуру матеріалу, котрі забезпечать під час роботи його функціональну адаптацію до умов експлуатації завдяки синтезу на поверхні тертя вторинних структур – шарів матеріалу нового складу з видозміненою структурою, які відповідають за експлуатаційні властивості пари тертя і визначають працездатність триботехнічної системи в цілому.

Методи досліджень. Об'єкти дослідження отримали пресуванням суміші вихідних порошків із наступним їх спіканням у вакуумі $2 \cdot 10^{-5}$ Па за температури 1150°C протягом 2 годин. Структуру матеріалів та поверхонь тертя, досліджували за допомогою мікроскопу ММО-1600, їх фазовий склад – рентгенівською установкою «Дрон». Дослідження триботехнічних характеристик виконали на машинах тертя МТ-68 і М-22М.

Основні результати та висновки. Синтезовані експериментальні композиційні матеріали (далі КМ) на основі титану з мікрогетерогенною структурою, яка є сумішшю твердої та пластичної складових. Тверда складова (матриця) - це міцний каркас на основі сплаву Ті - Мо, який відповідає за несучу здатність матеріалу. Антифрикційна структурна складова, що відповідає за антизадирні властивості КМ, - це тверде мастило, сполуки MoS₂, CaF₂ та ін., які формують на поверхні тертя у поєднанні з іншими компонентами тонкі шари матеріалу (вторинні плівки). Сформовані шари деформовані та порівняно з вихідним матеріалом змінені за складом, структурою, структурним станом та механічними характеристиками. Вони сприяють ковзанню та поділу поверхонь пари тертя, запобігають посиленому зносу та визначають антифрикційні властивості та працездатність. Досліджено триботехнічні характеристики КМ на основі титану. Показано, що зменшення чи підвищення величини триботехнічних характеристик КМ при терті на повітрі без змащування залежить від режиму тертя та матеріалу контртіла. При терті на повітрі без змащування з високою швидкістю ковзання підвищується температура робочої поверхні, йде утворення оксидів титану, а потім щільної вторинної змащувальної плівки мікрогетерогенної структури. Синтезовані КМ на основі титану, що містять тверде мастило є перспективними антифрикційними матеріалами для роботи на повітрі без змащування при високій швидкості ковзання (15 м/с) та невеликих (0,8 МПа) тисках. За цих умов роботи значення їх коефіцієнта тертя змінюється не більше 0,28 – 0,32, як і знос – у межах 1,91 – 6,3 мг/км. Композиційні матеріали на основі титану можна рекомендувати в якості антифрикційних для підшипників ковзання тих вузлів тертя машин і механізмів, які працюють при підвищених швидкостях ковзання і невеликих навантаженнях і в яких потрібно поєднувати низьку питому вагу, достатню механічну міцність і пластичність, хорошу жаростійкість і корозійну стійкість, з порівняно низькими коефіцієнтом тертя і зносом.

ШЛЯХИ КЕРУВАННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ТА ХАРАКТЕРОМ ЗНОСУ КОНТАКТНИХ ПАР ТЕРТЯ

Дніпровський державний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено підходи до зниження інтенсивності та зміни характеру зносу контактних пар тертя. Розглянуто вплив вибору поєднання матеріалів, геометрії сполучення, застосування вставних елементів, регулювання навантажень та забезпечення ефективного змащення на зносостійкість вузлів. Показано, що раціональні конструктивні заходи дозволяють суттєво підвищити довговічність тертьових поверхонь без значного ускладнення технологічних процесів. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та удосконаленні механічних систем з підвищеними вимогами до зносостійкості.

Ключові слова: контактні пари тертя, зносостійкість, інтенсивність зносу, технологічний процес.

Тертя та знос є невід'ємними процесами, що супроводжують роботу будь-яких механічних систем. Вони впливають на ефективність, надійність та довговічність машин і механізмів. Тому питання керування інтенсивністю та характером зносу контактних пар тертя є надзвичайно актуальним.

Інтенсивність та характер зносу значною мірою залежать від матеріальних, конструктивних, експлуатаційних та технологічних чинників. Удосконалення методів керування цими параметрами дозволяє значно підвищити ефективність роботи вузлів тертя.

У межах дослідження було проаналізовано та систематизовано основні конструктивні методи підвищення зносостійкості контактних пар тертя, які доцільно розглядати як інструменти керування інтенсивністю та характером зношування.

Перш за все, вагоме значення має правильний вибір матеріалів, які взаємодіють у парі тертя. Контактні поверхні з різною хімічною природою та фізико-механічними властивостями, як правило, мають менший коефіцієнт тертя й знижену схильність до схоплювання. Поєднання матеріалів з несумісними електронними структурами знижує ймовірність мікрозварювання в зоні контакту, що, у свою чергу, сприяє зменшенню адгезійного зносу. Такий підхід дозволяє не лише знизити втрати на тертя, але й забезпечити стабільні умови роботи в умовах граничного змащення або його відсутності.

Другим важливим напрямом є оптимізація геометричних характеристик контактних поверхонь. Геометрія безпосередньо впливає на розподіл контактного тиску, зону дії сил тертя та тепловиділення. Застосування конструктивних форм, що дозволяють збільшити площу контакту або забезпечити її рівномірність (наприклад, через конформність поверхонь), знижує пікові навантаження та сприяє рівномірному зношуванню. Крім того, використання елементів з мікротекстурованою поверхнею сприяє покращенню умов утримання мастила та зменшенню контактної температури, що особливо актуально для швидкохідних механізмів.

Наступним напрямом конструктивного удосконалення є впровадження у вузол тертя проміжних елементів або вставок. Застосування таких деталей, виготовлених з м'яких або самозмащувальних матеріалів, дозволяє локалізувати процес зношування в менш відповідальних або легкозамінних компонентах. Це значно спрощує технічне обслуговування обладнання та знижує загальні експлуатаційні витрати. У практиці машинобудування широко використовуються вкладиші, втулки та обойми, що приймають на себе основне механічне навантаження, зберігаючи цілісність основних структурних елементів.

Ще одним важливим фактором, що визначає інтенсивність зношування, є характер і режим навантаження. Конструктивні рішення, які дозволяють обмежити або демпфувати ударні навантаження, згладити пікові коливання сили, значно покращують умови роботи пар тертя. Наприклад, використання пружних елементів, механізмів компенсації перекосів або конструкцій

з керованою жорсткістю дозволяє знизити ризик руйнування мастильної плівки, стабілізувати температурний режим і забезпечити сприятливу форму зношування. Таким чином, зниження контактних навантажень на конструктивному рівні є ефективним засобом подовження ресурсу роботи вузла.

Окремо слід підкреслити значення забезпечення сприятливих умов змащення. У багатьох випадках недостатній рівень змащення або його нерівномірність є причиною передчасного зносу. Конструкція повинна передбачати ефективні способи подачі, утримання та розподілу мастильного матеріалу в зоні тертя. Це може включати наявність спеціальних каналів, резервуарів, мастилозбірників, а також елементів, які перешкоджають витіканню мастила або його забрудненню. У поєднанні з використанням сучасних мастильних матеріалів та присадок це дозволяє значно покращити умови роботи тертьових поверхонь і зменшити рівень зношування.

Останнім важливим конструктивним аспектом є можливість застосування поверхневого зміцнення контактних зон. За допомогою локальних методів обробки, таких як термічна або хіміко-термічна обробка, лазерне гартування, наплавлення або напилення, можна значно підвищити твердість та зносостійкість робочих поверхонь. Особливо ефективним є поєднання конструктивних рішень, які дозволяють здійснювати зміцнення без впливу на всю деталь, що знижує витрати та підвищує технологічну гнучкість. У ряді випадків передбачена конструкцією можливість заміни або повторної обробки лише зношеної частини вузла дає змогу знизити витрати на ремонт і відновлення.

Таким чином, комплексне врахування наведених конструктивних принципів дозволяє не лише зменшити інтенсивність зношування, а й керовано впливати на його характер. Це забезпечує підвищення надійності, ресурсу та ефективності роботи тертьових вузлів у широкому спектрі технічних застосувань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дмитриченко М. Ф., Мнацаканов Р. Г., Мікосянчик О. О. Триботехніка та основи надійності машин: навч. посіб. – К. : Інформавтодор, 2006. – 216 с.
2. Гурей В. І. Вдосконалення процесу і оснащення перервного фрикційного зміцнення плоских поверхонь: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти / В. І. Гурей. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2013. – 22 с.
3. Hutchings I. M., Shipway P. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. – 2nd ed. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2017. – 396-412 p.

Перемітько Валерій Вікторович – доктор технічних наук, професор, декан металургійного факультету, Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, email: vperemitko1965@gmail.com

Чумак Михайло Сергійович – аспірант кафедри машинобудівних технологій та інженерії, Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, email: imike19621@gmail.com

Ways to control the intensity and nature of wear of contact friction pairs

Abstract

This work investigates approaches to reducing the intensity and changing the nature of wear of friction contact pairs. The influence of the choice of material combinations, geometry of conjugations, use of insert elements, load regulation and ensuring effective lubrication on the wear resistance of assemblies is considered. It is shown that rational design measures allow to significantly increase the durability of friction surfaces without significantly complicating technological processes. The results obtained can be used in the design and improvement of mechanical systems with increased requirements for wear resistance.

Keywords: friction contact pairs, wear resistance, wear intensity, technological process.

Peremitko Valerii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Metallurgy, Dniprovsky State Technical University, Kamyanske, email: vperemitko1965@gmail.com

Chumak Mykhailo – postgraduate student of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Engineering, Dniprovsky State Technical University, Kamyanske, email: imike19621@gmail.com

НОВІ НАНОКОМПОЗИТНІ ПОЛІМЕРНІ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ ПОЛІМОЛОЧНОЇ КИСЛОТИ ТА КОМБІНОВАНОГО НАПОВНЮВАЧА «ВУГЛЕЦЕВІ НАНОТРУБКИ – НАНОЧАСТИНКИ СРІБЛА»

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Анотація

У роботі представлено результати дослідження нанокompatитних полімерних покриттів на основі полімолочної кислоти, модифікованої гібридним нанонаповнювачем – вуглецевими нанотрубками та наночастинками срібла. Встановлено, що введення нанонаповнювача сприяє підвищенню механічної міцності, довговічності та антимікробних властивостей матеріалів. Отримані результати свідчать про доцільність використання таких покриттів у біомедичних і технологічних галузях.

Ключові слова: полімолочна кислота, вуглецеві нанотрубки, наночастинки срібла, нанокompatити, полімерні покриття, антимікробні властивості, механічна міцність

У сучасному матеріалознавстві спостерігається зростаючий інтерес до розробки екологічно безпечних полімерних покриттів з покращеними функціональними властивостями. Полімолочна кислота (ПМК), як біорозкладний полімер, є перспективною основою для створення таких покриттів [1]. Однак її механічні характеристики та бар'єрні властивості потребують поліпшення. Одним із шляхів модифікації ПМК є введення нанонаповнювачів, зокрема вуглецевих нанотрубок (ВНТ) [2] та наночастинок срібла (AgNPs) [3], які здатні формувати гібридні структури та надавати композитам не тільки покращені фізико-механічні властивості, а й антимікробні характеристики.

Метою роботи є отримання нанокompatитних полімерних покриттів на основі полімолочної кислоти, модифікованої гібридним нанонаповнювачем ВНТ–AgNPs, та дослідження їхніх структурних, механічних і антимікробних властивостей.

Нанокompatитні покриття виготовляли шляхом розчинного лиття: полімолочну кислоту розчиняли в диметилацетаміді з наступним додаванням гібридного нанонаповнювача, утвореного за допомогою ультразвукової обробки суміші вуглецевих нанотрубок та наночастинок срібла. Отриману суспензію наносили на скляні підкладки та сушили до повного випаровування розчинника. Структуру та морфологію покриттів досліджували методами мікроскопії, а фазовий склад – методом FTIR-спектроскопії. Механічні характеристики оцінювали за допомогою стандартних випробувань на розтяг, антимікробну активність – за методом дифузії у агар.

Включення гібридного нанонаповнювача ВНТ–AgNPs у матрицю ПМК призвело до значного покращення механічних властивостей композитів. Зокрема, межа міцності на розтяг зросла більш ніж на 40% у порівнянні з незмінним полімером, а модуль пружності – на 30%. Це пояснюється ефективною передачею напружень на межі полімер–наповнювач, а також рівномірним розподілом нанофаз у матриці [4].

Окрім механічної міцності, покриття продемонстрували підвищену зносостійкість та довговічність при експлуатаційних навантаженнях. Завдяки присутності наночастинок срібла матеріал набув виражених антимікробних властивостей, ефективно інгібуючи ріст таких мікроорганізмів, як *E. coli* та *S. aureus*. Морфологічні дослідження підтвердили утворення щільної та однорідної структури з добрим зчепленням між фазами.

Отже, отримані нанокompatитні покриття поєднують в собі високу біосумісність, міцність, стабільність до дії зовнішніх чинників та антимікробну активність, що робить їх перспективними для застосування у сфері біомедичних покриттів, упаковки харчових продуктів та захисних функціональних плівок.

Отримані нанокompatитні полімерні покриття на основі ПМК з гібридним нанонаповнювачем ВНТ–AgNPs демонструють покращені механічні характеристики, зносостійкість, довговічність та антимікробну активність. Комплекс властивостей таких матеріалів дозволяє розглядати їх як перспективні покриття для біомедичних і технологічних застосувань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Garlotta D. A literature review of poly(lactic acid). *Journal of Polymers and the Environment*. 2001. 9(2). P. 63-84.
2. Ajayan P. M., Zhou O. Z. Applications of carbon nanotubes. *Topics in Applied Physics*. 2001. 80. P. 391-425.
3. Rai M., Yadav A., Gade A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology Advances*. 2009. 27(1). P. 76-83.
4. Bakhtiari A., Madaah Hosseini H. R., Alizadeh R., Mohammadi M. Enhancing mechanical and biological properties of 3D-printed polylactic acid scaffolds by graphitic carbon nitride addition for bone tissue engineering. *Journal of Materials Research and Technology*. 2025. 35 (8). P. 308-316.

Лисенков Едуард Анатолійович – доктор фіз.-мат. наук, проф., завідувач лабораторії нанокompatитних матеріалів, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, ealisenkov@gmail.com.

Біла Вікторія Олексіївна – провідний фахівець НДЧ, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, vobila@gmail.com.

Бартошчак Ганна Олександрівна – провідний фахівець НДЧ, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, ho_bartoschak@gmail.com.

New nanocomposite polymer coatings based on polylactic acid and combined filler “carbon nanotube – silver nanoparticles”

Petro Mohyla Black Sea National University

Abstract

The paper presents the results of the study of nanocomposite polymer coatings based on polylactic acid modified with a hybrid nanofiller – carbon nanotubes and silver nanoparticles. It was found that the introduction of a nanofiller contributes to an increase in the mechanical strength, durability and antimicrobial properties of materials. The results obtained indicate the feasibility of using such coatings in biomedical and technological industries.

Keywords: polylactic acid, carbon nanotubes, silver nanoparticles, nanocomposites, polymer coatings, antimicrobial properties, mechanical strength

Lysenkov Eduard Anatoliyovych – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of the Laboratory of Nanocomposite Materials, Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, ealisenkov@gmail.com.

Bila Vitoriya Oleksiivna – Leading Specialist of the DSR, Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, vobila@gmail.com.

Bartoshchak Hanna Oleksandrivna – Leading Specialist of the DSR, Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, ho_bartoschak@gmail.com.

ПОЛІРУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ОПТОТЕХНІКИ З АЛЮМІНІЮ

¹ Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України;

² КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анотація

Запропоновано метод полірування деталей оптотехніки з алюмінію за допомогою дисперсної системи з мікро- та нанопорошків метаборату міді, який дозволяє підвищити швидкість зняття оброблюваного матеріалу і забезпечити необхідну шорсткість полірованих поверхонь.

Ключові слова: полірування, алюміній, метаборат міді, швидкість зняття матеріалу, шорсткість.

Вступ

Полірування деталей оптотехніки з алюмінію, які широко використовуються в якості астрономічних інструментів для космічних і земних обсерваторій, вискоефективних дзеркальних приладів видимого та ультрафіолетового діапазонів спектру, дзеркал для інфрачервоного діапазону, що працюють в криогенних умовах, здійснюється за допомогою методів алмазного мікроточіння в поєднанні з хіміко-механічним поліруванням дисперсними системами з мікро- і нанопорошків алмаза, оксиду алюмінію, двооксиду церію і метаборату міді. Підвищення якості дзеркальних поверхонь деталей оптотехніки з алюмінію можливе за удосконалення технології їх полірування та розробки полірувальних дисперсійних систем, які б забезпечували досягнення необхідної шорсткості оброблених поверхонь і швидкості зняття оброблюваного матеріалу [1, 2].

Метою роботи є вивчення закономірностей впливу фізико-хімічних властивостей оброблюваного матеріалу та дисперсної системи на показники полірування.

Результати дослідження

У відповідності до сучасних уявлень про механізм взаємодії оброблюваної поверхні з частинками дисперсної фази полірувальної дисперсної системи, видалення оброблюваного матеріалу під час полірування напівпровідників і металів відбувається внаслідок перенесення енергії від частинок полірувального порошку до оброблюваної поверхні за механізмом QD-FRET – ферстерівського резонансного перенесення енергії, опосередкованого квантовими точками, які утворюються на їхніх поверхнях, у відкритому мікрорезонаторі, який утворено поверхнями оброблюваного матеріалу і частинки полірувального порошку [3].

Ефективність QD-FRET, опосередкованого квантовими точками Al_2O_3 -QDs, залежить від добротності мікрорезонатора, а швидкість зняття оброблюваного матеріалу визначається у відповідності до загального рівняння [4, 5]

$$Q = \eta L_t \frac{\tau}{t_c} q \quad (1)$$

де η – коефіцієнт об'ємного зносу; L_t – довжина шляху тертя частинки полірувального порошку по оброблюваній поверхні; t_c – час контакту частинки полірувального порошку з оброблюваною поверхнею, τ – час життя квантових точок оброблюваної поверхні у збудженому стані; q – добротність резонатора.

Результати розрахунку і експериментального визначення швидкості зняття оброблюваного ма-

теріалу та параметрів шорсткості оброблених поверхонь наведено в таблиці.

Таблиця. Показники полірування поверхонь деталей оптотехніки з алюмінію

Показники полірування	Дисперсна система	
	CuV ₂ O ₄	CeO ₂
Швидкість зняття матеріалу, Q , 10 ⁻¹³ м ³ /с	43,3	0,2
Експеримент: мг/хв., мкм/год., Q , 10 ⁻¹³ м ³ /с	11,1 1,1 42,6	Маса знятого матеріалу – в межах похибки вимірювань
Параметри шорсткості		
Ra , нм	9,8±0,3	5,2±0,2
Rq , нм	10,2±0,4	5,5±0,3
$Rmax$, нм	16,4±1,4	9,9±1,0
Rz , мкм	0,049	0,026

З таблиці випливає, що під час полірування деталей оптотехніки з алюмінію за допомогою дисперсної системи з полірувального порошку двооксиду церію (CeO₂), незважаючи на мінімальні значення параметрів шорсткості, продуктивність полірування алюмінію неприпустимо мала, оскільки маса знятого матеріалу знаходиться в межах похибки вимірювань. Під час полірування алюмінію за допомогою дисперсної системи з мікро- та нанопорошків метаборату міді (CuV₂O₄) забезпечується виконання вимог, які висуваються до оптичних поверхонь ($Rz = 0,049$ мкм < 0,05 мкм) за високої продуктивності полірування (більше 1 мкм/год).

Запропоновано метод полірування алюмінію за допомогою дисперсної системи, в якій як дисперсна фаза використовуються мікро- та нанопорошки метаборату міді, а в якості дисперсного середовища використовується гас.

Висновки

Встановлено, що запропонований метод полірування поверхонь деталей оптотехніки з алюмінію за допомогою дисперсної системи з мікро- та нанопорошків метаборату міді дозволяє підвищити швидкість зняття оброблюваного матеріалу і забезпечити високу якість полірованих поверхонь, яка задовольняє вимогам, що висуваються до оптичних поверхонь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Філатов Ю.Д., Сідорко В.І., Філатов О.Ю., Ковальов С.В. Фізичні засади формоутворення прецизійних поверхонь під час механічної обробки неметалевих матеріалів. К.: Наук. думка, 2017. 248 с.
2. Ulitschka M., Bauer J., Frost F., Arnold T. Improvement of the optical properties after surface error correction of aluminum mirror surfaces. J. Europ. Opt. Soc.-Rapid Public. 2021. Vol. 17:1. P. 1–13.
3. Filatov Yu.D., Boyarintsev A.Yu., Kolesnikov O.V., Galkin S.M., Novgorodtsev V.O., Polupan Ya.I., Pylypenko O.I., Sidorko V.I., Kovalev S.V. Polishing of Optotechnical Parts Made of Semiconductor Materials. J. Superhard Mater. 2025. Vol. 47, no 2. P. 125–136.
4. Filatov Yu.D. Quantum Mechanism of Optical Glass Polishing. J. Superhard Mater. 2024. Vol. 46, no. 4. P. 303–313.
5. Filatov Yu.D., Sidorko V.I., Sokhan' S.V., Kovalev S.V., Boyarintsev A.Y., Kovalev V.A., Yurchyshyn O.Y. Roughness of Polished Surfaces of Optoelectronic Components Made of Polymeric Optical Materials. J. Superhard Mater. 2023. Vol. 45, no. 1. P. 54–64.

Філатов Юрій Данилович — доктор техн. наук, професор, провідний науковий співробітник, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, e-mail: filatov2045@gmail.com.

Сідорко Володимир Ігорович — доктор техн. наук, доцент, старший науковий співробітник, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ.

Ковальов Сергій Вікторович — канд. техн. наук, науковий співробітник, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ.

Ковальов Віктор Андрійович — канд. техн. наук, доцент кафедри конструювання машин, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ.

Юрчишин Оксана Ярославна — канд. техн. наук, доцент кафедри конструювання машин, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, e-mail: urchyshynoks@ukr.net

Polishing of surfaces of optical parts with aluminum

Abstract

A method for polishing aluminum optical components using a dispersed system of copper metaborate micro- and nanopowders has been proposed, which allows increasing the removal rate of the processed material and ensuring the required roughness of the polished surfaces.

Keywords: polishing, aluminum, copper metaborate, material removal rate, roughness.

Filatov Yuriy D. — Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher, V.M. Bakuly Institute of Superhard Materials, NAS of Ukraine, Kyiv, e-mail: filatov2045@gmail.com.

Sidorko Volodymyr I. — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, V.M. Bakuly Institute of Superhard Materials, NAS of Ukraine, Kyiv.

Kovalev Sergiy V. — Cand. Sc. (Eng), Researcher, V.M. Bakuly Institute of Superhard Materials, NAS of Ukraine, Kyiv.

Kovalev Viktor A. — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, Department of Machine Design, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv.

Yurchyshyn Oksana Y. — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, Department of Machine Design, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, e-mail: urchyshynoks@ukr.net.

ВПЛИВ ОРІЄНТАЦІЇ НАДРІЗУ ЗРАЗКІВ НА УДАРНУ В'ЯЗКІСТЬ ТРУБОПРОВІДНОЇ СТАЛІ З УРАХУВАННЯМ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України

Анотація.

Проаналізовано експлуатаційну зміну ударної в'язкості феритно-перлітної сталі API 5L X67 з урахуванням впливу орієнтації надрізу в зразках відносно напрямку вальцювання. Встановлено вищу ударну в'язкість сталі за використання зразків із надрізом, орієнтованим у радіальному напрямі. Найбільшу чутливість KCV до експлуатаційної деградації зафіксовано за випробувань поперечних зразків з концентратором в осьовому напрямі. Макрофрактографічний аналіз виявив характерне низькоенергоємне розшарування вздовж напрямку вальцювання.

Ключові слова: мікроструктура, сталь, експлуатація, опір крихкому руйнуванню, орієнтація надрізу, фрактографічний аналіз.

Перепрофілювання магістральних газопроводів для транспортування водню є важливою проблемою для розвитку водневої енергетики як в Україні, так і у світі [1, 2]. Для оцінювання їх роботоздатності за транспортування водню необхідно враховувати поточний опір крихкому руйнуванню сталей з урахуванням їх тривалої експлуатації та старіння [3], оскільки він є визначальною характеристикою. Трубопровідним сталям властива анізотропія, зокрема, і ударної в'язкості, спричинена багатьма чинниками (кристаліграфічна текстура, неметалеві включення, тощо) [4, 5]. Анізотропія вальцьованих сталей проявляється не тільки за використання зразків різної орієнтації щодо напрямку вальцювання, але її слід також очікувати і за різної орієнтації шляху поширення руйнування, тобто надрізу.

У даній праці дослідили вплив орієнтації концентратора напружень зразків Шарпі стосовно напрямку вальцювання на опір крихкому руйнуванню феритно-перлітної сталі API 5L X67 з урахуванням її експлуатаційної деградації. Порівняли два стани сталі: вихідний – труба запасу (границі плинності $\sigma_{0,2} = 482$ МПа та міцності $\sigma_B = 577$ МПа, відносні видовження $\delta = 23,1\%$ та звуження $\psi = 73\%$) та експлуатований на магістральному газопроводі впродовж 34 років ($\sigma_{0,2} = 510$ МПа, $\sigma_B = 576$ МПа, $\delta = 22,0\%$, $\psi = 71\%$), характеристики визначені з використанням поперечних зразків. Експлуатованій сталі властива дещо вища міцність за показником границі плинності, що супроводжувалося зниженням пластичності металу. Незначне підвищення рівня $\sigma_{0,2}$ за незмінної границі міцності для експлуатованої сталі зумовлене, очевидно, експлуатаційною деградацією. Ударну в'язкість KCV зразків Шарпі визначали з використанням поперечних та поздовжніх до напрямку вальцювання зразків з урахуванням вихідного та експлуатованого станів сталі, порівнюючи значення KCV сталі за орієнтації надрізу «збоку» та «зверху».

Отримано нижчі значення ударної в'язкості сталі за випроб поперечних зразків, порівняно із поздовжніми і для вихідного стану, і для експлуатованого (рис. 1). Найвищий ступінь анізотропії ударної в'язкості зафіксували для експлуатованого металу у випадку, коли руйнування поширюється у напрямі вальцювання. Таку поведінку металу пов'язали зі структурно-металургійним чинником та розвитком експлуатаційної мікропошкоженості.

Найвищі значення опору крихкому руйнуванню для сталі в обох станах виявили за випробувань зразків з надрізом орієнтованим у радіальному напрямі (рис. 1). Зокрема, для поперечних зразків експлуатованої сталі ударна в'язкість удвічі нижча, коли руйнування поширюється у поздовжньому напрямі, ніж у радіальному. Для експлуатованого металу ударна в'язкість сталі нижча за всіх умов випроб, водночас найвищу чутливість до експлуатаційної деградації виявили за використання поперечних зразків.

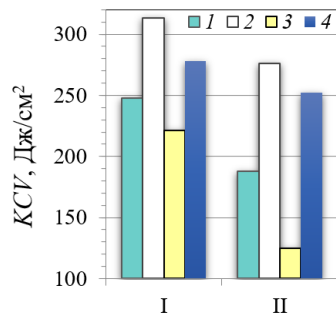


Рис. 1. Ударна в'язкість зразків сталі API 5L X67 у вихідному (I) та експлуатованому (II) станах з використанням поздовжніх (1, 2) та поперечних (3, 4) зразків за орієнтації надрізу «збоку» (1, 3) та «зверху» (2, 4).

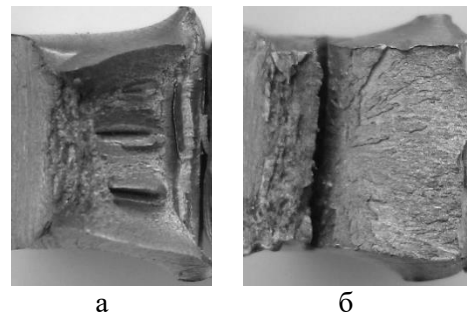


Рис. 2. Злами поперечних зразків сталі API 5L X67 у вихідному стані за орієнтації надрізу «збоку» (а) та «зверху» (б).

Макрофрактографічний аналіз зразків з надрізом у радіальному напрямі виявив переважно плоский злом у головній площині руйнування незалежно від стану сталі. Водночас на поперечних зразках (рис. 2) спостерігали також глибокі бокові тріщини (рис. 2б). На зразках з концентратором «збоку» у головній площині злomu зафіксували розшарування (рис. 2а), що типово для вальцьованих сталей [4].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A review of challenges with using the natural gas system for hydrogen / P. Martin, I. B. Ocko, S. Esquivel-Elizondo, et al. // Energy Sci. Eng. 2024. 12, № 10. P. 3995–4009.
2. Pipeline durability and integrity issues at hydrogen transport via natural gas distribution network / H. Nykyforchyn, L. Unigovskyi, O. Zvirko, et al. // Procedia Struct. Integr. 2021. 33(C). P. 646–651.
3. Zvirko O. I. In-service degradation of structural steels (A survey), Materials Science, 2021. V. 57, No. 3. P. 319–330.
4. Joo M.S., Suh D.W., Bhadeshia H.K.D.H. Mechanical anisotropy in steels for pipelines // ISIJ inter-national. 2013. 53, № 8. P. 1305–1314.
5. Nykyforchyn H., Tsyurulnyk O., Zvirko O., Kret N., Analysis and mechanical properties characterization of operated gas main elbow with hydrogen assisted large-scale delamination, Eng. Fail. Anal. 2017. V. 82. P. 364–377.

Демянчук Дмитро Олександрович – аспірант відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; dima.dem.fl@gmail.com.

Звірко Ольга Іванівна – доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, завідувач відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; olha.zvirko@gmail.com.

INFLUENCE OF THE ORIENTATION OF THE SPECIMEN NOTCH ON THE IMPACT TOUGHNESS OF PIPELINE STEEL TAKING INTO ACCOUNT THE OPERATIONAL CONDITIONS

Abstract.

The operational change in the impact toughness of ferritic-pearlitic steel API 5L X67 was analyzed taking into account the influence of the orientation of the notch in the samples relative to the rolling direction. The higher impact toughness of the steel was established when using samples with a notch oriented in the radial direction. The greatest sensitivity of KCV to operational degradation was recorded during tests of transverse samples with a concentrator in the axial direction. Macrofractographic analysis revealed a characteristic low-energy delamination along the rolling direction..

Key words: microstructure, steel, operation, brittle fracture resistance, notch orientation, fractographic analysis.

Dmytro Demianchuk – Ph.D. Student of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; dima.dem.fl@gmail.com.

Olha Zvirko – D.Sc., Professor, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; olha.zvirko@gmail.com.

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

¹ Національний університет «Львівська політехніка»;

² Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені
С.З.Гжицького

Анотація

Розроблено метод зміцнення деталей харчової промисловості шляхом хімічного осадження Ni-Co-P хімічного покриття та дифузійного хромування. Даний метод дозволяє підвищити зносостійкість та ресурс таких деталей.

Ключові слова: хімічне осадження, дифузійне хромування, мікротвердість, зміцнений шар.

Вступ

Існує ряд деталей, котрі працюють в умовах тертя, часто в реверсивному режимі, і їх відносять до класу так званих швидкозношувальних деталей з огляду на високу швидкість взаємного переміщення деталей пар тертя та великі значення контактних тисків. Виходячи з цього, гострою є проблема зміцнення поверхневих шарів пар тертя. Традиційні технології, такі як хіміко-термічна обробка (ХТО) чи поверхнева пластична деформація (ППД) (особливо остання) вже вичерпали свої можливості. Тому останнім часом для отримання зміцнених шарів підвищеної міцності та більшого експлуатаційного ресурсу використовують різного роду комплексні зміцнювальні обробки, метою яких є отримання поверхневих шарів гетерогенної (композитної) будови. [1, 2].

Метою роботи є розроблення методу зміцнення деталей машин, що працюють в харчовій промисловості для збільшення їх ресурсу.

Результати дослідження

Розроблений комплексний метод зміцнення, що полягає у дифузійному хромуванні середньовуглецевих сталей ($T = 1050^{\circ}\text{C}$, $\tau = 7$ год.) з попереднім нікелькобальтфосфорним покриттям. У результаті хромування при $T = 1050^{\circ}\text{C}$ при витримці $\tau = 7$ год. отримано покриття такої будови (рис. 1): зовнішня композитна зона, яка складається з стовпчастих зерен карбїду хрому (Cr_7C_3 та Cr_{23}C_6) (тверда фаза) та матриці (м'яка фаза) – твердого розчину хрому в α -залізі; гомогенна зона твердого розчину хрому в α -залізі; евтектоїдна зона; зневуглецьована зона і серцевина.

Використання хіміко-термічної обробки (ХТО), як базової обробки комплексного методу хімічної обробки і дифузійного хромування має такі переваги: загальна обізнаність з технологією дифузійного насичення поверхонь деталей (майже на кожному машинобудівному підприємстві використовуються процеси хіміко-термічної обробки); недефіцитність та відносна простота обладнання (потрібне обладнання є на кожній термічній дільниці чи термічному цеху підприємств); відносна простота проведення і керування процесом ХТО (більшість процесів є автоматизованими) та ін.

Перед зміцненням шляхом комплексного методу хімічної обробки і дифузійного хромування робочі поверхні спрацьованих деталей механічно обробляли відомими методами (точіння, фрезерування, шліфування та ін.) для видалення модифікованого поверхневого спрацьованого шару та виправлення поверхні деталі до правильної геометричної форми. Механічну обробку слід проводити із врахуванням міжремонтних розмірів даної деталі.

Морфологія карбїдної складової отриманого зміцненого покриття не має яскраво вираженої стовпчатої будови. Ближче до фізичної поверхні карбїдна колонія збіднюється. При часі хрому-

вання ($\tau = 7$ год.) (рис. 1) має збільшену товщину композитної зони та певного нарощування карбідної колонії.

Позитивною рисою даного покриття є можливість швидкого припрацювання через переважання пластичної складової над карбідами в зоні, близькій до фізичної поверхні.



Рис. 1. Мікроструктура дифузійного шару на сталі У 10 з попереднім Ni–Co–P покриттям. Режими: $T=1050^{\circ}\text{C}$, витримка $\tau=7$ год. (ізотермічна витримка $\tau=1$ год. при $T=800^{\circ}\text{C}$).

Висновки

Встановлено, що на щільність карбідної складової зміцненого поверхневого шару, як основи композиту впливає наявність у хімічному покритті порівняно великої кількості гіпофосфіту натрію, який є джерелом фосфору. На дисперсність карбідної складової має вплив наявність у хімічному покритті кобальту. Отримання великої товщини композиційної зони дає можливість здійснювати періодичну корекцію геометричних параметрів зношеної поверхні тертя в ремонтний розмір. Це дозволить значно розширити ресурс роботи швидкозношувальних пар тертя у обладнанні харчової промисловості та скоротити час простоїв на ремонт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Stetsko A.E., Stetsko Y.T. (2020) Formation of Composite Reinforced Coating by Chemical Deposition and Chemical-Thermal Treatment of Boron and Carbon. In: Pogrebnyak A., Bondar O. (eds) Microstructure and Properties of Micro- and Nanoscale Materials, Films, and Coatings (NAP 2019). Springer Proceedings in Physics, vol 240. Springer, Singapore, pp 261–270. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6_24
2. Stetsko A.E., Stetsko Y.T. (2021) The Influence of Carbon, Carbon, and Boron on the Formation of Diffusion Nanocomposite Hardened Layers on the Surfaces of Steel Parts. In: Fesenko O., Yatsenko L. (eds) Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces, and Their Applications. Springer Proceedings in Physics, vol 246. Springer, Cham. pp 699–708. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51905-6_47

Стецько Андрій Євгенович — канд. техн. наук, доцент кафедри технічної механіки та інженерної графіки, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: andrii.y.stetsko@lpnu.ua.

Дружб'як Максим Андрійович — аспірант Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З.Гжицького

Increasing the service life of food industry machine parts

Abstract

A method for strengthening food industry parts by chemical deposition of Ni-Co-P chemical coating and diffusion chromium plating has been developed. This method allows to increase the wear resistance and service life of such parts.

Keywords: chemical deposition, diffusion chromium plating, microhardness, hardened layer.

Stetsko Andrew E. — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of Technical mechanics and Engineering Graphics, Lviv Polytechnic National University, Lviv

Druzhyak Maksym A. — Postgraduate student at the S.Z. Gzhytsky Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology

О.В. Вдовиченко
М.Б. Штерн
О.Г. Кіркова
А.М. Колесников
А.В. Кузьмов
Н.Д. Ткачук

ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТЕЙ ПОШИРЕННЯ ПРУЖНИХ ХВИЛЬ В ПОРОШКОВОМУ ТИТАНІ

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

Анотація

В роботі наведені результати експериментальних досліджень швидкостей поширення поздовжньої пружної хвилі в зразках порошкового титану різної пористості, спечених за різних температур. Встановлена залежність швидкостей пружних хвиль в слабо спечених зразках від способу їх збурення. Запропонована модель, що пояснює виявлений ефект. Отримані результати закладають підвалини створення нових методів неруйнівного контролю матеріалів.

Ключові слова: пористий титан, дефекти структури, акустичні методи, неруйнівний контроль

Технічно чистий титан має комплекс привабливих властивостей, зокрема, задовольняє вимогам до матеріалів біомедичного призначення. Для узгодження титанових імплантатів з кістковою тканиною за критерієм пружності, а також для забезпечення кращого сполучення імплантату з кістковою тканиною використовують пористі матеріали, які, зокрема, одержують методами порошкової металургії. Вимогами до таких пористих матеріалів є відсутність тріщиноподібних дефектів. Метою даної роботи було дослідження залежностей швидкостей поширення акустичних хвиль в пористому титані від наявності площинних (тріщиноподібних) дефектів.

Зразки титану пористістю 0,05; 0,10 і 0,20, одержаних пресуванням порошку з розмірами частинок 315...500 мкм і наступним спіканням за температур 500...1200°C у відповідності до технології [1]. Швидкість звуку визначали методом наскрізного проходження поздовжньої ультразвукової хвилі, що збурювалась п'єзоелектричними перетворювачами з центральною частотою 5 МГц через зразок у формі прямокутного паралелепіпеда. На відміну від методики [2], застосовували перетворювачі збурення, які забезпечували збурення пружної хвилі під різними кутами до нормалі до поверхні зразка: 0° (нормально до поверхні), 50° та 60°. Приймальний перетворювач поздовжньої хвилі розташовували на протилежній грані зразка.

Було встановлено, що у зразків усіх досліджених пористостей, спечених за температури 1200°C, яка забезпечує повне спікання порошку і його рекристалізацію з переміщенням межі між зернами з зони контакту частинок порошку, кут збурення хвилі практично не впливав на визначену швидкість її поширення. Натомість у зразків, спечених за нижчих температур, швидкість поширення хвилі зменшувалась зі збільшенням кута нахилу п'єзоелементу акустичного перетворювача збурення, причому зі зменшенням температури спікання ця різниця збільшувалась.

Для пояснення спостереженого ефекту була запропонована модель, яка ґрунтується на понятті про порошкове тіло, пружний потенціал якого залежить від параметра, що відповідає за різноопірність матеріалу розтягу і стисненню і пов'язаний з наявними двовимірними дефектами як от недосконалі контакти між частинками порошку або тріщини [3].

Одержані результати засвідчили, що виявлений ефект залежності швидкості поширення пружної хвилі від схеми збурення хвилі пов'язаний з різним опором матеріалу розтягу і стисненню, а отже з вмістом двовимірних дефектів. Отже, цей ефект може слугувати основою

створення неруйнівних методик, які надають можливість відрізнити вплив на акустичні характеристики: 1) пор, які є бажаними елементами структури в імплантат, фільтрах, каталізаторах тощо та 2) вкрай небажаних площинних дефектів, які можуть бути джерелом зародження втомних макроскопічних тріщин, а також причиною зменшення в'язкості руйнування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Borisovskaya E.M., Nazarenko V.A., Podrezov Yu.N., Koryak O.S., Evich Ya.I., Vdovichenko A.V. Mechanical properties of powder titanium at different production stage II. Mechanical behavior of porous titanium compacts // Powder Met. Metal Ceram. – 2008. – V.47. – P.538-545.
2. Вдовиченко О.В., Згалат-Лозинський О.Б., Колесников А.М., Матвійчук О.О. Акустичні дослідження пружності та демпфування композитів на основі поліпропілену, наповнених частинками нітриду титану, для 3-D друку // Порошкова металургія. – 2024. - №9-10 – 12.
3. Shtern M.B. Elastic model of isotropic powder materials with different tensile and compressive properties // Powder Met. Metal Ceram. – 2009. – V.48. – P.257-266.

Відомості про авторів

Вдовиченко Олександр Васильович, доктор технічних наук, завідувач лабораторії Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ, е-адреса: vdovyche@gmail.com;

Штерн Михайло Борисович, член-кореспондент НАН України, завідувач відділу Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ, е-адреса: mbsh07@ukr.net

Кіркova Олена Геннадіївна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ, е-адреса: lv2@ukr.net;

Колесников Анатолій Миколайович, науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ, е-адреса: semafor@ukr.net;

Кузьмов Андрій Васильович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ, е-адреса: kavipms326@gmail.com;

Ткачук Неоніла Дмитрівна, молодший науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ, е-адреса: nila_tk@yahoo.com

STUDY OF VELOCITIES OF PROPAGATION OF ELASTIC WAVES IN POWDER TITANIUM

Abstract

The report presents the results of experimental studies of the propagation velocities of longitudinal elastic waves in titanium powder samples of different porosity sintered at different temperatures. The dependence of the velocities of elastic waves in weakly sintered samples on the scheme of their perturbation has been established. A model is proposed to explain the observed effect. The results obtained lay the foundation for the development of new methods of non-destructive testing of materials.

Keywords: porous titanium, structural defects, acoustic techniques, non-destructive testing

Information about the authors

Vdovychenko, Oleksandr, Doctor of Technical Science, Head of Laboratory of Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: vdovyche@gmail.com;

Shtern, Mykhailo, Corresponding Member of National Academy of Sciences of Ukraine, Head of Department of Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: mbsh07@ukr.net

Kirkova, Olena, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Scientist of Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: lv2@ukr.net;

Kolesnykov, Anatolii, Research Scientist of Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: semafor@ukr.net;

Kuzmov, Andrii, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Scientist of Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: kavipms326@gmail.com;

Tkachuk, Neonila, Junior Research Scientist of Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: nila_tk@yahoo.com

ПІДВИЩЕННЯ УДАРНО-АБРАЗИВНОЇ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДОРОЖНІХ МАШИН

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі на основі аналізу факторів, які впливають на зношування деталей обладнання, що працює в умовах абразивного та ударно-абразивного зношування, запропоновано критерії вибору матеріалів для робочих органів дорожніх машин та покриттів на них. Запропоновано використовувати матеріали з структурою, що має тверді зносостійкі включення та в'язку аустенітну матрицю.

Ключові слова: ґрунт, абразив, дорожнє полотно, твердість, структура металу, аустенітна матриця.

Keywords: soil, abrasive, road surface, hardness, metal structure, austenitic matrix.

У дорожньо-будівельних машин найбільш поширеним пошкодженням є знос робочих органів. За даними організацій, які експлуатують та ремонтують цю техніку, біля 50% всіх ремонтних робіт по відновленню їх працездатності припадає на заміну або реставрацію робочих органів, які втратили свої форму та розміри внаслідок ударно-абразивного зношування. Найбільшого зносу зазнають робочі органи тих машин, які працюють з високими тисками середовища на поверхні, які безпосередньо виконують корисну роботу. На дорожньо-будівельних машинах найбільший знос спостерігається на ножах скреперів, грейдерів та бульдозерів, щелепах грейферних навантажувачів та ін. [1].

Крім абсолютного значення зносу на функціональність ножів та щелеп впливає його рівномірність. Саме за критеріями нерівномірності зносу та відхиленнями від заданої геометричної форми і виконують дефектування цих деталей. У значній кількості випадків компенсувати нерівномірність зносу окремих поверхонь не вдається. Гостро поставлено питання зменшити ударно-абразивне зношування та зменшити його нерівномірність, що покращить якість та ефективність функціонування дорожніх машин і є безумовно актуальною задачею.

Характерними особливостями робочих процесів машин, які використовуються в умовах дорожньо-будівельного виробництва, є врізання їх робочих органів у ґрунт, щєбінь або їх суміш та переміщення на певну відстань. При цьому профіль ножа бульдозера або скрепера повністю копіюється на дорожнє полотно, яке повинно відповідати вимогам проекту із заданою точністю. Перевищення допусків на профіль дороги приводить до перевитрат матеріалів та погіршення якості виконаних робіт [1].

Процес врізання робочих органів дорожніх машин в ґрунт, пісок, щєбінь або їх суміш та стабільне зрізання надлишкового шару супроводжується виникненням сил опору, тертя, які характеризуються нестабільністю в часі та по довжині профілю. На відміну від ґрунтообробних машин сільськогосподарського призначення, що рихлять ґрунт на певну глибину, дорожні машини повинні забезпечити потрібний профіль дорожнього полотна не зважаючи на товщину шару ґрунту, який має бути видалений. Такий режим роботи машин супроводжується нестабільністю навантажень на приводи, появою відхилень в просторовій орієнтації робочих органів, виникненням релаксаційних та вимушених коливань. Крім нестабільності навантажень на робочі органи, динамічні процеси також викликають нелінійні сили тертя між елементами приводу, зміну зазорів, зменшує жорсткість несучої системи та нерівномірний знос різальних крайок. Система: абразивне середовище – робочі поверхні деталей, що взаємодіють з ним, – кінематика та параметри їх взаємного переміщення – робочі зусилля та тиски взаємодії – ось основні складові, які потрібно врахувати під час дослідження проблем якості роботи дорожніх машин, довговічності робочих органів та деталей несучої конструкції [2].

За основними ustalеними положеннями протидії абразивному зношуванню потрібно підвищувати твердість робочих поверхонь деталей, що зменшує інтенсивність процесів їх мікрорізання та швидкість зношування. Але слід врахувати, що взаємодія між ґрунтом та різальними органами машини в реальних умовах характеризується низкою змінних факторів, які викликають вимушені та автоколивання (вібрацію) складальних одиниць, деталей та їх окремих частин. Ці коливання додаються до хвиль тиску ґрунту, що виникають внаслідок впливу змінних локальних умов та властивостей. Наслідком цих нестационарних процесів є виникнення в матеріалі деталей пульсацій напружень стиску та розтягу, які в деяких місцях можуть перевищити граничні значення [3]. Особливо небезпечними є напруження розтягу, оскільки тріщиностійкість матеріалів з твердими поверхневими шарами відносно невисока. Це проявляється у виникненні на поверхнях мікротріщин та локальних пошкоджень. Серйозним фактором обмеження довговічності описаних деталей є ударні руйнування, які виникають внаслідок наїзду на крупне каміння та металеві уламки або різкого опускання робочого органу на тверді виступи на полотні дороги. Важливим завданням збільшення ресурсу дорожньої машини є вибір матеріалів, покриттів та їх термічної обробки, які дозволяють збалансувати показники ударної міцності та зносостійкості для протидії найбільш ймовірним видам зношування. Перспективними матеріалами є сталі або композити, які мають у структурі тверді складові у в'язкій, пластичній матриці. Перспективними є сталі з регульованою аустенітною матрицею та карбоборидними дисперсними включеннями [4]. При цьому зберігається можливість локальної термообробки для зміцнення та нанесення покриттів для зміцнення або відновлення. Суттєвий вплив на зменшення міцності та зносостійкості робочих поверхонь є формування крупнозернистої структури матеріалу, яка зменшує показники міцності і сприяє дифузії та накопичення водню, вуглецю та інших елементів з середовища та глибших шарів металу. Внаслідок більших коефіцієнтів дифузії по границях зерен виникають сприятливі умови накопичення у цих зонах матеріалу вакансій, дефектів та розвитку мікротріщин. Дослідження впливу величини зерна на абразивну стійкість сталі показали [4], що зі зменшенням величини зерна опірність ударному та мікроударному руйнуванню сталі підвищується. Актуальними є розробки матеріалів та технологій їх термообробки для подрібнення зерна, зменшення коефіцієнтів дифузії водню, інших неметалевих елементів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білецький В. С. Механіка ґрунтів у будівництві. — К.: Вища школа, 2010. — 384 С.
2. Галико А.В. Ударно-абразивне зношування деталей машин та агрегатів/ Наукові записки. – Кіровоград: КНТУ, № 8, 2007, с. 77-78.
3. Бережний М. М., Чорний Г. С. Основи механіки ґрунтів і фундаментоутворення. — Харків: ХНУМГ, 2015. — 280с.
4. 15. [Yulong Li](#), [Nikolay Garabedian](#), [Johannes Schneider](#), [Christian Greiner](#). Waviness Affects Friction and Abrasive Wear/ Published, № 64, 2023, с. 1-12.

Гримашевич Володимир Олександрович — аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kateruna02101996@gmail.com

Науковий керівник: **Савуляк Валерій Іванович** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: korsav84@gmail.com.

INCREASING THE IMPACT AND ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF WORKING BODIES OF ROAD MACHINERY

Abstract

The paper, based on the analysis of factors affecting the wear of equipment parts operating under conditions of abrasive and impact-abrasive wear, proposes criteria for selecting materials for the working bodies of road machines and coatings on them. It is proposed to use materials with a structure that has hard wear-resistant inclusions and a viscous austenitic matrix.

Keywords: soil, abrasive, road surface, hardness, metal structure, austenitic matrix.

Grimashevich Volodymyr O. — postgraduate student of the Department of Industrial Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kateruna02101996@gmail.com

Supervisor: **Savulyak Valeriy I.** – Dr. Techn. Sc., Prof., Professor of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: korsav84@gmail.com.

**А.О. Макудера^{1*},
О.В. Дуднік¹,
С.М. Лакиза^{1,2},
В.П. Редько¹
М.І. Гречанюк¹**

СКЛАДНО-КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ НА ОСНОВІ НАНОКРИСТАЛІЧНОГО ПОРОШКУ ZrO_2

¹Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України Україна, 03142, Київ,
вул. Омеляна Прицака, 3

*E-mail: alina.makudera@gmail.com

²ENSEMBLE 3 Центр передового досвіду з нанофотоніки, передових матеріалів та нових
технологій, заснованих на вирощуванні кристалів, Варшава, Польща

Анотація

Термобар'єрні покриття (ТБП) призначені для зниження температури та захисту лопаток газових турбін від впливу високотемпературних газових потоків у процесі експлуатації. Для розробки новітніх покриттів, з метою їх використання при підвищених температурах (1600 °С), досліджено фізико-хімічні властивості складнокомпозиційних матеріалів на основі твердих розчинів ZrO_2 , легованого концентратом оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи природнього походження(ВК). Обрано склади, що вміщують 10, 20 та 30(мас.%) ВК, які піддавались термообробці при температурі 1400 °С протягом 12, 16 та 20 годин. Фазовий склад зразків досліджено методом рентгенофазового аналізу (Rigaku SmartLab 3kW Diffractometer).

Ключові слова: діоксид цирконію, оксиди РЗЕ, ТБП, фазові перетворення

Термобар'єрні покриття (ТБП) призначені для зниження температури та захисту лопаток газових турбін від впливу високотемпературних газових потоків у процесі експлуатації. Широко вивчений і використовуваний матеріал верхнього шару ТБП – твердий розчин на основі ZrO_2 , стабілізованого 6 – 8 мас. % Y_2O_3 (YSZ), який характеризується низькою теплопровідністю та відносно високим коефіцієнтом термічного розширення, проте наближається до температурної межі свого застосування (< 1200 °С) через спікання та фазові перетворення t'-фаза $ZrO_2 \rightarrow$ T- $ZrO_2 + F-ZrO_2$ з подальшим утворенням M- ZrO_2 при пониженні температури.

Для підвищення температури експлуатації ГТД, розробки нових матеріалів ТБП на основі твердих розчинів ZrO_2 наразі пов'язані з модифікацією їх складу завдяки частковому або повному заміщенню Y_2O_3 оксидами рідкісноземельних елементів. Для мікроструктурного проектування високодефектних складно-композиційних шарів ТБП на основі ZrO_2 представляють інтерес концентрати оксидів РЗЕ природнього походження, які утворюються в процесі переробки апатитових руд [1].

Для дослідження використано нанокристалічний порошок ZrO_2 , виробництва КНР ($LZrO_2$) та порошок суміші оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи (ВК) складу (мас.%): Y_2O_3 – 13,3; Tb_4O_7 – 1.22; Dy_2O_3 – 33.2; Ho_2O_3 – 8.9; Er_2O_3 – 21.8; Tm_2O_3 – 1.86; Yb_2O_3 – 12.5; Lu_2O_3 – 0.57; сумарний вміст інших оксидів – 6.65 (у тому числі Al_2O_3 – 3,2), що утворилась при виробництві мінеральних добрив з апатитових руд.

Для проведення експериментів визначено фізико-хімічні властивості вихідних порошоків ZrO_2 і суміші оксидів РЗЕ (ВК) та досліджено склади (мас. %) 90 ZrO_2 – 10 ВК (90-10), 80 ZrO_2 – 20 ВК (80-20) і 70 ZrO_2 – 30 ВК (70-30).

Для виготовлення складно-композиційних сумішей порошки ZrO_2 та суміші оксидів РЗЕ змішано в лабораторному шаровому млині у середовищі ізопропілового спирту протягом 8 годин. Застосовано мелночі тіла з ZrO_2 . Після змішування порошки ZrO_2 /ВК висушено у повітрі у сушильній шафі SNOOL 58/350 при 80 °С протягом 10 годин. Зразки сформовано на гідравлічному пресі у вигляді таблеток діаметром 20 мм та висотою 5-6 мм. Термічну обробку

зразків ZrO₂/ВК проведено у печі Nabetherm GmbH LHT 08/17 при 1400 °С протягом 12, 16 та 20 год. у корундових тиглях.

Фазовий склад вихідних та складно-композиційних (ZrO₂/ВК) зразків після різних термінів термообробки досліджено методом рентгенофазового аналізу (Rigaku SmartLab 3kW Diffractometer).

Встановлено, що після термічної обробки утворилась суміш моноклінного (М-ZrO₂) та кубічного (F-ZrO₂) твердих розчинів на основі ZrO₂. Зі збільшенням кількості ВК вміст F-ZrO₂ в сумішах становить: 90-10 ~ 25%, 80-20 ~ 70%, 70-30 ~ 98% незалежно від терміну витримки при 1400 °С. Середній розмір первинних частинок F-ZrO₂ змінюється від 37 нм до 53 нм. При збільшенні вмісту ВК поруватість зразків підвищується від 33% до 45%, але також не залежить від терміну витримки. Результати свідчать про незначну спікливість досліджених матеріалів при 1400 °С.

Одержані результати показують перспективність використання ВК при розробці керамічних шарів для новітніх ТБП.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Михайлов В. А., Ажажа В.М., Борц Б.В., Ванжа А.Ф., Рыбальченко Н.Д., Шевякова Э.П. Редкоземельные руды мира. Возможности применения редкоземельных элементов при создании конструкционных материалов для атомной промышленности Украины. Вопросы атомной науки и техники. 2008. № 1. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники (17). С. 195 – 201.

Макудера Аліна Олександрівна

науковий співробітник,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,

E-mail: a.makudera@ipms.kyiv.ua

Дуднік Олена Вікторівна

доктор хімічних наук, завідувач відділом,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,

E-mail: dudnikelena@ukr.net

Лакіза Сергій Миколайович

доктор хімічних наук, провідний науковий співробітник,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,

E-mail: sergij_lakiza@ukr.net

Редько Віктор Петрович

к.х.н., старший науковий співробітник,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,

Гречанюк Микола Іванович

доктор технічних наук, провідний науковий співробітник,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,

E-mail: elthechnic777@ukr.net

COMPOSITE MATERIAL BASED ON NANOCRYSTALLINE ZrO₂ POWDER

Abstract

Thermal barrier coatings (TBC) are designed to reduce the temperature and protect gas turbine blades from the effects of high-temperature gas flows during operation. To develop new coatings for use at elevated temperatures (1600 °C), the physicochemical properties of composite materials based on solid solutions of ZrO₂ doped with a concentrate of REE oxides of the yttrium subgroup of natural origin (VK) were studied. Compositions containing 10, 20 and 30 (wt.%) VK were selected, which were subjected to heat treatment at a temperature of 1400 °C for 12, 16 and 20 hours. The phase composition of the samples was studied by X-ray phase analysis (Rigaku SmartLab 3kW Diffractometer).

Keywords: zirconium dioxide, REE oxides, TBP, phase transformations

Makudera Alina Oleksandrivna

researcher,

Francevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science of Ukraine, Kiev,

E-mail: a.makudera@ipms.kyiv.ua

Dudnik Elena Victorovna

doctor of Chemical Sciences, head of the department,

Francevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science of Ukraine, Kiev,

E-mail: dudnikelena@ukr.net

Lakiza Sergij Mikolaevih

doctor of Chemical Sciences, leading researcher,

Francevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science of Ukraine, Kiev,

E-mail: sergij_lakiza@ukr.net

Red'ko Viktor Petrovich

PhD in Chemical Sciences, senior researcher

Francevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science of Ukraine, Kiev

Hrechanyuk Nikolay Ivanovych

doctor of Engineering, leading researcher,

Francevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science of Ukraine, Kiev

E-mail: elthechnic777@ukr.net

О.В.Дуднік,
І.О.Марек,
О.К.Рубан,
О.М.Ященко,
І.І.Дідук,
Т.В.Мосіна

ВПЛИВ КОМПЛЕКСНОЇ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ НА СПІКАННЯ КОРУНДОВОЇ КЕРАМІКИ

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

Анотація

Для мікроструктурного проектування кераміки на основі $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ зі зниженою температурою спікання як комплексний мінералізатор застосовано базальтове скло (БС). Визначено особливості спікання кераміки складу (мас. %) 80 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ - 20 БС у присутності рідкої фази, яка не зникала до кінця процесу. Одержано матеріали з відносною густиною 0,93 – 0,95. В залежності від терміну витримки при 1500°C, твердість за Вікерсом матеріалів змінювалась від 6,8 ГПа до 8,1 ГПа, а критичний коефіцієнт в'язкості руйнування (K_{Ic}) від 5,6 МПа · м^{0,5} до 6 МПа · м^{0,5}. Одержані результати буде використано для створення конструкційної кераміки на основі $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ з підвищеною в'язкістю руйнування різноманітного призначення.

Ключові слова: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, базальтове скло, температура спікання, рідкофазне спікання, в'язкість руйнування

Керамічні матеріали на основі $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ виділяє поєднання механічних, термічних, електричних і оптичних властивостей. За співвідношенням «ціна/якість» вказані матеріали є оптимальними, з чим пов'язано значний об'єм їх застосування у промисловості, проте основними їх недоліками залишаються висока температура спікання (1700–1800 °C) та низька в'язкість руйнування. Для зниження температури спікання матеріалів на основі $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ використовують мінералізатори, які сприяють утворенню рідкої фази в процесі нагріву та ізотермічних витримок. Становить научний та практичний інтерес застосувати до створення кераміки на основі $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ зі зниженою температурою спікання принципи мікроструктурного проектування складно-композиційних матеріалів. На відміну від високоентропійних матеріалів [1], складно-композиційні відносяться до середньоентропійних, з нееквімолярним співвідношенням компонентів [2]. Дослідження вказаних матеріалів показали, що вони за властивостями можуть переважати високоентропійні [3]. Створенню складно-композиційних матеріалів на основі $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ сприяє використання при їх виробництві комплексних мінералізаторів природнього походження.

Мета роботи: дослідити спікання кераміки на основі $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ в присутності комплексного мінералізатора - базальтового скла.

Базальтове скло (БС) вироблено з гірської породи типу базальту. До його складу входять оксиди кремнію, титану, алюмінію, заліза, кальцію, магнію, натрію, калію, марганцю. На відміну від скляних шихт, що складаються із сумішей силікатних компонентів, вивержені гірські породи є багатоконпонентною системою, отриманою в результаті фізико-хімічних процесів, які відбулися при застиганні і кристалізації розпавленої магми. Тому вони мають композиційний склад, до якого входять мінеральні сполуки силікатів.

Досліджено матеріали складу (мас. %) 80 α - Al_2O_3 - 20 БС. Для одержання вихідного порошку композитного складу застосовано змішування у шаровому млині порошоків α - Al_2O_3 та базальтового скла. Заготовки ($d = 2 \cdot 10^{-3}$ м, $h = 0,65 \cdot 10^{-3}$ м) сформовано методом двостороннього холодного одновісного пресування у металевій прес-формі. Спінання проведено при 1500 °С на повітрі у печі Nabertherm LTN08/17. Спінання відбувалося у присутності рідкої фази, яка не зникла до кінця процесу. Термін витримки – 2,4,6 год.

Після спінання у всіх зразках ідентифіковано виключно α - Al_2O_3 . Підвищення терміну витримки при температурі спінання практично не впливає на відносну густину матеріалів, яка змінювалась від 0,95 (після 2 год) до 0,93 (після 4 год та 6 год). Мікроструктура зразків складається з зерен двох типів : багатокутних (з закругленими кутами або у формі табличок, розміром до 5 мкм) та округлої форми (розміром від 1 мкм до 3 мкм). В залежності від терміну витримки зразків при температурі спінання, твердість за Вікерсом (при навантаженні 30 кг) змінювалась від 6,8 ГПа до 8,1 ГПа, а K_{1c} від 5,6 МПа \cdot м^{0,5} до 6 МПа \cdot м^{0,5}.

Одержані результати буде використано при мікроструктурному проектуванні конструкційних матеріалів на основі α - Al_2O_3 з підвищеною в'язкістю руйнування різноманітного призначення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1.Ch.Rost, E. Sacht, T. Borman, A. Moballeggh, El. C. Dickey, D. Hou, J. L. Jones, S. Curtarolo, M. Jon-Paul Entropy-stabilized oxides. *Nature Communications*. 2015. Vol. 6. P. 8485. DOI: [10.1038/ncomms.9485](https://doi.org/10.1038/ncomms.9485).
- 2.Wright A.J., Luo J. A step forward from high-entropy ceramics to compositionally complex ceramics: a new perspective. *J Mater Sci*. 2020. Vol. 55. P. 9812 – 9827 <https://doi.org/10.1007/s10853-020-04583-w>.
3. Monteverde F., Gaboardi M. Entropy-driven expansion of the thermodynamic stability of compositionally complex spinel oxides. *Journal of the European Ceramic Society* 2024. Vol. 44. P. 7704–7715 <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2024.05.028>

Дуднік Олена Вікторівна

доктор хімічних наук, завідувач відділом

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ

E-mail : dudnikelena@ukr.net

Марек Ірина Олегівна

кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ

E-mail : Mega_marekirina@ukr.net

Рубан Олексій Костянтинович

науковий співробітник

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ

E-mail : elenaalexey2@gmail.com

Яценко Ольга Михайлівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ

E-mail : olgiza77@ukr.net

Дідук Ірина Іванівна

кандидат технічних наук, в.о. завідувача лабораторією

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ

E-mail : diduk2@gmail.com

Мосіна Тетяна Вячеславівна

кандидат технічних наук, завідувач відділом

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ

E-mail: mosinatv@ukr.net

INFLUENCE OF COMPLEX MINERALIZATION ON THE SINTERING OF CORUNDUM CERAMICS

Abstract

Basalt glass (BS) was used as a complex mineralizer for microstructural designing of ceramics based on α -Al₂O₃ with a reduced sintering temperature. The sintering features of ceramics with a composition (wt. %) 80 α -Al₂O₃ - 20 BS were determined in the presence of a liquid phase that did not disappear until the end of the sintering. Ceramics with a relative density of 0.93 - 0.95 were obtained. Depending on the holding time at 1500°C, the Vickers hardness of ceramics varied from 6.8 GPa to 8.1 GPa, the fracture toughness (K_{Ic}) varied from 5.6 MPa·m^{0.5} to 6 MPa·m^{0.5} also. The investigation results will be used to create the structural ceramics based on α -Al₂O₃ with increased fracture toughness for various applications.

Keywords: α -Al₂O₃, basalt glass, sintering temperature, liquid phase sintering, fracture toughness.

Dudnik Olena Viktorivna
Doctor of Chemical Sciences, Head of Department
Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NASU, Kyiv
E-mail : dudnikelena@ukr.net

Marek Iryna Olegivna
Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher
Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NASU, Kyiv
E-mail : Mega_marekirina@ukr.net

Ruban Oleksiy Kostyantynovich
Researcher
Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NASU, Kyiv
E-mail : elenaalexey2@gmail.com

Yashchenko Olga Mykhailivna
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NASU, Kyiv
E-mail: olgiza77@ukr.net

Diduk Iryna Ivanivna
Candidate of Technical Sciences, Acting Head of Laboratory
Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NASU, Kyiv
E-mail: diduk2@gmail.com

Mosina Tetyana Vyacheslavivna
Candidate of Technical Sciences, Head of Department
Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NASU, Kyiv
E-mail: mosinatv@ukr.net

АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ УДАРНОГО ІНСТРУМЕНТА З ГРУНТОМ ПРИ ЗАНУРЕННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТОВПЧИКІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ НАСАДЖЕННЯХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено процес взаємодії стовпчиків (залізобетонних опор) з ґрунтом під час їх занурення у ґрунтове середовище при облаштуванні шпалерних систем у виноградниках та садках. Розглянуто динамічні аспекти проникнення стовпчиків під дією ударного навантаження, враховано фізико-механічні характеристики ґрунтів, а також вплив їх конструктивних параметрів. Отримані результати спрямовані на вдосконалення технологічного процесу монтажу шпалерних конструкцій у сільському господарстві.

Ключові слова: шпалерна система, залізобетонна опора, ударне занурення, ґрунт, демпфування.

Процес занурення залізобетонних стовпчиків у ґрунт є динамічним, і його ефективність істотно залежить від типу ґрунту та його фізико-механічних властивостей. Основним опором є сумарна сила, що виникає внаслідок тертя та зминання ґрунту:

$$F_r = k \cdot A \cdot q, \quad (1)$$

де q – питомий опір ґрунту, який значно варіюється в залежності від типу:

- Супіски: $q = 150 - 250$ кПа;
- Суглинки: $q = 300 - 500$ кПа;
- Глини (щільні): $q = 600 - 900$ кПа;
- Піски сухі: $q = 200 - 400$ кПа;
- Піски вологі або насичені: $q = 100 - 250$ кПа.

Таким чином, глибина занурення після одного удару буде суттєво меншою у глинистих або вологих ґрунтах:

$$h = \frac{E_k}{F_r} = \frac{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2}{k \cdot A \cdot q}, \quad (2)$$

Ґрунт не тільки чинить опір зануренню, а й поглинає частину енергії удару у вигляді в'язкопластичної деформації. Цей ефект враховується введенням коефіцієнта демпфування ζ , який відображає частку кінетичної енергії, що гаситься:

$$E_{ef} = E_k \cdot (1 - \zeta) \quad (3)$$

де $\zeta - [0, 1 \dots 0, 4]$ - залежно від типу ґрунту (менше для пісків, більше для глин).

Відповідно, уточнена глибина занурення (рис 1):

$$h = \frac{E_k}{F_r} = \frac{E_k \cdot (1 - \zeta)}{F_r} \quad (4)$$

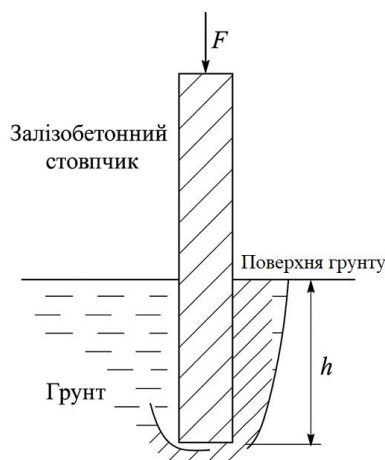


Рис.1. Схема занурення залізобетонної палі під дією ударного навантаження:
 Н – глибина занурення, F – ударне навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білецький В. С. Механіка ґрунтів у будівництві. — К.: Вища школа, 2010. — 384 С.
2. Климчук В. В., Плахотнік В. М. Машини та обладнання для садівництва та виноградарства. — К.: Аграрна освіта, 2016. — 290 С.
3. Бережний М. М., Чорний Г. С. Основи механіки ґрунтів і фундаментоутворення. — Харків: ХНУМГ, 2015. — 280 С.
4. TOMLINSON, M.J., WOODWARD, J. PILE DESIGN AND CONSTRUCTION PRACTICE. 6TH ED. — CRC PRESS, 2014. — 576 P.
5. Пат. UA 113256. Спосіб встановлення шпалерних стовпів у ґрунт із використанням ударного пристрою. — Опубл. 10.01.2017.

Шевченко Василь Васильович — аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: aspirant.shevchenko@gmail.com.

Науковий керівник: **Савуляк Валерій Іванович** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: korsav84@gmail.com.

ANALYSIS OF THE INTERACTION OF THE PERCUSSION TOOL WITH THE SOIL WHEN IMMERSING REINFORCED CONCRETE COLUMNS IN AGRICULTURAL PLANTINGS

Abstract

The work investigates the process of interaction of columns (reinforced concrete supports) with the soil during their immersion in the soil environment when arranging trellis systems in vineyards and orchards. The dynamic aspects of column penetration under the action of impact loading are considered, the physical and mechanical characteristics of soils are taken into account, as well as the influence of their design parameters. The results obtained are aimed at improving the technological process of installing trellis structures in agriculture.

Keywords: trellis system, reinforced concrete support, impact sinking, soil, damping.

Shevchenko Vasyly V. — graduate student of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: aspirant.shevchenko@gmail.com.

Supervisor: **Savulyak Valeriy I.** – Dr. Techn. Sc., Prof., Professor of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: korsav84@gmail.com.

АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ ШТАМПОВОГО ІНСТРУМЕНТА ПІСЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

Анотація

Досліджено причини руйнування штампового інструменту з бандажної матриці для екструзії роторної міді в процесі експлуатації

Ключові слова: бандажна матриця, екструзія, жаростійкі сплави

Метою даної роботи є дослідження причин руйнування інструменту (бандажної матриці) для роторної екструзії міді в процесі експлуатації (гарячого деформування). В даний час для штампового інструменту застосовуються жаростійкі сплави на основі нікелю, які для зміцнення бандажують обоймою із загартованої і відпущеної сталі з твердістю 45-50 HRC [1].

Хімічний склад сплаву матриці та сплаву обойми визначався за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕММА-2 з рентгенівським мікроаналізатором, структурні дослідження проводились за допомогою оптичного та растрового електронного мікроскопа. Фазовий аналіз вивчався на дифрактометрі ДРОН-3 у випромінюванні Co-K α . У таблиці 1 наведено хімічний склад матеріалу обойми.

Таблиця 1. Хімічний склад обойми.

Вміст елемента в сплаві, мас.%							
C	Cr	Mo	V	Ni	Si	Mn	Fe
0,51	2,31	3,44	0,56	0,11.	0,60	0,33	92,13

Методом виміру мікротвердості встановлено, що матеріал обойми має високу мікротвердість 51,5-54 HRC, тобто сталь не піддавалася відпуску при відповідній марці сталі температури (600⁰C). В результаті в структурі виникають значні внутрішні мікронапруги, пов'язані з виникненням мартенситу відпуску (рис.1,а).

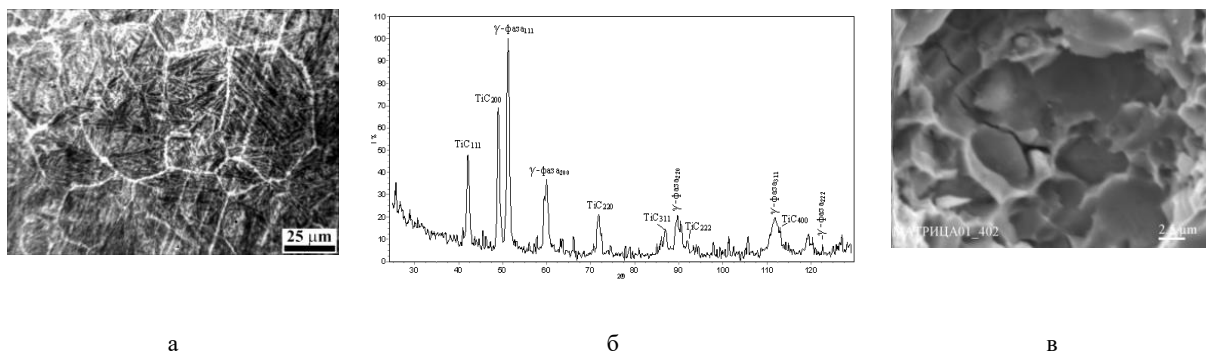


Рис.1. а) Мікроструктура матеріалу обойми після руйнування, б) Дифрактограма сплаву матриці, в) Мікроструктура матриці в області розлому з вторинними тріщинами та крихкими сколами

Локальні мікронапруження знижують поверхневу енергію за межами мартенситних зерен та призводять до виникнення мікротріщин у сталевій обоймі. Обойма перестає виконувати роль зміцнюючого бандажу для матриці.

У таблиці 2 наведено хімічний склад матеріалу матриці.

Таблиця 2. Хімічний склад матеріалу матриці.

Вміст елемента в сплаві, мас.%						
C	Cr	Mo	Al	Ti	Ni	Si
4,0	11,63	16,43	0,55	23,48	43,62	0,28

За даними рентгеноструктурного аналізу (рис.1,б) встановлено, що основним структурним елементом матриці є твердий розчин на основі нікелю з параметром решітки $a_{Ni} = 0,35857$ нм, який на дифрактограмі позначений як γ -фаза. Іншою фазою у сплаві матриці є карбід титану з параметром решітки $a_{TiC} = 0,35857$ нм, що відповідає стехіометрії карбіду титану $TiC_{0,6}$.

На рис.1,в представлена структура сплаву матриці в ділянці розлому. Крихке руйнування відбувалося як по межах карбідних зерен, так і по тілу карбідного зерна. Твердий нікелевий розчин у сплаві розташовується нерівномірно, що призводить до утворення великих колоній, що складаються з карбідних зерен, між якими відсутня нікелева матриця.

Нестехіометричний склад карбіду титану визначає зниження його характеристик міцності і сприяє розтріскуванню карбідних зерен. Поряд з крихким міжзеренним руйнуванням відбувається і пластичне руйнування, яке спостерігається в місцях розташування твердого нікелевого розчину.

Таким чином, у роботі було показано, що причиною руйнування штампового інструменту з бандажної матриці для екструзії роторної міді в процесі експлуатації є крихкий стан сплавів, з яких виготовлена бандажна матриця. Сталь обойми має високу твердість поряд із високою крихкістю за рахунок порушення режиму термообробки. Сплав матриці є захищеним за рахунок порушення технології отримання порошкових сплавів на основі твердого карбіду титану в пластичній матриці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Баглюк Г.А., Кирилюк С.Ф. Еволюція процесу ущільнення та деформованого стану поруватих заготовок при їх гарячому штампуванні у відкритому штампі // Mech. Adv. Technol. – 2023.- Vol. 7, No. 3, pp. 350–355

Баглюк Геннадій Анатолійович доктор технічних наук, старший науковий співробітник, член-кореспондент НАН України, директор Інституту проблем матеріалознавства ім.І.М.Францевича НАНУ, Київ, E-mail: g.bagliuk@ipms.kyiv.ua

Куровський Валентин Якович

Максімова Галина Олексіївна науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім.І.М.Францевича НАНУ, Київ, E-mail: maxi-mova@i.ua

Молчановська Галина Михайлівна науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім.І.М.Францевича НАНУ, Київ, E-mail: galina_mm@ukr.net

ANALYSIS OF OPERATIONAL DAMAGES OF STAMPING TOOLS AFTER OPERATION

Abstract

The causes of the destruction of the stamping tool from the band matrix for the extrusion of rotor copper during operation have been investigated.

Keywords: bandage matrix, extrusion, heat-resistant alloys

Bagliuk Gennadii Doctor of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher, Associated Member of National Academy of Science of Ukraine, Director of Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NASU, Kyiv, E-mail: g.bagliuk@ipms.kyiv.ua

Kurovsky Valentyn

Maksimova Galina Scientific Researcher of Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NASU, Kyiv, E-mail: maxi-mova@i.ua

Molchanovska Galina Scientific Researcher of Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NASU, Kyiv, E-mail: galina_mm@ukr.net

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ АДИТИВНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВІДНОВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

Дніпровський державний технічний університет

Анотація

У роботі представлено результати експериментального дослідження параметрів гібридного адитивного наплавлення із застосуванням подачі зварювального дроту та TIG-джерела тепла для відновлення деталей машин складної геометрії. Основна увага приділена впливу технологічних режимів на формування мікроструктури, мікротвердість та зносостійкість наплавленого шару. Встановлено оптимальні умови наплавлення, що забезпечують зменшення питомого зношування до 28% порівняно з не оптимізованими режимами. Роботизоване керування процесом дозволило досягти високої точності формування функціонального шару та стабільності якості. Отримані результати мають прикладне значення в контексті розвитку сучасних технологій відновлення та продовження ресурсу експлуатації транспортного машинобудування.

Ключові слова: гібридне адитивне наплавлення, TIG-зварювання, подача дроту, зносостійкість, машинобудування

У сучасному машинобудуванні та транспортному секторі спостерігається зростання попиту на ефективні технології відновлення деталей зі складною геометрією, особливо в умовах інтенсивної експлуатації та обмеженого ресурсу металоконструкцій. Одним із перспективних методів відновлення є гібридне адитивне наплавлення, яке поєднує подачу зварювального дроту з розплавленням його окремим джерелом тепла на основі TIG-процесу. Такий підхід дозволяє локалізувати тепловий вплив і отримати наплавлений шар із прогнозованими властивостями.

Технологічна реалізація наплавлення здійснювалася за допомогою промислового роботизованого комплексу, що забезпечує точність позиціонування пальника, контроль параметрів зварювання та повторюваність траєкторії. Об'єктом дослідження були сталеві деталі з низьколегованих конструкційних сталей типу 40X, які є типовими для транспортних вузлів, що зазнають циклічних механічних навантажень.

Основними змінними у дослідженні виступали: струм наплавлення, швидкість подачі дроту, швидкість руху пальника, а також інтервал часу між нанесенням наступних шарів. Методика дослідження базувалася на плануванні експерименту з використанням центрально-композиційного плану, що дозволило отримати математичні моделі залежності показників якості наплавленого шару від основних параметрів процесу.

Оцінювання якості здійснювалося за такими критеріями, як мікротвердість, мікроструктурна однорідність (оптична мікроскопія), глибина зони термічного впливу, а також зносостійкість за результатами випробувань на тертя методом «шпилька-диск» згідно з ASTM G99. Аналіз результатів показав, що найбільш суттєвий вплив на формування однорідної структури і підвищення мікротвердості мали параметри теплового навантаження: зварювальний струм і швидкість переміщення пальника.

Оптимальний режим, зафіксований під час експериментів, включав струм у діапазоні 110...120 А, подачу дроту зі швидкістю 2,8...3,2 мм/с та швидкість переміщення пальника 5...7 мм/с. За таких умов формувався рівномірний шар з дрібнозернистою мартенситно-феритною структурою, яка забезпечувала підвищену твердість і зносостійкість.

Результати структурного аналізу показали, що правильний вибір часу між шарами (12...18 с) дозволяє стабілізувати тепловий режим і зменшити градієнти температури, що, в свою чергу, знижує ризик утворення мікротріщин та внутрішніх напружень. Мікроструктурні дослідження підтвердили відсутність пористості та макродефектів за умов дотримання зазначених параметрів.

У випробуваннях на знос шарів, отриманих в оптимізованих умовах, спостерігалось зменшення коефіцієнта тертя та зниження питомого зношування в середньому на 28% у порівнянні з наплавленням без оптимізації. Це свідчить про підвищення опору до абразивної дії та локального пластичного деформування.

Застосування роботизованого керування забезпечило точне відтворення наплавлення на складних поверхнях та можливість формування функціональних профілів із постійною товщиною шару. Це має особливе значення для деталей, які піддаються високим динамічним навантаженням, наприклад у вузлах трансмісії або гідравлічних систем.

Узагальнені результати свідчать, що впровадження технології гібридного наплавлення у відновлювальні процеси дозволяє суттєво підвищити надійність машинобудівних компонентів без необхідності їх повної заміни. Особливо перспективним цей підхід є для підприємств транспортного машинобудування, де питання довговічності деталей безпосередньо пов'язані з безпекою експлуатації.

Окремої уваги заслуговує потенціал розширення функціоналу обладнання за рахунок інтеграції систем термографії, сенсорного контролю шару в реальному часі та автоматичної адаптації параметрів наплавлення. Таке рішення дозволяє перейти від жорстко заданих режимів до умовно-інтелектуального керування процесом.

З технічної точки зору, оптимізація процесу наплавлення забезпечує не лише підвищення ресурсу, але й скорочення витрат на ремонтні роботи, зниження металовитрат та зменшення енергетичних втрат. Зменшення обсягів браку та стабілізація результату роблять метод придатним для серійного застосування.

Отримані результати мають прикладне значення для створення гнучких виробничих систем. Застосування таких підходів дозволяє реалізувати концепції відновлення деталей на місці експлуатації, що особливо важливо для обслуговування важкодоступних транспортних об'єктів.

Таким чином, дослідження доводить доцільність та ефективність застосування гібридного наплавлення для відновлення деталей складної форми з підвищеними вимогами до зносостійкості. У подальших дослідженнях доцільним є розширення підходу на інші типи матеріалів та аналіз впливу складних циклічних навантажень на довговічність отриманих шарів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Molochkov D., Kulykovskyi R., Brykov M., Hesse O. (2023). The influence of surface irregularities on the mechanical properties of thin-walled wire and arc additively manufactured parts. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, Vol. 10(2), pp. A10–A17, doi: 10.21272/jes.2023.10(2).a2
2. Laghi, V., Palermo, M., Gasparini, G., Girelli, V. A., Trombetti, T. (2021). On the influence of the geometrical irregularities in the mechanical response of wire-and-arc additively manufactured planar elements. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 178, 106490. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106490>
3. Nemani, A. V., Ghaffari, M., Nasiri, A. (2020). Comparison of microstructural characteristics and mechanical properties of shipbuilding steel plates fabricated by conventional rolling versus wire arc additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, Vol. 32, 101086. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101086>.
4. Д Молочков; П Куликовський; Н Фурманова. Визначення оптимальних параметрів процесу WAAM на основі технології cmt з використанням низьковуглецевої нелегованої сталі. *Інноваційні матеріали та технології в металургії та машинобудуванні*, 1(2021) с. 62-68.

Шевцов Віктор Борисович, аспірант, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське.

Макаренко Микола Вікторович, аспірант, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське.

Носов Денис Геннадійович, к.т.н., доцент, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, nosov_dstu@ukr.net

OPTIMIZATION OF ADDITIVE CLADDING PARAMETERS TO ENHANCE WEAR RESISTANCE OF RECONDITIONED COMPONENTS WITH COMPLEX GEOMETRY

Abstract

The paper presents the results of an experimental study on the parameters of hybrid additive surfacing using welding wire feed and TIG heat source for the restoration of machine parts with complex geometry. The main focus is on the impact of technological parameters on the formation of microstructure, microhardness, and wear resistance of the deposited layer. Optimal surfacing conditions have been determined, resulting in a reduction of specific wear by up to 28% compared to non-optimized regimes. Robotic process control enabled high precision in the formation of the functional layer and stability in quality. The obtained results have practical significance in the context of the development of modern restoration technologies and extending the service life of transport machinery.

Keywords: Hybrid additive surfacing, TIG welding, wire feed, wear resistance, mechanical engineering

Makarenko Mykola, postgraduate student, Dniprovsky State Technical University, Kamianske,
Shevtsov Viktor, postgraduate student, Dniprovsky State Technical University, Kamianske,
Nosov Denis, Ph.D., Associate Professor, Dniprovsky State Technical University, Kamianske,
nosov_dstu@ukr.net

ЗАСТОСУВАННЯ ДАВАЧІВ БРЕГГА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОВОЛОКОН

¹ Люблінський технологічний університет, Польща

² Інститут інформаційних та обчислювальних технологій КН МОН РК, Алмати, Казахстан

³ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено методику вимірювання розподілу деформації при механічному навантаженні на композитний матеріал з вуглецевих волокон за допомогою давачів на основі решіток Брегга з постійним періодом. Між шарами вуглецевих волокон розташовуються оптоволокна з Бреггівськими решітками з різними параметрами для визначення розподілень напружень в різних ділянках пластини.

Ключові слова: Волоконні Бреггівські решітки, волоконно-оптичні давачі, композитний матеріал, деформація.

Розвиток сучасних технологій спрямовано на підвищення параметрів безпеки та надійності конструкції з урахуванням потреб енергозбереження та захисту навколишнього середовища. Поширеною є тенденція до заміни в конструкціях машин та механізмів металів сучасними композитними матеріалами. Безперечною перевагою композитних матеріалів є високі параметри міцності за відносно невеликої ваги. Тому до композитних матеріалів у розробників та дослідників є стало високий інтерес.

Найбільше застосування у промисловості сьогодні знаходять полімерні композити (близько 90%). Типові полімерні армуючі матеріали містять скляні та вуглецеві волокна [1].

Руйнування композитної структури визначають різними методами, використовуючи ультразвуковий чи рентгенівський методи. Такі виміри зазвичай займають кілька годин. Вони можуть бути пов'язані з тимчасовим виведенням конструкції з експлуатації та фінансовими втратами. Іншим методом, що дозволяє досліджувати ступінь руйнування композитної структури [2,3,4] та вплив таких параметрів, як деформація [4,5] та температура [6], є оптичні давачі. Перевагою їх використання є швидке та безпечне вимірювання фізичних величин [7].

Існує кілька типів оптоволоконних давачів, які можуть бути вбудовані у композитну конструкцію. До них відносяться давачі мікрозгинів, поляриметричні [8], інтерферометричні давачі та давачі з решітками Брегга.

В цій роботі подано результати вимірювання розподілу деформації під час механічного навантаження композитного матеріалу з вуглецевих волокон за допомогою давачів на основі решіток Брегга з постійним періодом.

Давачі з решітками Брегга мають низку переваг [9,10,11,12]: частотний характер вихідного сигналу; можливість виміру деформації; невеликий розмір та вага; точковий вимір фізичних величин - чутлива частина може мати довжину від декількох десятків міліметрів; стійкість до електромагнітних перешкод; відсутня можливість самозаймання – тому їх можна використовувати поблизу джерел у вибухонебезпечних середовищах; відстань дуже мало впливає на сигнал, відбитий від волоконної Бреггівської решітки.

До недоліків давачів з волоконно-оптичною решіткою Брегга можна віднести: чутливість до перепадів температур; появу двоїстості в оптичному волокні внаслідок впливу зовнішніх сил; відносну коштовність вимірювальних систем.

Для проведення досліджень виготовлено вуглецеву пластину з оптичними волокнами, що складається з 8 шарів вуглецевої тканини. Як показано на рис. 1, послідовні волокна були вбудовані між шарами 1 та 2 (Волокно 1), між шарами 4 та 5 (Волокно 2) та між шарами 7 та 8 (Волокно 3). Таке розташування давачів волоконних бреггівських решіток (ВБР) дозволило перевірити величину розтягування матеріалу композиту в різних місцях.

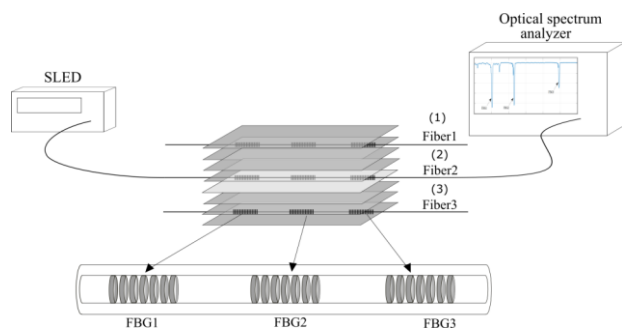


Рис. 1- Схема внутрішньої конструкції композитної пластини з вбудованими Бреггівськими решітками у трьох оптичних волокнах.

- (1) – оптоволокно 1,
- (2) – оптоволокно 2,
- (3) – оптоволокно 3

Розміщення Бреггівських решіток на різних глибинах дозволяє перевірити теоретично передбачуване відносне розтягання. Перевірка експериментальних результатів з теоретично передбачуваними напруженнями, викликаними вигином контрольної пластини, дозволила зробити висновок, що волоконні давачі були вбудовані в структуру таким чином, щоб забезпечити постійну фіксацію та відсутність можливого ослаблення або ковзання волокна всередині композитної структури. Прогин пластини виконувався з допомогою мікрометричного стрижня, керованого з комп'ютера. Пластина довжиною 300 мм спиралася своїми краями на стійкі опори, що закріплені на оптичному столі. Передня частина згинального стрижня розташовувалась у центрі випробувальної плити.

Теоретичні дослідження щодо напруження в матеріалі, який схильний до вигину, показують, що в центральній осі пластини не виникають напруження. Стиснення матеріалу має спостерігатися у верхньому шарі плити, а розтягання – у нижньому.

Вимірювання спектрів решіток, розміщених на послідовних волокнах, вимагало підключення послідовних волокон до джерела світла та аналізатора.

Аналіз спектрів показує, що зі збільшенням навантаження (вигину) випробувальної пластини, решітки, що вбудовані в поверхневий шар, стискаються. Спектральні характеристики свідчать про те, що оптичне волокно, яке розміщене в центральній частині випробувальної пластини, практично не зазнавало розтягання або стиснення. Аналіз спектрів пропускання волокна, розміщеного у нижньому шарі показує, що зі збільшенням ступеню вигину пластини, збільшуються довжини хвиль Брегга кожної з решіток, записаних на цьому волокні. Це вказує на те, що пластина в нижньому шарі розширювалася, і тому в ній виникали напруження розтягу.

Характерні зміщення довжин хвиль спостерігаються як для волокна 1, так і для волокна 3, де найбільш сильно зміщені спектри бреггівських решіток, розташованих у центрі довжини пластини. Це вказує на те, що досліджувана пластина в центральній секції схильна до найбільших розтягувальних напружень, у поза тим як напруження в бічних секціях є нижчими.

Висновки дослідження:

1. Продемонстровано застосування оптичних перетворювачів на основі волоконних решіток Брегга як давачів, вбудованих у композитні матеріали для вимірювання та моніторингу розподілу напружень.
2. Досліджено розподіл напружень у багатошарових вуглецевих пластинах у триточковій опорній системі.
3. Пояснені умови виникнення спектральних характеристик структур Брегга під час деформації композитних матеріалів у вигляді пластини, що згинається в системі з триточковою опорою.
4. Продемонстровано, що, незважаючи на зміну форми спектру бреггівських структур, вбудованих у композитний матеріал під час розтягання, можна визначити спектральний зсув, викликаний розтяганням або стисканням композитної пластини.
5. Запропоновано метод знаходження спектрального зсуву однорідних бреггівських структур, вбудованих у композитний матеріал.
6. Проведено аналіз напружень оптичних волокон, розташованих у поздовжній та поперечній осях композитного матеріалу, схильного до згинального зусилля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kolosov A.E.; Sivetskii V.I., Kolosova E.P., Vanin V.V., Gondlyakh A.V., Sidorov D.E., Ivitskiy I.I.; Creation of structural polymer composite materials for functional application using physicochemical modification; *Advances in Polymer Technology*, Vol. 2019, Article ID 3501456, 12 pages, 2019
2. Cai J., Qiu L., Yuan Sh., Shi L., Liu P., Liang D.; Structural health monitoring for composite materials; *Composites and Their Applications*, 10.5772/48215, 2012
3. Zhu Y.K., Gui Y.T., Rong S.L., Hong Z.; A review of optical NDT technologies; *Sensors*, 7773–7798, 2011
4. Zhan Y., Li L., Yang F., Gu K., Wu H., Yu M.; An all-fibre multi-parameter sensor for composite structures based on a chirped fibre Bragg grating; *Opto-Electronics Review*, 21(3), 283–287, 2013
5. Luyckx G., Voet E., Lammens N., Degrieck J.; Strain Measurements of Composite Laminates with Embedded Fibre Bragg Gratings: Criticism and Opportunities for Research; *Sensors*, Vol.11, 384–408, 2011

6. Rao Y., Yuan S., Zeng X., Lian D., Zhu Y., Wang Y., Huang S., Liu T., Fernando G., Zhang L., Bennion I.; Simultaneous strain and temperature measurement of advanced 3-D braided composite materials using an improved EFPI/FBG system; *Optics and Lasers in Engineering*, Vol.38, Issue 6, Pages 557–566, 2002
7. Kahandawa G.C., Epaarachchi J., Wang H., Lau K.T.; Use of FBG sensors for SHM in aerospace structures; *Photonic Sensors*, Vol. 2, No. 3, 203–214, 2012.
8. Guo T., Liu F., Guan B., Albert J.; Polarimetric multi-mode tilted fiber grating sensors; *Optics express*, Vol. 22, 7330-7336, 2014.
9. Garcia I., Zubia J., Durana G., Aldabaldetrekua G., Illarramendi M.A., Villatoro J.; Optical fiber sensors for aircraft structural health monitoring; *Sensors*, 15, s. 15494-15519, 2015
10. Lee B.H., Kim Y.H., Park K.S., Eom J.B., Kim M.J., Rho B.S., Choi H.Y.; Interferometric fiber optic sensors; *Sensors*, Vol. 12, 2467–2486, 2012
11. Gao P., Chen X., Feng W.; Simultaneous measurement of external refractive index and temperature based on long-period-grating-inscribed Sagnac interferometer and fiber Bragg grating; *Review of Scientific Instruments*, Vol. 83, no. 10, 2012
12. Wang M., Wang D.N., Yang M., Cheng J., Li J.; In-line Mach-Zehnder Interferometer and FBG with Pd film for simultaneous hydrogen and temperature detection; *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 202, 893-896, 2014

Вуйцик Вальдемар, доктор технічних наук, професор, професор факультету електротехніки та комп'ютерних наук Люблінського технологічного університету, Люблін, waldemar.wojcik@pollub.pl

Ерالیєва Бахит – PhD, Інститут інформаційних та обчислювальних технологій КН МОН РК, Алмати, Казахстан

Поліщук Леонід Клавдійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри галузевого машинобудування Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com

Шенфельд Валерій Йосипович – канд. технічних наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leravntu@gmail.com

APPLICATION OF BRAGG SENSORS TO MEASUREMENT OF DEFORMATION OF CARBON NANOFIBERS

Abstract

A method for measuring the strain distribution under mechanical loading on a carbon fiber composite material using sensors based on Bragg gratings with a constant period has been developed. Optical fibers with Bragg gratings with different parameters are placed between the layers of carbon fibers to determine the stress distributions in different areas of the plate

Key words: Волоконні Бреггівські решітки, волоконно-оптичні датчики, композитний матеріал, деформація.

Wojcik Waldemar, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Lublin University of Technology, Lublin, waldemar.wojcik@pollub.pl

Eralieva Bakhyt, PhD, Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Taraz Regional University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, Kazakhstan

Polishchuk Leonid Klavdiyovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial Mechanical Engineering of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com

Shenfeld Valeriy - Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leravntu@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗВАРНИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ: ВИКЛИКИ, МОЖЛИВОСТІ ТА ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ

Дніпровський державний технічний університет

Анотація

У дослідженні розглянуто актуальну проблему відновлення та продовження ресурсу експлуатації зварних будівельних конструкцій, що зазнали фізичного та морального зношення, особливо в умовах обмеженого фінансування на нове будівництво. Основна увага приділена розробці комплексного підходу до оцінювання технічного стану та залишкової міцності зварних вузлів після дії несприятливих зовнішніх чинників. Застосовано поєднання експериментальних випробувань, чисельного моделювання, аналізу нормативної бази та методів неруйнівного контролю. Встановлено ефективність локального підсилення зварних з'єднань за допомогою композитів на основі вуглеволокна (CFRP), що дозволяє підвищити залишкову несучу здатність до 50 %. Запропоновано методіку комплексної оцінки ресурсу конструкцій із урахуванням кумулятивної втоми, локальної пластичної деформації та старіння металу. Наукова новизна полягає у синтезі традиційних інженерних підходів із сучасними матеріалами для оперативного відновлення конструкцій у реальних умовах. Практична значущість результатів полягає в їх придатності для широкого впровадження в діяльність організацій, що займаються технічним обслуговуванням та реконструкцією об'єктів інфраструктури.

Ключові слова: зварні конструкції, залишковий ресурс, підсилення, пошкодження, композити CFRP

У зв'язку зі значним фізичним та моральним зношенням інфраструктурних об'єктів, зокрема зварних будівельних конструкцій, виникає нагальна потреба у відновленні та продовженні ресурсу їх експлуатації. В умовах обмежених ресурсів на нове будівництво особливо актуальним є застосування сучасних підходів до оцінювання технічного стану, підвищення міцності та забезпечення надійності зварних з'єднань після дії несприятливих зовнішніх чинників. Ця тематика є своєчасною, оскільки ефективне використання залишкового ресурсу конструкцій може суттєво зменшити витрати на реконструкцію та підвищити стійкість об'єктів до повторних навантажень.

У сучасних умовах основною проблемою є обмежена ефективність існуючих методів діагностики та оцінювання залишкового ресурсу зварних конструкцій, які зазнали дії надзвичайних зовнішніх навантажень, зокрема теплових, вібраційних, механічних тощо. Крім того, більшість традиційних технологій ремонту передбачають проведення складних робіт у стаціонарних умовах, що не завжди є прийнятним для оперативного відновлення конструкцій у реальних експлуатаційних умовах.

Метою цього дослідження є розробка комплексного підходу до оцінювання залишкової міцності та ресурсу експлуатації зварних будівельних конструкцій, які зазнали пошкоджень, із застосуванням сучасних методів діагностики та матеріалів для локального підсилення.

Для досягнення поставленої мети було застосовано поєднання кількох методів дослідження. Зокрема, проводилися лабораторні випробування зразків зварних з'єднань із моделями типових експлуатаційних пошкоджень. Було здійснено чисельне моделювання напружено-деформованого стану зварних вузлів із використанням програмного забезпечення MSC Nastran та Abaqus, що дозволило оцінити граничні стани конструкцій. Також було проаналізовано нормативно-технічну документацію [1,2] та світовий досвід [3,4], а також використано методи неруйнівного контролю (ультразвукова дефектоскопія, візуальний та магнітопорошковий контроль).

У результаті сформульовано критерії визначення допустимого рівня пошкоджень у зварних вузлах із урахуванням типу навантаження та властивостей матеріалу. Встановлено, що

застосування армувальних композитів на основі вуглеволокна (CFRP) для локального підсилення дозволяє підвищити залишкову несучу здатність зварного вузла в середньому на 35...50%, залежно від конфігурації та характеру пошкодження. Запропоновано технологію використання мобільних систем оцінки пошкоджень на базі візуальної діагностики та тестів на жорсткість і залишкову деформацію. Також розроблено методику оцінювання ресурсу з урахуванням кумулятивної втоми, локальної пластичної деформації та ступеня металевого старіння.

Наукова новизна роботи полягає у поєднанні традиційних інженерних підходів із сучасними матеріалами, зокрема композитами CFRP, для локального підсилення зварних з'єднань після експлуатаційних пошкоджень. Запропоновано нову методику комплексного оцінювання ресурсу, яка враховує вплив як квазістатичних, так і динамічних навантажень, що дозволяє більш точно прогнозувати залишкову міцність конструкцій.

Практична значущість дослідження полягає в можливості впровадження запропонованих рішень у діяльність будівельно-монтажних організацій та підприємств, відповідальних за технічне обслуговування й відновлення об'єктів інфраструктури. Розроблені підходи не потребують високоспеціалізованого обладнання, можуть реалізовуватися в умовах обмежених ресурсів та дозволяють скоротити час на проведення відновлювальних робіт.

Таким чином, дослідження підтверджує, що підвищення ресурсу зварних будівельних конструкцій є досяжним шляхом впровадження сучасних методів діагностики, чисельного моделювання та використання композитних матеріалів для локального підсилення. Отримані результати можуть бути адаптовані до різних типів конструкцій та мають потенціал для широкого практичного застосування в програмах модернізації та реконструкції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ-Н Б В.2.6-212:2016. Настанова з оцінювання технічного стану зварних будівельних конструкцій будівель і споруд.
2. ISO 15614-1:2017. Specification and qualification of welding procedures for metallic materials – Welding procedure test – Part 1: Arc and gas welding of steels.
3. Fatemi, A., & Yang, L. (1998). Cumulative fatigue damage and life prediction theories: a survey of the state of the art for homogeneous materials. *International Journal of Fatigue*, 20(1), 9–34. [https://doi.org/10.1016/S0142-1123\(97\)00081-9](https://doi.org/10.1016/S0142-1123(97)00081-9).
4. Wang B, Zhong S, Lee TL, Fancey KS, Mi J. Non-destructive Testing and Evaluation of Composite Materials/Structures: A Current Review. *Achievements in Mechanical Engineering*. 2014;12(4). doi: 10.1177/1687814020913761.

Макаренко Микола Вікторович, аспірант, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське,

Шевцов Віктор Борисович, аспірант, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське,

Носов Денис Геннадійович, к.т.н., доцент, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, nosov_dstu@ukr.net

INCREASING THE EXPLOITATION RESOURCE OF WELDED BUILDING STRUCTURES: CHALLENGES, OPPORTUNITIES AND ENGINEERING SOLUTIONS

Abstract

The study addresses the pressing issue of restoring and extending the service life of welded building structures that have undergone physical and functional deterioration, particularly in the context of limited funding for new construction. The main focus is on developing a comprehensive approach to assessing the technical condition and residual strength of welded joints after exposure to adverse external factors. A combination of experimental testing, numerical modeling, analysis of regulatory frameworks, and non-destructive testing methods was employed. The effectiveness of local reinforcement of welded connections using carbon fiber reinforced polymer (CFRP) composites was established, demonstrating an increase in residual load-bearing capacity of up to 50%. A methodology for the comprehensive assessment of structural resource is proposed, considering cumulative fatigue,

local plastic deformation, and metal aging. The scientific novelty lies in the synthesis of traditional engineering approaches with modern materials for the rapid rehabilitation of structures in real-world conditions. The practical significance of the results lies in their suitability for widespread implementation in the activities of organizations involved in the maintenance and reconstruction of infrastructure facilities.

Keywords: welded structures, residual life, reinforcement, damage, CFRP composites.

Makarenko Mykola, postgraduate student, Dniprovsky State Technical University, Kamianske,
Shevtsov Viktor, postgraduate student, Dniprovsky State Technical University, Kamianske,
Nosov Denis, Ph.D., Associate Professor, Dniprovsky State Technical University, Kamianske,
nosov_dstu@ukr.net

РЕЗЕРВИ ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМУНІКАЦІЙ

Дніпровський державний технічний університет

Анотація

У роботі аналізуються потенційні шляхи пролонгації використання елементів технологічних комунікацій до моменту їх ремонту та/або заміни. Основними методами подовження строку експлуатації названо футерування (композитними матеріалами, пластмасами, гумою, біметалами, легованою сталлю), нанесення відновлювального шару на поверхні (напилення, наплавлення), зміна конструкції задля забезпечення найдоцільнішого розподілу ваги. Конструкційний чинник пропонується реалізовувати розташуванням на робочій поверхні комунікації розсікачів, що змінюватиме характер транспортувального потоку. Додатковим важелем визначено зональну диференціацію матеріалів, що наносяться на зношені поверхні шляхом наплавлення або напилення.

Ключові слова: технологічна комунікація, регулювання зносу, відновлення, конструктивний фактор

Під технологічними комунікаціями розуміють широкий перелік об'єктів, яких об'єднує функціональне призначення – транспорт сировини, напівфабрикатів та готової продукції в межах виробничих ліній. Беручи до уваги різноманіття умов, у яких функціонують комунікації, конструктивне виконання та матеріал, з якого вони виготовляються, суттєво відрізняються. Проте основною причиною виходу з ладу даних об'єктів незмінно залишається знос, який відбувається за різними схемами та з участю різних агентів.

Характер та інтенсивність зносу визначаються матеріалами контактуючих сторін та термодинамічними параметрами транспортування. Врахування зазначених факторів слід мати на увазі при розробці заходів по подовженню терміну експлуатації технологічних комунікацій.

Авторами детально проаналізовані резерви конструктивного чинника як основного, що здатен суттєво змінити характер або обмежити ступень зносу. Зокрема, пропонується передбачати на робочій поверхні комунікації (на жолобі, наприклад) розташовувати розсікачі потоків. Такі елементи здатні змінювати навантаження за периметром контактування. Форма розсікача – з поздовжньою або поперечною орієнтацією напрямного ребра) є основною ознакою елемента, яка впливає на характер транспортувального потоку.

В якості наступного чинника, який здатен впливати на характер зносу поверхні контактування, може виступати зональна диференціація матеріалу окремих зон комунікації. Реалізація можлива як під час виготовлення, так і при ремонті зношених елементів. Заготівки при цьому пропонується виконувати за схемою аналогічно технології одержання складаних тонколистових заготівок Tailored Blanks

Додатковим конструктивним рішенням може виступати застосування поверхневого зміцнення контактних зон. Локально це може виконуватися за допомогою дії концентрованих джерел теплоти зварювального типу (лазерним гартуванням, дугове наплавлення або напилення тощо). Особливо ефективним є поєднання конструктивних рішень, які дозволяють здійснювати зміцнення без впливу на всю деталь, що знижує витрати та підвищує технологічну гнучкість. У ряді випадків передбачена конструкцією можливість заміни або повторної обробки лише зношеної частини вузла дає змогу знизити витрати на ремонт і відновлення.

Резервом у вирішенні питання підвищення ресурсу комунікацій може виступати також футерування їх робочих поверхонь (композитними матеріалами, пластмасами, гумою, біметалами, легованою сталлю), нанесення відновлювального шару на поверхні (напилення, наплавлення), зміна конструкції задля забезпечення найдоцільнішого розподілу ваги.

У цьому сенсі перспективним виглядає використання сімейства композитних матеріалів на основі поліетилену (СВМПЕ, РЕ 1000), що дозволяє вирішувати проблеми тертя, зношування та плинності матеріалів у багатьох галузях промисловості. Відмінними рисами зазначених матеріалів є поверхня з виключно низьким коефіцієнтом тертя, значна зносостійкість, висока ударна міцність, відмінна хімічна стійкість. Поліуретанові листи застосовують для захисту поверхонь від стирання, ударних навантажень, як покриття, що амортизує, для захисту від налипання і замерзання матеріалів. Футерування листовими термопластами проводиться як всієї комунікації, так і частин, що зношуються найбільше. При футеруванні пластмасовими композитами (поліетилен, поліпропілен тощо) виконують кріплення за допомогою комбінованого болтового та клейового з'єднання.

Матеріал футеровки і його товщина вибираються, виходячи з технічних характеристик матеріалу, що транспортується. Термін служби футерувальних систем залежить від абразивності матеріалів, що входять у контакт.

Також для футерування використовують мартенситні зносостійкі металеві сплави по типу HARDOX або ж QUARD, що мають низку недоліків (велика вага, потрібна також належна кваліфікація при зварюванні). Цих недоліків позбавлена біметалічні матеріали за технологією SWIP. У цьому випадку використовують композитний матеріал, в основі якого лежить низьковуглецева сталь з наплавленим шаром чавуну. Вони мають стійкість в 5 разів більше, ніж HARDOX, завдяки чому можливо зменшити товщину та вагу.

Таким чином, комплексне врахування наведених конструктивних принципів дозволяє не лише зменшити інтенсивність зношування, а й керовано впливати на його характер. Це забезпечує підвищення надійності, ресурсу та ефективності роботи технологічних комунікацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дмитриченко М. Ф., Мнацаканов Р. Г., Мікосянчик О. О. Триботехніка та основи надійності машин: навч. посіб. – К. : Інформавтодор, 2006. – 216 с.
2. Hutchings I. M., Shipway P. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. – 2nd ed. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2017. – 396-412 p.
3. Євдокимов А.В., Перемітько В.В. (2021). Використання біметалевих листів SWIP для захисту від зносу у вентиляторній техніці. *Автоматичне зварювання*, 9, 62-63.

Очеретько Олександр Сергійович – аспірант кафедри машинобудівних технологій та інженерії, Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, email: alexdk170782@gmail.com

Кривда Іван Васильович – аспірант кафедри машинобудівних технологій та інженерії, Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, email: vanjek.molotov@gmail.com

Перемітько Валерій Вікторович – доктор технічних наук, професор, декан металургійного факультету, Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, email: vperemitko1965@gmail.com

Reserves for extension of the service life of technological communications

Abstract

The paper analyzes potential ways to prolong the use of elements of technological communications until their repair and/or replacement. The main methods for extending the service life are lining (composite materials, plastics, rubber, bimetals, alloyed steel), applying a restoring layer to the surface (spraying, surfacing), and changing the design to ensure the most appropriate weight distribution. The design factor is proposed to be implemented by placing dividers on the working surface of the communication, which will change the nature of the transport flow. An additional lever is defined as the zonal differentiation of materials applied to worn surfaces by surfacing or spraying.

Keywords: technological communication, wear control, restoration, design factor

Ocheretko Olexandr – postgraduate student of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Engineering, Dniprovsky State Technical University, Kamyanske, email: alexdk170782@gmail.com

Kryvda Ivan – postgraduate student of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Engineering, Dniprovsky State Technical University, Kamyanske, email: vanjek.molotov@gmail.com

Peremitko Valeriy – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Metallurgy, Dniprovsky State Technical University, Kamyanske, email: vperemitko1965@gmail.com

IMPROVED METHODOLOGY FOR MEASURING THE EMISSIVITY OF METAL POWDERS

The University of Texas at Austin, Austin, TX 78712, USA

Abstract.

A specially designed chamber is proposed to accurately measure the emissivity coefficient of metal powders over a wide temperature range using an infrared (IR) camera. This measurement setup significantly reduces the oxidation of metal powders during heating to high temperatures. As a result, it enables precise determination of the actual emissivity values, which is crucial for accurate IR camera calibration when studying sintering or melting processes in additive manufacturing.

Keywords: measurement, infrared thermography, additive manufacturing, emissivity

. Accurate temperature measurement of metallic materials is a key factor in ensuring the quality and consistency of parts produced via metal additive manufacturing (AM). Temperature serves as a critical process parameter for real-time monitoring and intelligent control, particularly in AM systems enhanced by machine learning techniques [1–3]. Reliable thermal data enables improved process stability, defect reduction, and better predictability of material behavior during melting and solidification.

However, accurate temperature measurement in metal additive manufacturing requires precise knowledge of the metal powder's actual emissivity. In our previous studies, we proposed a methodology for determining the emissivity of metal powders, which was validated through experiments involving the heating of 316L stainless steel powder [4]. As shown by the study [3, 4] of the emissivity of 316L stainless steel powder during heating to temperatures above 400 °C, the emissivity value begins to increase. This increase was associated with the onset of the oxidation process at temperatures of 400 °C and higher. To reduce the influence of oxidation at high temperatures, we proposed the design of a specialized chamber that allows for the simultaneous heating and temperature measurement of 316L stainless steel powder in a completely enclosed argon atmosphere.

The chamber is a 31.75 cm x 31.75 cm x 33.02 cm box with walls made of aluminum 6061, as this material is easy to machine to our precise specifications (Fig. 1-3), and uses a 110 V high-frequency induction heater (model USS-HFIH00001-110V) to heat the metal powder. Each wall of the chamber has features specific to our new setup. The top wall has a square cutout covered by a removable lid. The lid has a circular hole cut out from the center with holes surrounding it for the window to be attached. The window must be able to handle high temperatures without melting or decomposing and allow for the IR spectrum to be viewed through it. The lid also has attachment points for the camera mount that consists of an aluminum ring that sits around the window and a vertical rod to attach the IR camera to. The IR camera (FLIR A700) sits right above the window and is 18.4 cm away from the metal powder sample. The top wall is connected to the chamber via toggle latches on each wall. The back wall has holes where the induction heater coil feeds in and out of the chamber allowing the coil to slide in the center of the chamber. The right wall has a space for thermocouples to be attached for direct temperature measurements of the metal powder. The left wall has two ports, one inlet and one outlet, for argon gas to enter and flush the oxygen out of the chamber. The front wall has a square cutout covered by a removable lid to be able to switch the IR camera placement from the top to the front side. We ensured an airtight seal across the entire chamber by putting rubber gasket material between each piece of aluminum, putting a rubber gasket between the aluminum and the window, and filling the space between the wall and induction coil with epoxy. We also put alumina insulation on the inside of the chamber to reduce the heat transfer from the sample directly to the chamber walls and protect the IR camera from overheating. The insulation will also help reduce heat loss from the metal powder sample allowing the sample to get hotter.

The 316L stainless steel powder is held in a cylindrical sample holder of the same material with a shallow cutout for the metal powder to sit in. The cylinder is tall enough for the metal powder to be held in the induction coil. We paint the rim of the sample holder with blackbody paint to serve as a reference emissivity for the IR camera measurements. The sample holder also has a small hole drilled into the side just below the surface of the sample cutout that reaches to the radial center of the cylinder for a thermocouple to be inserted to measure the temperature of the metal powder sample. Since the metal powder and the sample holder are made of the same material, this set-up becomes difficult to reset for repeat experiments at sintering and melting temperatures. At higher temperatures (when sintering starts to occur), the sample holder will be exchanged for a ceramic sample

holder that will not melt with the metal powder at higher temperatures. The thermocouple setup with the stainless steel sample holder cannot be used with the ceramic sample holder as ceramic is difficult to machine.

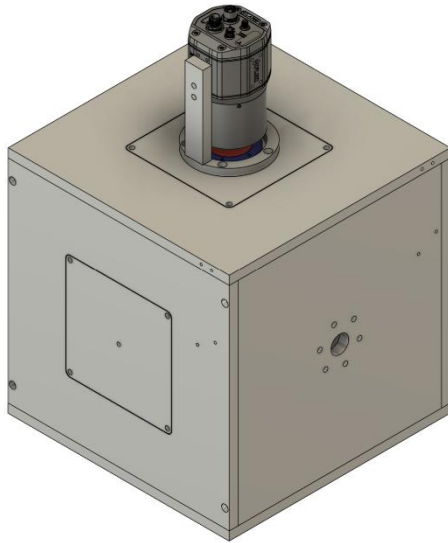


Fig. 1: Outside view of the chamber's front (left), right (right), and top (top) walls, including IR camera.

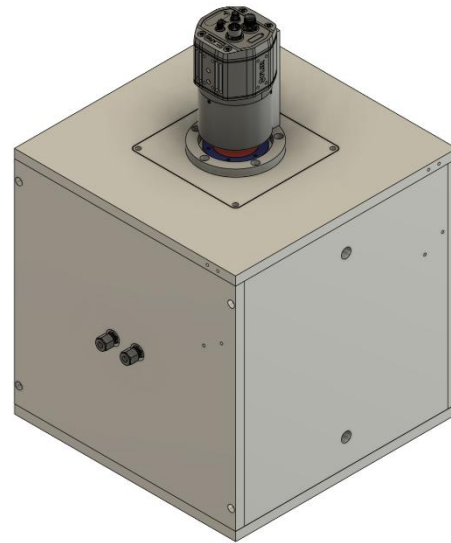


Fig. 2: Outside view of the chamber's back (left), left (right), and top (top) walls, including IR camera.

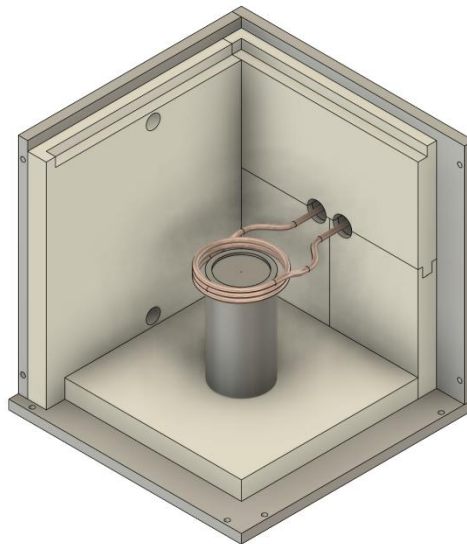


Fig. 3: Inside view of the chamber's back (right), left (left), and bottom (bottom) insulation, including induction coil and sample holder.

The initial experimental studies of the emissivity of 316L steel powder when heated from 400 °C to 800 °C demonstrated that the emissivity value was 0.3 with a deviation of ± 0.03 . The expanded uncertainty of the measurement results was obtained based on the methods of quantitative uncertainty assessment, which are described in detail in [4-14].

REFERENCES

1. R. Wang, B. Standfield, C. Dou, A. Law, Z. Kong, Real-time process monitoring and closed-loop control on laser power via a customized laser powder bed fusion platform, *Additive Manufacturing*, Volume 66, 2023, 103449, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2023.103449>.
2. Y. Cai, J. Xiong, H. Chen, G. Zhang, A review of in-situ monitoring and process control system in metal-based laser additive manufacturing, *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 70, 2023, pp. 309-326, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.07.018>.

3. G. Mohr, S. Nowakowski, S.J. Altenburg, C. Maierhofer, K. Hilgenberg, Experimental Determination of the Emissivity of Powder Layers and Bulk Material in Laser Powder Bed Fusion Using Infrared Thermography and Thermocouples, *Metals*, 2020, 10, 1546, <https://doi.org/10.3390/met10111546>.
4. M. Cullinan, O. Vasilevskyi, and J. Allison, Methodology for determination of the emissivity of metal powders and uncertainty quantification using an infrared camera and thermocouples, *Measurement Science and Technology*, vol. 36, no. 2, p. 025013, 2025, <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ada4c6>.
5. Soprunuk, P. M., O. M. Vasilevskyi, and Y. A. Chabanuk, Uncertainty of measurement results in the control of asynchronous rotation of electromechanical converters, *Information processing systems 7*, (2006): 72-75.
6. Vasilevskyi, O.M. Rationing of metrological reliability parameters, *Visnik Vinnitskogo polytechnic institute*, 2011, 4, pp. 9-13.
7. Podzharenko V., Kucheruk V., Vasilevsky O., Mathematical modeling of the control system of induction motors, DonNTU, 2003.
8. Semenov, A.A., O.O. Semenova, O.M. Voznyak, O.M. Vasilevskyi, M.Y. Yakovlev, Routing in telecommunication networks using fuzzy logic, *International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM*, 2016, pp. 173-177.
9. Vasilevskyi, O.M. Statistical methods for detecting systematic measurement errors, *Visnik Vinnitskogo polytechnic institute*, 2012, 1, pp. 9-12.
10. Podzharenko, V.O., V.M. Didych, O.M. Vasilevskyi, Assessment of the probability of automated control of component elements of humus in the soil, *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Series: "Automation, measurement and control"*, 639, 2009, pp.51-54.
11. Vasilevskyi, O. M., V.M. Didych, Elements of the theory of construction of potentiometric means of measuring control of ion activity with increased probability, *Monograph, VNTU*, 2013, 176 p.
12. Vasilevskyi, O., M. Koval, S. Kravets, "Indicators of reproducibility and suitability for assessing the quality of production services," *ACTA IMEKO*, vol. 10, no. 4, p. 54, Dec. 2021, doi: 10.21014/acta_imeko.v10i4.814.
13. Vasilevskyi, O.M. Evaluation of the uncertainty of output signals of measuring equipment in dynamic modes of operation, *Information processing systems 4*, 2010, pp. 81-84.
14. Vasilevskyi, O., Woods, A., Jones, M., Cullinan, M. (2025). Quantitative Methodology for Assessing the Quality of Direct Laser Processing of 316L Steel Powder Using Type I and Type II Control Errors. *Electronics*, 14(7), 1476. <https://doi.org/10.3390/electronics14071476>.

Woods Alexandra - Bachelor's student, The Walker Department of Mechanical Engineering, the Cockrell School of Engineering, The University of Texas at Austin, **[e-mail: alexandra-woods@utexas.edu](mailto:alexandra-woods@utexas.edu)**

Vasilevskyi Oleksandr – Senior Research, The Walker Department of Mechanical Engineering, the Cockrell School of Engineering, The University of Texas at Austin, **[e-mail: oleksandr.vasilevskyi@austin.utexas.edu](mailto:oleksandr.vasilevskyi@austin.utexas.edu)**

Cullinan Michael - Associate Professor, The Walker Department of Mechanical Engineering, the Cockrell School of Engineering, The University of Texas at Austin, **[e-mail: michael.cullinan@austin.utexas.edu](mailto:michael.cullinan@austin.utexas.edu)**

A. Woods, O. Vasilevskyi, M. Cullinan

ПОКРАЩЕНА МЕТОДОЛОГІЯ ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЕНТУ ВИПРОМІНЮВАННЯ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ

Анотація.

Запропоновано спеціально розроблену камеру для точного вимірювання коефіцієнта випромінювання металевих порошків у широкому діапазоні температур за допомогою інфрачервоної (ІЧ) камери. Ця вимірювальна установка значно зменшує окислення металевих порошків під час нагрівання до високих температур. Як результат, вона дозволяє точно визначити фактичні значення коефіцієнту випромінювання, що є вирішальним для точного калібрування ІЧ-камери під час вивчення процесів спікання або плавлення в адитивному виробництві.

Ключові слова: вимірювання, інфрачервона термографія, адитивне виробництво, коефіцієнт випромінювання

Woods Alexandra – студент бакалаврату, департамент механічної інженерії імені Уокера, Техаський університет в Остіні, e-mail: alexandra-woods@utexas.edu

Vasilevskyi Oleksandr – старший науковий дослідник, департамент механічної інженерії імені Уокера, Техаський університет в Остіні, e-mail: oleksandr.vasilevskyi@austin.utexas.edu

Cullinan Michael – доцент, департамент механічної інженерії імені Уокера, Техаський університет в Остіні, e-mail: michael.cullinan@austin.utexas.edu

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ НАПЛАВЛЕННОЇ ПОВЕРХНІ СТАЛІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі приведені результати металографічних та механічних досліджень наплавленої поверхні сталі системи Fe – Si – Mn – C – з додаванням ванадію.

Ключові слова: мікроструктура, фазовий аналіз, ванадій, наплавлення, покриті електроди.

Основними конструкційними матеріалами при виготовленні деталей машин залишаються залізовуглецеві сплави, оскільки їх використання забезпечує значний ресурс роботи при досить помірних економічно–доцільних затратах. В умовах зношування, де за значну більшість експлуатаційних характеристик несе відповідальність поверхневий шар, виникає потреба у використанні композиційних, зміцнених високотвердими сполуками матеріалів.

Одним із найбільш поширеним застосуванням у машинобудуванні для деталі типу вал набули в основному конструкційні сталі марок 45, 50, 40X та інших, що мають спільну систему Fe – Si – Mn – C – O. Для відновлення цих деталей застосовують різні способи нанесення покриття, наприклад, покритими металевими електродами для ручного дугового наплавлення типу УОНИ 13/55 або дротами для напівавтоматичного наплавлення.

В теперішній час у машинобудуванні актуальним є надання заданих фізико-механічних властивостей та характеристик поверхневим шарам деталей, шляхом керування структуроутворенням, модифікації поверхневих шарів, тобто зміни інженерії поверхні. Для цього металеві сплави легують, піддають хіміко-термічній обробці, використовують при зварюванні та наплавленні леговані електроди та дроти, тобто застосовують технологічні прийоми спрямовані на внесення у сплав комплексу певних хімічних елементів [1].

Зазвичай, технологія відновлення поверхонь деталей типу вал полягає у наплавленні поверхневого шару електродами хімічний склад яких наближений до складу основного металу, з урахуванням витрат на випаровування, розкиснення та розбризкування. Для досягнення необхідних зносостійких характеристик застосовують легування різними хімічними елементами.

Суттєво підвищує міцність, твердість та зносостійкість сталі додавання у якості легуючого елемента ванадію (V), за рахунок розкиснюючої дії лігатури (зв'язування розчинених у рідкій ванні кисню, азоту і сірки) та внаслідок утворення карбідів. Крім того, утворюючи тугоплавкі карбіди та нітриди, ванадій сприяє подрібненню первинних та вторинних зерен, що робить сталь дрібнозернистою. Розчиняючись у фериті, ванадій підвищує границю текучості та покращує пластичність [2].

Метою роботи є дослідження стабільності та зносостійкості поверхневих шарів, нанесених наплавленням електродом на основі УОНИ 13/55 з додаванням в обмазку порошок молібдену та, зокрема, стабільність графітних включень в поверхневих наплавлених шарах.

Науково-технічною задачею, яка вирішується в даній роботі, є створення порошкової композиції обмазки для електродугового наплавлення з метою підвищення твердості покриття та стабілізації структури зносостійких залізо-вуглецевих поверхонь.

До даного хімічного складу обмазки електроду було додано 1% ванадію. Електрод попередньо очистили від стандартної обмазки і часточки цієї обмазки подрібнили до порошкоподібного стану і додали 1% ванадію.

Наплавляли зразки зі сталі 45 ГОСТ 1050 – 88 з ферито-перлітною структурою.

Металографічний аналіз показав, що в процесі наплавлення сталі 45 електродом УОНИ 13/55 з додаванням 1% ванадію утворився якісний поверхневий шар, з дрібнозернистою структурою

Механізм впливу: ванадій є сильним карбідоутворюючим металом. Тому в залізо-вуглецевому розплаві він один з перших утворює карбіди VC. Утворені карбіди слугують зародками для початку кристалізації. Насамперед на них кристалізуються карбіди заліза (цементит). Внаслідок цього у шві з додаванням ванадію зменшується ризик утворення цементитних сіток, а значить зменшується можливість утворення тріщин на цих сітках. Крім того, в середньовуглецевих металах та швах подрібнюються зерна, а перліт переважно має зернисту форму.

Таким чином, ванадій змінив структуру зразка, і в зоні сплавлення відбулось подрібнення ферито-перлітної структури. Отже, за рахунок ванадію ми отримали структуру з підвищеними механічними властивостями шва з основним металом.

Мікротвердість змінюється в межах від 221 МПа до 285 МПа, ударна в'язкість KCU при +20 °C для даних зразків становить 0,87 МДж/м².

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інженерія поверхні: Підручник. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. – К.: Наукова думка, 2007 – 559 с.
2. Наплавлення: навч. посібник // Власов А.Ф., Кузнецов В.Д., Макаренко Н.О., Богущкий О.А. – Краматорськ, ДДМА, 2010. – 336с.

Відомості про автора

Шиліна Олена Павлівна – канд. техн. наук, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:epshilina.tpz@gmail.com

RESEARCH OF THE STRUCTURE OF THE WELDING SURFACE OF STEEL

Abstract

The paper presents the results of metallographic and mechanical studies of the welding surface of steel of the Fe – Si – Mn – C system with the addition of vanadium.

Keywords: microstructure, phase analysis, vanadium, welding, coated electrodes.

Information about the authors:

Shylina Olena P. – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of department of machine-building, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: epshilina.tpz@gmail.com

ВПЛИВ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ТЕПЛА НА СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ ЗМІЦНЕННІ ДЕТАЛЕЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація.

Наведено результати досліджень розповсюдження температури та вплив на структурні перетворення при зміцненні деталей машин

Ключові слова. Когерентне випромінювання, плазмовий струмінь, поверхнєве зміцнення, електрична дуга, тепловкладення, зона опромінення, поверхневий шар.

Більшість деталей, що працюють в умовах тертя та зношування піддають термічному зміцненню та надають поверхневому шару спеціальних властивостей таких як – зносостійкість, твердість, антифрикційні властивості та інше. Ці властивості поверхневого шару отримують електродуговим наплавленням, плазмовим, когерентним випромінюванням тощо.

Головною перевагою лазерів є можливість отримання в безперервному режимі, практично в будь-яких середовищах, самої вищої густини потужності. Можливість контролю потужності випромінювання та гарне фокусування пучку дозволяє забезпечити локальний нагрів в важкодоступних місцях, та при цьому виключити або звести до мінімуму просторові деформації, що вкрай важливо при зміцненні деталей. Застосування лазерного випромінювання для зміцнення матеріалів засновано на створенні великої щільності потужності в зоні обробки.

За допомогою одномірної моделі нагріву напівбезкінечного тіла джерелом тепла постійної інтенсивності можна знайти час досягання на поверхні температури плавлення.

$$\tau_m = \frac{0.79T_m \lambda^2}{q_0^2 a}; \quad (1)$$

де T_m - температури плавлення матеріалу, $^{\circ}\text{C}$; λ – коефіцієнт електронної теплопровідності, $\text{Вт}/\text{см}\cdot\text{град}$; a – коефіцієнт теплопровідності $\text{см}^2/\text{с}$; q_0 – густина потоку потужності.

Використовуючи прикладну програму ANSYS, нами проведено визначення розподілу температури як в глиб зразка, так і по ширині ділянки зони опромінення залежно від часу опромінення.

Температура в точці на радіусі R від осі шва впливає із рівняння

$$T - T_0 = \frac{q}{2\pi\lambda R}; \quad (2)$$

де q – ефективна потужність дуги в $\text{кал}/\text{с}$; λ – коефіцієнт теплопровідності, $\text{кал}/\text{см}$.

Після того, як температура на поверхні металу досягає точки плавлення, починається розплавлення поверхневого шару та розповсюдження границь рідкої фази в глиб металу. Максимальна глибина проплавленого шару залежить від коефіцієнта теплопровідності матеріалу. При його великих значеннях тепло швидко відводиться в глиб матеріалу, що знижує кількість розплаву.

Результати показали, що у випадку когерентного опромінення глибина проплавлення більша за ширину, це відбувається за рахунок великого тепловкладення на дуже малу ділянку поверхні зразка. Ширина ділянки впливу складає 3 мм , тоді як глибина $4,5 \text{ мм}$. Температура при лазерному способі опромінення розповсюджується більш «гостро» від точки введення вглиб деталі і менше розігріває навколишній простір деталі. При плазмовому нагріві процес введення температури в тіло проходить значно довше і ширина проплавленого шару складає 20 мм , глибина становить $17-18 \text{ мм}$. Температура розподіляється плавно вглиб деталі.

В порівнянні зі всіма іншими способами електродугове наплавлення відбувається найдовше і має найменшу максимальну температуру нагріву тіла. Радіус розповсюдження тепла складає 36 мм . Глибина проплавлення $\approx 34 \text{ мм}$. Температура розповсюджується плавно.

Аналіз отриманих даних за глибиною прогартування дозволяє зробити висновок, що при використанні як лазерного променя, так і плазмового опромінення для зміцнення матеріалів з'являється можливість розробки нових принципів конструювання деталей машин і вузлів, внесення корінних змін в технологію виготовлення виробів. При такому способі зміцнення можна змінити властивості різних ділянок деталі, виготовленої з порівняно недорогого конструкційного матеріалу, і одержати сплави з унікальними характеристиками міцності, зносостійкості і корозійної стійкості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інженерія поверхні: Підручник. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. – К.: Наукова думка, 2007 – 559 с.
2. Наплавлення: навч. посібник // Власов А.Ф., Кузнецов В.Д., Макаренко Н.О., Богуцький О.А. – Краматорськ, ДДМА, 2010. – 336с.

Відомості про авторів

Шиліна Олена Павлівна – канд. техн. наук, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: epshilina.tpz@gmail.com

Ляско Максим Анатолійович – здобувач вищої освіти групи ЗВ-20б, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: makslasko2@gmail.com

INFLUENCE OF HEAT DISTRIBUTION ON STRUCTURAL TRANSFORMATIONS DURING STRENGTHENING OF PARTS

Abstract.

The results of studies of temperature distribution and the effect on structural transformations during the hardening of machine parts are presented.

Keywords. Coherent radiation, plasma jet, surface hardening, electric arc, heat input, irradiation zone, surface layer.

Shylina Olena P. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: epshilina.tpz@gmail.com

Lyasko Maksym A. – Higher Education Student of Group ZV-20b, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: makslasko2@gmail.com

RESTORATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF HEAT-RESISTANT STEEL BY HEAT TREATMENT AFTER ITS LONG-TERM OPERATION ON A TPP STEAM PIPELINE

¹ Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine

² Lviv Polytechnic National University

Abstract.

The operation of heat power equipment elements under the conditions of complex impact of high temperature and steam pressure in combination with static, dynamic and cyclic loads, corrosion and hydrogenation factors leads to significant degradation of heat-resistant steels, in particular, those used in steam pipelines. In the paper, a mode of restorative heat treatment (RHT) of 12Kh1MF steel after 286,000 hours of operation in the extended bend zone of the main steam pipeline is proposed and substantiated. RHT includes two-stage normalization at 1100°C and 960°C, followed by tempering at 740°C. The proposed treatment effectively refined the grain structure, reduced the amount of large carbides at grain boundaries, increased hardness, strength and ductility characteristics, and impact toughness. These improvements demonstrated the effectiveness of the proposed RHT mode for restoring the properties of degraded steel and showed the potential for ensuring safe operation and extending the service life of steam pipelines of thermal power plants.

Key words: heat-resistant steel 12Kh1MF, degradation, restorative heat treatment, service life extension, steam pipelines, grain size, mechanical properties.

Thermal power equipment is usually operated under difficult conditions of the combined impact of many process factors, in particular, high-temperature steam under high pressure, cyclic and static loads, as well as corrosion and hydrogenation effects of process environments. These factors cause significant degradation of heat-resistant steels, especially in such critical sections of steam pipelines as the stretching of their bend zones. The processes of steel degradation are largely determined by creep and are manifested in changes in the microstructure of steel, in particular, in the coarsening of both carbides and grains, which reduces the mechanical properties of steel [1, 2].

The objective of this study is to substantiate the restorative heat treatment (RHT) regime to improve the microstructure and mechanical properties of 12Kh1MF steel, thereby demonstrating the potential for extending the service life of steam pipeline components. The steel was used after 286,000 hours of operation in the tensile zone of a thermal power plant steam pipeline bend at a temperature of 540 °C and a pressure of 14 MPa. The RHT process included a two-stage normalization (1100 °C/150 min and 960°C/30 min) followed by high-temperature tempering at 740 °C/180 min [3]. Metallographic and fractographic studies were performed using scanning electron microscopy. Mechanical properties, including hardness, tensile and yield strength, ductility and impact toughness, were used to certify the steel before and after operation using standard testing methods.

Metallographic studies have shown that after RHT, the grains in the steel structure are significantly refined (over the entire thickness of the pipe wall). As a result, after treatment, the proportion of small grains increased to 55%, and large grains to 10%, which was considered a factor in reducing the resistance of steel to creep. The treatment also reduced the number of large carbides at the grain boundaries, moving them inside the grains, thereby increasing the cohesion strength of adjacent grains.

After applying the proposed RHT mode, the mechanical properties of long-term operated 12Kh1MF steel increase over the entire thickness of the pipe wall in the stretched bending zone. Mechanical tests

confirmed an increase in hardness (up to 170 HB), as well as strength, ductility and impact toughness of the restored steel. As a result, the hardness HB increased by almost 40%, the tensile strength by 19%, and RA by 60%. At the same time, the impact toughness of the restored steel increased more than twofold. But the main thing is that all the obtained characteristics exceeded the values regulated for this steel in the original state. This is a convincing argument for justifying the legitimacy of using the proposed RHT regime to extend the service life of 12Kh1MF steel in critical elements of TPP steam pipelines.

Thus, it was shown that the proposed RHT mode ensured effective restoration of both the microstructure and mechanical properties of 12Kh1MF steel after its degradation under operating conditions. This substantiated the possibility of using heat treatment under the proposed RHT mode as an effective method for extending the service life of critically degraded elements of TPP steam pipeline bends.

REFERENCES

1. Dzioba I., Gajewski M., and Neimitz A. Studies of fracture processes in Cr–Mo–V ferritic steel with various types of microstructure. *Int. J. Pressure Vessel and Piping*. 2010. 87, 10. P. 575–586. DOI: 10.1016/j.ijpvp.2010.07.012.

2. Analysis of the mechanical properties of welded joint metal from TPP steam piping after its operational degradation and hydrogenation. V. Hutsaylyuk, O. Student, P. Maruschak, H. Krechkovska, O. Zvirko, L. Svirska, and I. Tsybailo. *Materials*. 2023. 16, 24. Article number: 7520. DOI: 10.3390/ma16247520.

3. Tsybailo I. O. Substantiation of modes of restorative heat treatment of heat-resistant steel of TPP steam pipeline bend. *Materials Science*. 2024. 60, 2. P. 103–107.

Ivan Tsybailo, PhD student, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, tsybailo.14@gmail.com;

Lesya Svirska, PhD, Researcher, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, lesyasvirska@gmail.com;

Sofia Krechkovska, Bachelor student, Lviv Polytechnic National University, Lviv, sofiyakrechkovska@gmail.com;

Oleksandra Student, D.Sc., Prof., Leading researcher, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, oleksandrastudent1@gmail.com.

ВІДНОВЛЕННЯ ТЕРМІЧНИМ ОБРОБЛЕННЯМ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕПЛОТРИВКОЇ СТАЛІ ПІСЛЯ ЇЇ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ПАРОГОНІ ТЕС

Анотація.

Експлуатація елементів теплоенергетичного обладнання в умовах комплексного впливу високої температури та тиску пари у поєднанні зі статичними, динамічними та циклічними навантаженнями, корозійними та наводнювальними чинниками призводить до суттєвої деградації теплотривких сталей, зокрема, що використовуються на парогонях. У роботі запропоновано та обґрунтовано режим відновлювального термічного оброблення (ВТО), що включає двоступеневу нормалізацію при 1100 та 960°C з наступним відпуском при 740°C. Така обробка ефективно подрібнює зеренну структуру, знижує кількість великих карбідів вздовж меж зерен, підвищує твердість характеристики міцності і пластичності та ударну в'язкість. Ці покращення продемонстрували ефективність запропонованого режиму ВТО для відновлення властивостей деградованої сталі та показали потенційну можливість забезпечення безпечної експлуатації та продовження терміну служби парогонів теплових електростанцій.

Ключові слова: теплотривка сталь 12Х1МФ, деградація, відновлювальна термічна обробка, продовження терміну експлуатації, парогони, розмір зерна, механічні властивості.

Цибайло Іван Олександрович – аспірант, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, tsybailo.14@gmail.com;

Свірська Леся Миколаївна – к.т.н., науковий співробітник, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, lesyasvirska@gmail.com;

Кречковська Софія Русланівна – студентка бакалаврату, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, sofiyakrechkovska@gmail.com;

Студент Олександра Зиновіївна – д.т.н., проф., провідний науковий співробітник, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, oleksandrastudent1@gmail.com.

АЛЮМІНІЙ – 200 РОКІВ ВІДКРИТТЮ: ВІД ЛАБОРАТОРНОГО ФЕНОМЕНУ ДО КОНСТРУКЦІЙНОГО МЕТАЛУ АВТО-, АВІА- Й КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України,
²Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті висвітлено етапи 200-річної історії відкриття та розвитку алюмінію — від лабораторного дослідження Ерстедом до його становлення як стратегічного конструкційного матеріалу для авіації, автомобіле- і космічного будівництва. Розглянуто ключові властивості, технологічні прориви й напрями сучасних досліджень.

Ключові слова: алюміній, конструкційний матеріал, електроліз, авіація, автомобілебудування, алюмінієві сплави, вторинна переробка, легкі метали.

2025 року минає рівно два століття з моменту, коли данський фізик Ганс Крістіан Ерстед уперше виділив алюміній у лабораторних умовах (1825), відновивши хлорид алюмінію амальгамою калію [1]. З того часу цей легкий метал пройшов шлях від хімічної цікавинки до одного з найважливіших конструкційних матеріалів сучасності, без якого неможливо уявити розвиток авіації, автомобілебудування, космічної галузі, будівництва та упаковки.

У 1854 році француз Анрі Сент-Клер Девіль започаткував перше промислове виробництво алюмінію шляхом відновлення глинозему натрієм [2]. Перші зливки масою 6...8 кг були представлені на Всесвітній виставці у Парижі у 1855 році. Алюміній тоді був настільки цінним, що його виставляли поруч із державними скарбами, а імператор Наполеон III використовував столові прибори з алюмінію під час офіційних прийомів.

Прорив у масове використання металу стався лише після відкриття електролітичного способу добування алюмінію з глинозему, розчиненого у кріоліті. Цей метод, відомий як процес Голла-Еру (1886), майже одночасно запропонували Пол Ерю (Франція) і Чарльз Голл (США) [3]. Вже до 1893 року світове виробництво алюмінію перевищило 1000 тонн на рік.

Алюміній – третій за поширеністю елемент у земній корі після кисню і кремнію. Проте, через його хімічну активність, він майже не зустрічається у вільному вигляді, що довгий час ускладнювало його одержання. Основною сировиною для промислового виробництва є боксити – алюмосилікатні гірські породи з високим вмістом глинозему [4].

Виняткове поєднання властивостей – низька густина ($2,7 \text{ г/см}^3$), висока корозійна стійкість, добра електро- і теплопровідність, а також відмінна пластичність – зробило алюміній унікальним конструкційним матеріалом. У сплавах (наприклад, дюралюмінії, алюмінієво-літєві, силуміні) він досягає міцності понад 500 МПа при збереженні малої маси [5]. Окрім того, алюмінієві сплави відзначаються високими ливарними властивостями, що зумовлює їх широке застосування в ливарному виробництві складних тонкостінних деталей. Зокрема, сплави на основі системи Al – Si (силуміні) евтектичної та заевтектичної груп мають найвищу рідкотекучість серед кольорових сплавів, що забезпечує точне заповнення ливарних форм і мінімізацію усадкових дефектів у литві.

Перші літаки братів Райтів містили елементи з алюмінію. Під час Першої світової війни цей метал став стратегічним матеріалом, а з другої половини XX століття – незамінним у авіаційній та космічній техніці [6]. У сучасних літаках понад 70% маси конструкцій припадає саме на алюмінієві сплави. У автомобілебудуванні алюміній дозволив істотно знизити масу кузовів, поліпшити аеродинамічні характеристики й зменшити споживання пального. Першим серійним автомобілем з повністю алюмінієвим кузовом став Audi A8 (1994), що продемонстрував нові можливості легких сплавів у масовому транспорті [7]. У 2020-х роках компанія Tesla під керівництвом Ілона Маска впровадила масштабне лиття алюмінієвих кузовних елементів

методом лиття під тиском на гігантських пресах – так званих Giga Press. Це дозволило замінити десятки зварених деталей цільними ливарними компонентами, зменшивши вагу, спростивши виробництво й знизивши витрати.

У космічній галузі алюміній – основа для ракетних баків, опорних структур супутників і теплових екранів. Його застосування стало критичним для NASA і ESA через ідеальне співвідношення міцності до ваги й стійкість до температурних коливань [8].

Ще однією перевагою алюмінію є його майже 100%-придатність до переробки без втрати властивостей. Це робить його стратегічним ресурсом в умовах розвитку циркулярної економіки та "зеленої" металургії [9].

Сьогодні дослідження у сфері алюмінієвих матеріалів спрямовані на розробку наноструктурованих сплавів, впровадження 3D-друку з алюмінієвих порошків та їх застосування у новітніх технологіях, таких як фрикційне зварювання або лазерне напилення [10]. Усе це підвищує конкурентоспроможність алюмінієвих компонентів у точному машинобудуванні, авіації, електромобілях та дронах.

Таким чином, алюміній став не просто металом авіації, а справжнім символом технологічного прогресу – від лабораторного феномену Ерстеда до «конструкційного кістяка» сучасної техносфери.

Огляд підготовлено в межах співробітництва згідно з договором 226 (166/24) від 22.02.2024 про наукове співробітництво між ФТІМС НАН України та ВНТУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Habashi F. The beginnings of the aluminum industry // *Nano Studies*. – 2013. – Vol. 8. – P. 333–344.
2. Eskin D. G. *Physical Metallurgy of Direct Chill Casting of Aluminum Alloys*. – New York: CRC Press, 2008. – 326 p.
3. Ashkenazi D. How aluminum changed the world: A metallurgical revolution through technological and cultural perspectives // *Technol. Forecast. Soc. Change*. – 2019. – Vol. 146. – P. 431–439. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.03.011>.
4. European Aluminium Association. URL: <https://european-aluminium.eu/> (дата звернення: 14.05.2025).
5. Polmear I.J. *Light Alloys: From Traditional Alloys to Nanocrystals*. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006. – 379 p.
6. Zaki A., Fouad H., Abdelwahab M. et al. Applications of aluminum and aluminum alloys in aerospace industry // *Materials Today: Proceedings*. – 2020. – Vol. 27. – P. 2401–2406.
7. Hirsch J. Aluminium in innovative light-weight car design // *Materials Transactions*. – 2011. – Vol. 52, № 5. – P. 818–824.
8. NASA Technical Reports. – URL: <https://ntrs.nasa.gov/> (дата звернення: 14.05.2025).
9. Subramanian S. *Recycling of Aluminum: Science and Technology*. – Boca Raton: CRC Press, 2017. – 284 p.
10. Kumar K. S., Suresh S., Chisholm M. F., Horton J. A., Wang P. High strength, high ductility nanostructured metals // *Progress in Materials Science*. – 2003. – Vol. 48, № 4. – P. 377–416.

Дорошенко Володимир Степанович, доктор техн. наук, ст. наук. співр., пров. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, doro55v@gmail.com.

Янченко Олександр Борисович, канд. техн. наук, доц., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 1961yab@gmail.com

Aluminum — 200 Years of Discovery: From a Laboratory Phenomenon to a Structural Metal for Automotive, Aviation, and Space Engineering

Abstract

The article outlines the key stages in the 200-year history of the discovery and development of aluminum — from Orsted's laboratory experiment to its establishment as a strategic structural material for aviation, automotive, and space industries. The key properties, technological breakthroughs, and current research directions are discussed.

Keywords: aluminum, structural material, electrolysis, aviation, automotive, aluminum alloys, recycling, light metals.

Doroshenko Volodymyr Stepanovych, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading Researcher, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, doro55v@gmail.com.

Yanchenko Oleksandr Borisovych, PhD (Engin.), Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 1961yab@gmail.com.

ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ЗА ПОЛІМЕРНИМИ МОДЕЛЯМИ, ЩО ВАКУУМУЮТЬСЯ

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України,
²Вінницький національний технічний університет

Анотація

Описано метод вакуумування робочої порожнини ливарної форми крізь вентканал у піно-полімерній моделі, що газифікується. Цим досягають ефекту вакуумного всмоктування металу у ливарній формі.

Ключові слова: виливки, ливарна форма, ливарні моделі, Lost Foam casting, вакуум, вентканал.

При литті металу за моделями, що газифікуються (метод ЛГМ або Lost Foam casting), у робочій порожнині форми під час заливання розплавом металу виникає підвищений газовий тиск, який може сягати до 25 % вище атмосферного за рахунок випаровування моделі теплом металу. Для традиційних моделей з пінополістиролу (ППС) цей тиск тримають невисоким завдяки підтриманню густини ППС на рівні 25...28 кг/м³, що дозволяє уникати забруднення металу продуктами газифікації та запобігати дефектам литва, таких як недоливи чи спай. Проте використання 3D-принтерів або фрезерів для виготовлення моделей (або їх частин) нерідко призводить до підвищення густини полімеру, що збільшує ризик виникнення цих дефектів.

Традиційні методи ЛГМ за моделями з ППС (рис. 1, а) передбачають відведення газових продуктів 2 крізь пори протипригарної фарби 5 та пісок 8 вакуумованої форми.

Для друкованих чи фрезерованих моделей з більшою газотвірністю стала необхідністю розробка нових способів видалення газів 2 із робочої порожнини форми та забезпечення стабільної якості виливків [1, 2]. Перехід від методів відведення газу з протитиском (вище атмосферного тиску) на метал 1 у порожнині форми (рис. 1, а) до методу (рис. 1, б) вакуумного впливу (нижче атмосферного тиску) на гази над рівнем металу 1 (який заливається у форму та газифікує – заміщає модель) та на сам метал 1 став ключовим рішенням у застосуванні моделей підвищеної густини для ЛГМ [1].

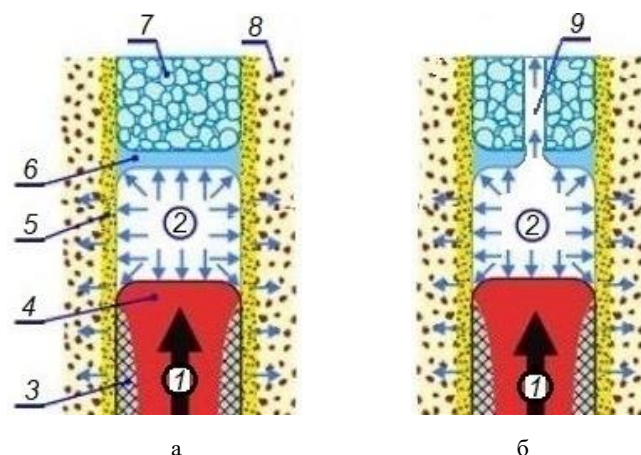


Рисунок 1 – Схема заповнення розплавом металу форми при газифікації моделі: а – за традиційним способом, б – з вентиляцією; 1 – напрям заповнення форми металом; 2 – тиск газу; 3 – плівка (кірка) металу; 4 – розплав металу; 5 – протипригарна фарба; 6 – розплав ППС; 7 – ППС; 8 – сухий вакуумований пісок; 9 – газовідвідний (вент-) канал

Зниження високого тиску газів створювали за допомогою вентканалів 9 у ливарній моделі, які проектуються на її цифровому кресленні, пролягають у напрямку заміщення моделі розплавом металу та продовжуються полімерними трубками-випорами в місцях, де закінчується газифікація моделі, для виводу газів у вакуумований пісок форми крізь газопроникні вентри на вихідних кінцях цих трубок.

Вентканалы в тілі моделі покращують газодинаміку процесу ЛГМ, за рахунок відведення газів протягом усього циклу газифікації моделі металом. Рівень вакууму (розрідження) на виході з трубчастих випорів в піску слід підтримувати (ступенем газопроникності вент та трубок) нижчим від його рівня на поверхні моделі для створення задовільних умов статичної стабільності стінок форми при заливанні металу, уникнення осипання піску та якісному заповненні форми металом при газифікації моделі. Це обґрунтовано таким розрахунком балансу тисків. Якщо типові для ЛГМ водо-кільцеві насоси здатні створювати вакуум в порах піску форми з найменшим залишковим тиском до $P_{\phi} = 20$ кПа, то у робочій порожнині форми з вентканалом в моделі слід підтримувати залишковий тиск газів не нижче $P_r = 30$ кПа. Різниця цих тисків 10 кПа буде достатньо для утримання непорушними стінок форми з сухого піску. При цьому вакуум у порах піску форми виконує роль своєрідного насоса, який видаляє гази крізь вентканал моделі.

Наслідком вакуумного відкачування газу крізь вентканал в моделі, що газифікується, є створення аналогічного впливу на метал, як у способі лиття вакуумним всмоктуванням. Це забезпечує кращі умови заміщення моделі, порівняно з традиційним методом, в якому поверхня металу контактує з газами під тиском вище атмосферного. Канали для виведення газів у товщу піску форми проектується за принципом «чим більше газів, тим інтенсивніше слід видаляти їх з піщаної форми за умов непорушності її стінок», що є важливим для стабільної якості виливків при переході до моделей з підвищеною газотвірністю, зокрема до друкованих. Додатково разом з газами з порожнини форми виводяться дрібні частинки сажі та коксового залишку, що запобігає їх негативному впливу на якість вилівка та особливо важливо для сплавів, що можуть насичуватись вуглецем з продуктів термодеструкції полімерів. При цьому вакуумуванням порожнини форми крізь вентканал моделі за рахунок всмоктування розплавленого металу уникають недоливів, та підвищують якість поверхні готових виливків.

Загалом, технологія ЛГМ за моделями, що вакуумуються крізь вентканалы з виходом у вакуумованій пісок форми, відкриває можливості для виробництва широкої номенклатури тонкостінних виливків, яке раніше було проблематичним з використанням 3D-друкованих моделей та моделей підвищеною густиною ППС. А застосування 3D-фрезерів та -принтерів для виготовлення моделей з цифрових файлів дозволяє швидко змінювати дизайн металовиробу, скорочує тривалість підготовки виробництва нової продукції та не потребує складного та дорогого металевого оснащення для спікання моделей з ППС. Впровадження цієї технології в ливарних цехах сприятиме підвищенню конкурентоспроможності вітчизняного ливарництва.

Дослідження виконано згідно договору 226 (166/24) від 22.02.2024 про наукове співробітництво між ФГІМС НАН України та ВНТУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент 157522 Україна. МПК: B22C 7/02, B22C 9/04. Спосіб лиття металу за 3D-друкованими моделями, що газифікуються у вакуумованих формах з сипкого піску / П.Б. Калюжний, І.А. Шалевська, О.В. Нейма, С.О. Кротюк, В.С. Дорошенко, В.О. Шинський, С.І. Клименко. Опубл. 30.10.2024, Бюл. № 44.

2. Патент 154450 Україна. МПК: B22 C7/02, B22C 9/04. Спосіб лиття металу / В.С. Дорошенко, О. Б. Янченко, Опубл. 15.11.2023, Бюл. 46.

Дорошенко Володимир Степанович, доктор техн. наук, ст. наук. співр., пров. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, doro55v@gmail.com.

Янченко Олександр Борисович, канд. техн. наук, доц., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 1961yab@gmail.com

Foundry production of metal structures using vacuum-collected polymer patterns

Abstract

A method of vacuuming the working cavity of a casting mold through vent channels in a gasifying foam-polymer pattern is described. This achieves the effect of vacuum suction of metal in the casting mold.

Keywords: castings, casting mold, vacuuming, casting patterns, Lost Foam casting, ventchannel.

Doroshenko Volodymyr Stepanovych, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading Researcher, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, doro55v@gmail.com.

Yanchenko Oleksandr Borisovych, PhD (Engin.), Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 1961yab@gmail.com.

ПРИКЛАД РОБОТИЗАЦІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИВАРНИХ ФОРМ ДЛЯ ЛИТТЯ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБІННИХ АПАРАТІВ ЗА РАЗОВИМИ МОДЕЛЯМИ

¹ Вінницький національний технічний університет країни,
² Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України

Анотація

При роботизації виготовлення ливарних форм для точного лиття лопаток газотурбінних апаратів на заводі Doncasters Precision Castings (Німеччина) впроваджено бездротові датчики контролю процесу. Такі методи модернізації також можуть значно підвищити ефективність українських ливарних цехів, що спеціалізуються на способі лиття металопродукції за разовими моделями.

Ключові слова: робот, виливки, ливарна форма, лопатки турбін, лиття за разовими моделями.

Ливарне виробництво – це галузь, в якій прагнуть поєднувати традиційні методи з сучасними цифровими рішеннями, адаптуючись до умов автоматизації і роботизації. Особливо це актуально для точного лиття, зокрема лопаток газотурбінних апаратів, які працюють в умовах високих температур та навантажень. У газових турбінах лопатки піддаються впливу газу за температури до 1400 °С і досягають швидкості обертання 50...60 Гц, що потребує їх високої точності та термостійкості. Впровадження роботизованих систем в процеси такого лиття сприяє мінімізації виробничих ризиків та забезпеченню стабільної якості продукції. Зауважимо, що Україна входить до обмеженого кола країн з повним виробничим циклом газотурбінних апаратів, а також на її території діють цехи лиття за разовими моделями, зокрема на Вінничині. Ця виробнича база створює сприятливі умови для впровадження роботизації та автоматизації (приклад чого описано в цій статті), зменшуючи залежність від імпортних компонентів та підвищуючи конкурентоспроможність українського машинобудування на світовому ринку.

Одним із останніх прикладів роботизації є завод Doncasters Precision Castings (DPC) у Бохумі (Німеччина) [1], де впроваджено автоматизований процес виготовлення прес-форм для точного лиття. Робот, який працює у цеху, виконує складну низку операцій: спершу він знімає кластер воскоподібних моделей із підвісного конвеєра та занурює його у резервуар із керамічною суспензією, що рівномірно розподіляється на поверхні моделі. Потім кластер переноситься в обертовий барабан, де його засипають піском для створення стабільної оболонки. Після кількох повторень цього процесу утворюється багатомісна та багат шарова керамічна форма, яка після сушіння, витоплювання разових моделей та випалювання готова до заливки металу (рис. 1).

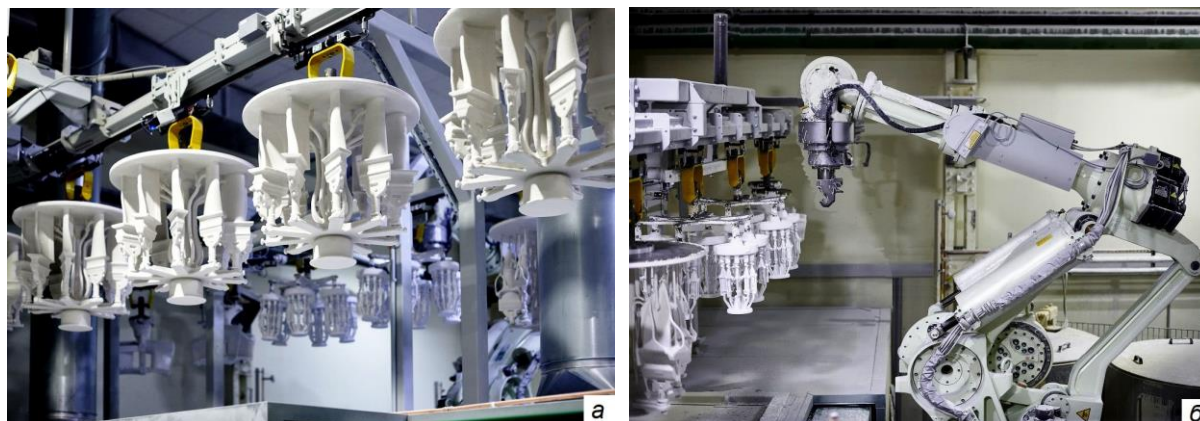


Рисунок 1 – Конвеєр з кластерами моделей (а) і робот, що по чергову наносить на модельні кластери кількарізкові шари суспензії та вогнетривкої обсіпки (б) [1]

На першому фото (рис. 1, а) показано моделі лопаток, які зібрані у кластери та подаються конвеєром до роботизованого маніпулятора (рис. 1, б), котрий точно позиціонує кластер, пневматично його захоплює та забезпечує подальший цикл обробки шляхом цілеспрямованого тривимірного переміщення з неодноразовим почерговим занурення кластера ливарних моделей у бак з суспензією та в обертовий барабан з сипким вогнетривом. Такий рівень автоматизації дає змогу досягати високої точності формувальних операцій, а також повторюваність виготовлення оболонкової ливарної форми.

Проте впровадження роботизованих систем потребує додаткової оптимізації, оскільки під час виробництва виникали випадки некоректного захоплення кластера роботом. У деяких ситуаціях болт, від модельного кластера, неточно позиціонувався на конвеєрі, що може спричинити небажане зіткнення або порушити подальші етапи роботи. Для розв'язання цієї проблеми інженери заводу встановили бездротовий індуктивний датчик компанії Steute [1]. Він сигналізує про правильне положення болта, досягаючи точного захоплення. Це рішення допомогло значно підвищити безпеку роботи, знизити ризики пошкоджень та забезпечити безперебійний виробничий процес з можливістю його дистанційного моніторингу.

Етап, показаний на рис. 1, б, демонструє інтеграцію бездротових технологій у робототехнічні рішення. Датчик працює автономно та передає сигнал бездротового з'єднання, що дає змогу використовувати його у складних механізмах, не обмежуючи рухливість компонентів. Це стало важливим кроком у розвитку виробничої автоматизації, дозволяючи підприємству працювати з максимальною точністю та мінімізувати витрати на крупносерійне виготовлення оболонкових вогнетривких форм.

Описаним методом компанія DPC виготовляє ливарні форми для лопаток ротора та напрямних апаратів для стаціонарних газотурбінних електростанцій і авіаційних двигунів [1]. Вилиті і оброблені лопатки довжиною до 800 мм досягають терміну служби щонайменше 10 000 годин, чого вимагають виробники турбін. Досвід компанії DPC може бути корисним і для українських ливарних підприємств, в тому числі для заводів Вінниччини [2], які мають чи створюють дільниці точного лиття за разовими моделями (як витоплюваними, так і газифікованими) кластерної комплектації, та мають значний потенціал для впровадження подібних технологій. Роботизація дозволяє не лише зменшити витрати та підвищити точність операцій лиття, а й адаптувати виробничі потужності до ринкового попиту, що стає критично важливим у конкурентному середовищі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Scheffels G. Robotergestützter Formenbau für den Präzisionsguss. 15.05.2025. URL: <https://www.home-of-foundry.de/fachmedien/aktuelles-heft>.

2. Янченко О.Б., Дорошенко В.С. Приклади точного лиття металу для транспортного машинобудування. Перспективні технології, матеріали й обладнання в ливарному виробництві: мат. ІХ міжнар. науково-технічної конф., 25–27 вересня 2023 р. / під заг. ред. А.М. Фесенка, М.А. Турчаніна. – Краматорськ: ДДМА, 2023. С. 158-159.

Янченко Олександр Борисович, канд. техн. наук, доц., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 1961yab@gmail.com

Дорошенко Володимир Степанович, доктор техн. наук, ст. наук співр., пров. наук співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, doro55v@gmail.com.

An example of robotic manufacturing of casting molds for casting blades of gas turbines according to one-off models

Abstract

When robotic manufacturing of casting molds for precision casting of blades of gas turbines at the Doncasters Precision Castings plant (Germany), wireless process control sensors were introduced. Such modernization methods can also significantly increase the efficiency of Ukrainian foundries specializing in the method of casting metal products according to one-off models.

Keywords: robot, castings, mold, turbine blades, casting according to one-off models.

Yanchenko Oleksandr Borisovych, PhD (Engin.), Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 1961yab@gmail.com.

Doroshenko Volodymyr Stepanovych, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading Researcher, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, doro55v@gmail.com.

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПРИВОДНИХ ВАЛІВ ВСЮДИХОДІВ ЧЕРЕЗ РАЦІОНАЛЬНИЙ ВИБІР МАТЕРІАЛІВ

1 Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Анотація

Запропоновано методика проведення дослідження із визначення матеріалу для виробництва приводного валу всюдиходу. Рекомендовано використовувати для подальших досліджень конструкційну ресорно-пружинну сталь 60С2А, властивості якої дозволяють зменшити динамічне навантаження на привід за рахунок підвищених пружних властивостей матеріалу приводного валу. Побудовано математичну модель приводного валу всюдиходу за допомогою програми Inventor. Проведено Аналіз напружено-деформованого стану Методом Скінчених Елементів. У відповідності до отриманих результатів зроблено висновок про умови роботи валу в межах пропорційності.

Ключові слова: приводний вал, динамічне навантаження, аналіз напружено-деформованого стану.

Вступ

Розробка та виробництво автомобіля підвищеної прохідності на основі використання коліс великого діаметру та низького тиску отримало розвиток в останні роки [1]. Перевага такого виду автомобільної техніки виявляється не тільки при русі пересіченою місцевістю, але й водно-болотними угіддями (за рахунок великого діаметра коліс вони мають плавучість).

Під час тестування всюдихода в умовах великого динамічного навантаження на приводи коліс були випадки їх поламки. Найважливішим елементом трансмісії є приводні вали. Найпростішим рішенням було б збільшення геометричних розмірів валів (збільшення діаметру), але це б привело до збільшення ваги автомобілю, що є додатковим обмеженням його прохідності та універсальності використання.

Мета роботи полягає в тому, щоб компенсувати частину динамічного навантаження в трансмісії всюдиходу використанням приводних валів з покращеними пружними властивостями через раціональний вибір матеріалів.

Результати дослідження

Вибір матеріалу для приводного валу автомобіля є важливим аспектом, який впливає на продуктивність та надійність автомобіля. Різні матеріали, такі як метал, вуглецеве волокно та композити мають свої переваги та недоліки. Металевий вал може бути надійним і простим в обслуговуванні, але вуглецеве волокно має низьку щільність, що може поліпшити ефективність роботи приводного валу. Для проведення експериментальних досліджень обрано марки конструкційних сталей, що володіють різними пружними властивостями та підвищеною межею пружності. Методика випробувань на закручування зразків з будь-яких матеріалів стандартизована [2]. Найкращі показники міцності за результатами дослідження має конструкційна ресорно-пружинна сталь 60С2А. На пружні властивості матеріалів зразків впливає термічна обробка. Експериментально визначені параметри технологічного процесу термічної обробки матеріалу приводного валу. Її проводили в спеціальній вакуумній печі в умовах Дніпровського дослідно-інструментального заводу (ДІЗ). Загартування у вакуумній печі знижує вірогідність зневуглицювання поверхні зразку. Максимальну пружність сплав отримує саме після відпалу, відпускання та загартування.

Проведено аналіз напружено-деформованого стану та розрахунок торсіону, який зазвичай використовують у підвісці важкої колісної техніки, пружних валах багато поточних редукторів, що передають велику потужність [3]. Отримані експериментальні значення припустимих крутних моментів були використані для побудови математичної моделі приводних валів до

всюдиходу за допомогою програми Inventor. Аналіз напружено-деформованого стану торсійного валу всюдиходу виконано Методом Скінчених Елементів [4], (рис.1).

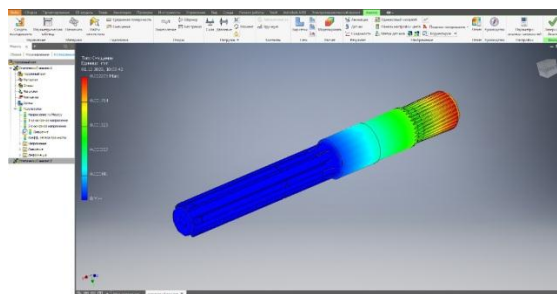


Рис. 1 Аналіз НДС валу Методом Скінчених Елементів

У відповідності до отриманих результатів зроблено висновок про умови роботи торсійного валу в межах пропорційності, що відповідає експлуатаційним умовам використання всюдиходу в бездоріжжі і при подоланні можливих перешкод.

Висновки

Встановлено, що методику проведення дослідження із визначення матеріалу для виробництва приводного валу всюдиходу реалізовано у технічному рішенні щодо компенсування частини динамічного навантаження в трансмісії використанням приводних валів з покращеними пружними властивостями. Контроль якості зміцнюючих режимів термообробки забезпечує отримання деталей з заданим рівнем міцності, зносостійкості. Вимоги до якості є підґрунтям при обранні матеріалу приводного валу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пат. № 37925 Україна. Всюдихід / автори: Торопов О.Г., Науменко О.Г., патентовласники: Торопов О.Г., Науменко О.Г. – номер заявки s201802205; заявл. 29.08.2018; надр. 25.10.2018. Бюл. № 20.
2. ДСТУ 2824-94 Розрахунки та випробування на міцність. Види і методи механічних випробувань. Терміни та визначення. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 50 с.
3. Туренко А.М., Клименко В.І., Ужва А.В. (2016). Оцінка напружено-деформованого стану несучих систем та конструктивних елементів із сучасних матеріалів у спортивних автомобілях / А.М. Туренко, В.І. Клименко, А.В. Ужва, та ін. – Х.: ХНАДУ. 204 с.
4. Melosh R. (1974). Finite Element Analysis of Automobile Structures.-In. International Conference on Vehicle Structural Mechanics: Finite Element Application to Vehicle Design. Society of Automobile Engineers. Inc.-1974.-P.26-39.

Науменко Олена Геннадіївна — старший викладач кафедри механічної та біомедичної інженерії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», email : naumenko.o.h@nmu.one

Improving the performance of all-terrain vehicle drive shafts through the rational choice of materials

Abstract

A methodology for conducting a study to determine the material for the production of an all-terrain vehicle drive shaft is proposed. It is recommended to use 60C2A structural spring steel for further research, the properties of which allow reducing the dynamic load on the drive due to the increased elastic properties of the drive shaft material. A mathematical model of the drive shaft of the all-terrain vehicle was built using the Inventor. The stress-strain analysis was performed using the Finite Element Method. In accordance with the results obtained, a conclusion was made about the operating conditions of the shaft within the limits of proportionality.

Keywords: drive shaft, dynamic loading, stress-strain analysis.

Naumenko Olena H. — Senior Lecturer, Department of Mechanical and Biomedical Engineering, Dnipro University of Technology, Dnipro, email: naumenko.o.h@nmu.one

ЗВ'ЯЗОК МІЖ ПОРИСТІСТЮ ТА ТВЕРДІСТЮ СПІНЕНОГО ПОЛІВІНІЛХЛОРИДУ РІЗНОЇ ЩІЛЬНОСТІ

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

² Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація.

Проаналізовано особливості пороутворення у структурі спіненого полівінілхлориду різної щільності та встановлено закономірності розподілу пор по товщині їх листів. За результатами оцінювання площі пор на одиничній площі зображення в оптичному мікроскопі виявлено, що чим менша щільність спіненого полівінілхлориду, тим більша різниця за площею пор у перерізі їх листів. Заміряли твердість за Шором на поверхні листів і по товщині їх перерізу та встановили її кореляцію зі щільністю. Хоча у центрі перерізу листів твердість практично не залежала від щільності матеріалу. Отримані результати важливі для вдосконалення і технології виготовлення листів зі спіненого полівінілхлориду, його структури та, відповідно, механічних властивостей.

Ключові слова: спінений полівінілхлорид, пороутворення, твердість, щільність.

Спінений полівінілхлорид (СПВХ) відносять до перспективних полімерів завдяки його низькій вазі, достатній міцності, звукоізоляційним властивостям та вологостійкості [1–3]. Важливою перевагою СПВХ є також невисока займистість. Його застосовують у автомобільній, електротехнічній, меблевій галузях, тощо. У будівництві СПВХ можливо використовувати для виготовлення опалубки для заливання монолітних бетонних конструкцій, однак існує обмеження через його недостатню міцність за ударних навантажень. Для ефективного застосування листів у цій галузі необхідна оптимізація як структури матеріалу, так і технології виготовлення.

Проаналізували листи СПВХ щільністю 0,5; 0,6 та 0,65 г/см³ і виявили неоднорідність розподілу пор по їх товщині. Зауважили також дещо неправильну форму пор, що свідчило про різний опір їх розширенню в різних напрямках під час спінювання полівінілхлориду. Біля поверхонь листів виявили безпори́стий шар полімеру. Від поверхні листів до центру їх перерізу кількість і розміри пор збільшувалися. Зокрема, у листах щільністю 0,5 г/см³ на віддалі 0,5 та 2 мм від поверхні листа розміри пор в середньому становили 60 та 105 мкм, відповідно, а в центрі перерізу листів 200 мкм. З наближенням до центра перерізу листа розподіл пор ставав щораз рівномірнішим. З урахуванням морфології пор та їх розподілу по товщині листів визначили відсоток одиничної площі зображення, що припадав на пори. Встановили, що у листа щільністю 0,5 г/см³ відсоток пор був вищим ніж у 0,6 та 0,65 г/см³. Також слід відзначити, що у листів щільністю 0,6 та 0,65 г/см³ морфологічна невідповідність за площею пор у взаємно перпендикулярних перерізах ставала менш очевидною. Отже, що вищою була щільність СПВХ, то меншими були відмінності за пороутворенням в поздовжньому і поперечному перерізах його листів. Припускали, що таку різницю визначає рідкотекучість маси та температура охолодження поверхневих шарів СПВХ під час формування листів. Вважали, що під час виготовлення переохолодження зовнішніх шарів листа щільністю 0,5 г/см³ було найсильнішим, що й призвело до їх швидкого затвердіння з утворенням дрібних пор в околі бічних поверхонь. У СПВХ щільністю 0,6 г/см³ виявили меншу кількість пор у поперечному перерізі листа, але вони були дещо більшими за розмірами. З урахуванням загальних уявлень про вплив пористості на властивості спінених матеріалів такий розподіл і морфологія пор мали б забезпечити матеріалу вищу і міцність, і стійкість за дії механічних навантажень, хоча при цьому частково і втрачалися би їх переваги за вагою і теплопровідністю. Адже значна частина перерізу листа припадала на затверділий, а не на порожнистий полівінілхлорид. Така морфологія пор і їх розподіл у

поперечному перерізі листів СПВХ поліпшуватиме також стійкість елементів за дії напружень стиску і матеріал витримуватиме значно вищі механічні навантаження, не втрачаючи форми і не руйнуючись, виявлятиме меншу схильність до деформування та розривів. Через вищий відсоток твердого полівінілхлориду у складі матеріалу зростатиме його стійкість до ударів і зношування, а отже, знизиться його схильність до механічних пошкоджень – подряпин, вм'ятин чи тріщин. Адже щільніший СПВХ менш інтенсивно деформується за дії високих навантажень стиском або розтягом, а отже, стає надійнішим матеріалом для інженерних та будівельних застосувань.

Оскільки розмір та морфологія пор у СПВХ змінюється по товщині листів, то це впливає на його твердість. Закономірності зміни твердості листів по товщині стінки виявилися практично ідентичними. У поверхневих шарах листів щільністю 0,5, 0,6 та 0,65 г/см³ твердість становила 55, 71 та 78 одиниць за Шором, відповідно. В центрі їх перерізів вона була нижчою, і залежно від щільності листів змінювалася від 20 до 32. Отже, твердість СПВХ на поверхні листів корелює з їх щільністю, що обумовлено зменшенням частки пористого полімеру у їх приповерхневих шарах з підвищенням частки твердого полімеру. Така закономірність зміни твердості була оберненою до розподілу пор у перерізі листів, чим підтвердили, що саме перетинки між суміжними порами визначатимуть його механічні властивості. Це важливо враховувати, обираючи матеріал для елементів збірних конструкцій, щоб забезпечити їм необхідну стійкість. Отримані результати засвідчили важливість контролю процесу пороутворення в об'ємі спінених полімерів, щоб забезпечити їм необхідні функціональні властивості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Mathews G. PVC. Production, properties and uses. 2024. 400 p. <https://doi.org/10.1201/9781003575863>.
2. Maddah H. A. Polyvinyl Chloride (PVC): Production, Properties and Uses. American J. of Sci. Res. 2016. 2. P. 143–151. <https://doi.org/10.54560/jracr.v12i3.335>
3. Zhou Y., Wang D. Mechanical and thermal properties of foamed PVC composite materials. Polymer Composites. 2011. 32, 3. P. 437–443. <https://doi.org/10.1002/pc.21071>.

Галушчак Андрій Володимирович – аспірант відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, andrii.galushchak@gmail.com;

Кречковська Галина Василівна – доктор технічних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, krechkovskahalyna@gmail.com;

Діана-Галина Володимирівна Шабатура – студентка бакалаврату, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, diana-halyna.shabatura.mz.2024@lpnu.ua.

RELATIONSHIP BETWEEN POROSITY AND HARDNESS OF FOAMED POLYVINYL CHLORIDE OF VARIOUS DENSITIES

Abstract.

The features of pore formation in the structure of foamed polyvinyl chloride of different densities were analysed, and the patterns of pore distribution by the thickness of their sheets were established. According to the results of pore area assessment on a unit area of the image in an optical microscope, it was found that the lower the density of foamed polyvinyl chloride, the greater the difference in area between the pores in the cross section of their sheets. Based on measurements of Shore hardness on the surface of the sheets and by their thickness, its correlation with density was established. It is also established that in the center of the sheet cross-section, the hardness was practically independent of the material density. The obtained results are important for improving both the technology of manufacturing sheets from foamed polyvinyl chloride and its structure and, accordingly, mechanical properties.

Keywords: foamed polyvinyl chloride, pore formation, hardness, density.

Andriy Halushchak – PhD student, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, andrii.galushchak@gmail.com;

Halyna Krechkovska – D.Sc., Senior Research Fellow, Leading researcher of the Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, krechkovskahalyna@gmail.com;

Diana-Halyna Shabatura, Bachelor student, Lviv Polytechnic National University, Lviv, diana-halyna.shabatura.mz.2024@lpnu.ua.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРОБКИ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Анотація. Проведено аналіз теплопровідності зносостійких покриттів різальних інструментів під час обробки полімерних композиційних матеріалів.

Ключові слова: Зносостійке покриття, різальний інструмент(PI), процес різання, дискретні покриття, композитні матеріали (КМ), полімерні композитні матеріали (ПКМ), покриття дискретної структури.

Теплопровідність зносостійких покриттів є критично важливою характеристикою, яка визначає здатність покриття передавати тепло з зони різання в тіло інструмента. Вона має особливе велике значення в умовах обробки полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), в таких галузях як машинобудуванні, авіації, енергетиці та металургії. Теплопровідність зносостійких покриттів різальних інструментів безпосередньо впливає на їх продуктивність та якість обробки виробів з ПКМ[1, 2].

Під час процесу різання ПКМ розподіл тепла в зоні різання відмінний від різання металів, так як теплопровідність оброблюваного матеріалу низька і це призводить до концентрації тепла в зоні різання і як наслідок до термічної деструкції ПКМ та втрати різальної спроможності інструмента.

Здатність швидко відводити тепло від ріжучої кромки до основної маси інструменту допомагає зберігати його механічні властивості та зменшує ризик передчасного зношування. В залежності від матеріалу та структури покриття, теплопровідність може варіюватися, що впливає на розподіл температури по інструменту та його здатність до тепловідведення.

Слід відзначити, що працездатність інструментів для обробки ПКМ, виготовлених з різних інструментальних матеріалів, в значній мірі залежить від виду інструмента, його конструкції та геометрії, особливостей способу та умов його експлуатації. Тому в технічній літературі дані про зношування одного і того ж інструментального матеріалу дуже різняться [3, 4].

Підвищення експлуатаційних параметрів інструментів, для обробки ВПКМ призводить до зростання вимог до інструментальних матеріалів, створення нових видів, задовольняючих вимоги. Але в багатьох випадках це економічно недоцільно. Тому стратегічним напрямком удосконалення різального інструменту для обробки ПКМ є розробка нових методів та матеріалів для модифікації поверхневого шару інструменту, тобто заміна об'ємної зміни властивостей інструментальних матеріалів на модифікацію поверхневого шару робочої поверхні.

Одним з перспективних напрямків підвищення працездатності різального інструменту в тому числі і інструменту для обробки отворів з ПКМ є нанесення зносостійких покриттів різними методами з використанням різних конструктивних схем.

Використання зносостійких покриттів, в залежності від їх складу дозволяє зменшити вартість пошуку інструментального матеріалу.

Покриття можна розглядати як «проміжне технологічне середовище» (ПТС) між інструментальним і оброблюваних матеріалами, яка виконує подвійну роль. З одного боку, покриття може підвищувати такі властивості інструментального матеріалу як твердість, теплостійкість, зносостійкість, фізико-хімічної пасивність по відношенням до оброблюваного матеріалу. З іншого боку, за допомогою покриття можна сприятливо впливати на контактні процеси і параметри різання. Зокрема, покриття може сприяти зниженню тертя в областях фрикційного контакту і зменшувати потужність фрикційних джерел тепла, підвищувати температурний поріг початку адгезії, знижувати активність дифузійних процесів, що дозволяє зменшити інтенсивність зношування інструменту. Крім того, покриття здатне виконувати

«бар'єрні функції» між інструментальним і оброблюваних матеріалами, тобто сприяти зниження інтенсивності теплового потоку в інструмент, гальмувати дифузію між інструментальним і оброблюваних матеріалами і т.д.[4].

Для вибору складу захисного покриття на робочі частини різального інструмента для обробки ПКМ, необхідно розглянути фактори, що впливають на їх теплопровідність зносостійких покриттів. Фактори які впливають та знижують теплопровідність структури покриття такі як пористість, мікротріщини, неоднорідності. Напилені покриття (наприклад, плазмове напилення) часто мають нижчу теплопровідність порівняно з монолітними матеріалами через пористу структуру.

Вибір покриття для різального інструменту залежить від конкретних умов його експлуатації, таких як тип оброблюваного матеріалу, режимів обробки, матеріалу та геометрії інструмента.

Висновок:

Для підвищення працездатності інструменту для обробки композиційних матеріалів на основі аналізу цієї проблеми було показано, що найефективнішим способом їх вирішення є створення покриттів для обробки ПКМ з високим коефіцієнтом теплопровідності і з високою твердістю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Корбут Є.В. Особливості обробки ВПКМ процесом різанням // Перспективні технології та прилади. — Луцьк, 2018. — С. 82–87;
2. Корбут Є.В., Радько О.В., Голомбієвський Г.Г. Підвищення стійкості різального інструмента комбінованими методами поверхневого зміцнення // Проблеми тертя та зношування. — Київ, 2015. — № 4. — С. 96–101;
3. Study on Tool Wear Mechanism of CFRP Cutting II / [H. Shinsaku, F. Junsuke, K. Tooru et al.] // Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. — 2005.-Vol. 71, no. 702. - P. 719-724;
4. Солових Є.К. Науково-методологічні основи підвищення несучої здатності функціональних покриттів конструктивними і технологічними методами/ Є.К. Солових: автореф. Дис.докт.тех.наук. – К.:НТУУ «КПІ», 2013. – 36с

Петров Олександр Дмитрович - аспірант, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», petrovsasha69@gmail.com

Корбут Євген Валентинович - канд.тех. наук, доцент, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», korbut1@i.ua

RESEARCH ON THERMAL CONDUCTIVITY OF WEAR-RESISTANT COATINGS OF CUTTING TOOLS FOR PROCESSING POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Abstract. The thermal conductivity of wear-resistant coatings of cutting tools during processing of polymer composite materials was analyzed.

Keywords: Wear-resistant coating, cutting tool (CUT), cutting process, discrete coatings, composite materials (CM), polymer composite materials (PCM), coatings of discrete structure.

Petrov Oleksandr - PhD student, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Korbut Ievgen - PhD, Associate Professor, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

EFFECT OF PLASTIC DEFORMATION THE METAL FOR ELECTRODE ON ELECTRIC ARC

Дніпровський державний технічний університет

Abstract

The paper presents the results of an experimental study to determine the effect of the degree of plastic deformation of the low-carbon steel electrode wire (0.23% carbon) on the burning of an electric arc. Before testing, the wire samples were compressed to different degrees of deformation. During the study, the effect of the dispersion of the dislocation cellular structure of cold-deformed steel on the process of burning an electric arc was determined and the effect of the ferrite grain size was estimated. It was found that for an electrode made of low-carbon steel, the effect of resistance to the process of burning an electric arc from the side of ferrite grain boundaries with large misorientation angles exaggerates the effect of sub- and grain boundaries. The state of a solid solution acquires the effect of the presence of an additive contribution in the structure of steel sub- and grain boundaries.

Keywords: welding wire, electric arc, low carbon steel, cold plastic deformation, substructure, ferrite, grain size

When using electric arc welding technologies, one of the parameters that directly affects the quality of the welded joint is the stability of the electric arc burning. Traditionally, this property is improved by adding components with low ionization potential to the electrode coating (flux) [1, 2]. On the other hand, the burning of the welding arc can be affected by the state of the metal wire, which undergoes a certain degree of plastic deformation and, as a result, changes its initial properties [3, 4], including electrical conductivity. Therefore, the purpose of the research was to determine the influence of the degree of plastic deformation of the electrode wire from low-carbon steel on the burning of the electric arc.

Methodology

A wire from low-carbon steel with a carbon content of 0.23 % was used as the electrode. For uniform distribution of cementite particles in the ferrite matrix, steel was heated to a temperature above Ac₃, quenched in water and subjected to tempering at a temperature of 650 °C for 1 hour.

Electrodes for research were obtained by plastic deformation blanks at room temperature to different degrees of deformation. The initial diameter of the blank was selected in such a way that after deformation by the required value, the electrode for research had same final diameter (1 mm). One part of the electrodes was used to study influence to dispersed cell structure of dislocation of cold-deformed steel on the process of electric arc combustion, the second part to assess influence of the ferrite grain size. Different grain sizes were obtained by annealing at a temperature of 650 °C, deformed wire at different degrees of deformation.

The study structure of the steel after annealing was carried out under a light microscope, and after cold deformation - under a transmission electron microscope (UEMV-100K). The size of the ferrite grain and dislocation cells was determined by quantitative metallography methods. The study of the electric arc combustion process was carried out under conditions direct electric current, direct and reverse polarity, using a PSG-500 converter.

Results

Formally, by analyzing process of burning an electric arc, it was determined that, regardless of its polarity, an increase at degree deformation of the metal is accompanied by an increase at magnitude of the electric current.

Moreover, the above-mentioned nature of the influence is preserved for the steel of electrode after annealing. Along with a qualitatively identical nature influence of sub- and microstructural elements of the steel on the process of burning an arc, there are some differences. They are that in comparison

with a monotonic inversely proportional relationship between the current strength and size of the ferrite grain, an extremum is formed on the dependence for deformed steel. The need to determine the mechanism influence of the steel structure prompted used of the relationship between the current magnitude and the surface tension force during formation a drop of liquid metal.

According analysis of the constructed correlations the electric current strength from a grain size of the ferrite and diameter to cells of dislocation, different resistance to arc burning was determined off subboundaries of the plastically deformed steel and boundaries of the ferrite grain after its annealing. It is necessary to take into account that grain boundaries formed by the mechanism of their movement during development processes of collective recrystallization have a large disorientation angles. As a result, their presence at steel structure should contribute to a greater extent to an increase in current strength during arc burning compared to the substructure.

Indeed, when a cell structure of dislocation is formed in plastically deformed steel, subboundaries arise, have small disorientation angles and to a lesser extent contribute to an increase in the arc current strength. Moreover, when extrapolating dependence of the electric current magnitude on the size of the grain or sub grain to an infinitely large size (similar to a single crystal), influence of the solid solution state was determined. The above position is confirmed by the dependence state of the solid solution (ferrite) on the method of forming a steel structure: cold plastic deformation or recrystallization annealing.

Thus, to conducted studies determined that for electrode of the low-carbon steel, resistance to the electric arc burning process from the side of ferrite grain boundaries with a large disorientation angles more significantly compared to the influence of sub-boundaries. In addition, influence magnitude of the electric current from the presence of sub- and grain boundaries at steel structure, the solid solution state makes an additional additive contribution.

REFERENCES

1. Vakulenko I.O., Plitchenko S.O., Makarevich D. M. (2014). Influence of chemical compounds on the forming of welding arc, *Science and Transport Progress*, 5(53), 92–100. <https://doi.org/10.15802/stp2014/30824>
2. Murphy A. B. (2015). A perspective on arc welding research: the importance of the arc, unresolved questions and future directions, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 35, 471-489. <https://doi.org/10.1007/s11090-015-9620-2>
3. Vakulenko I.O., Plitchenko S.O. (2024). Influence of hot plastic deformation on properties of the carbon steel, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 45–51. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-2/045>
4. Wei D., Min X., Hu X., Xie Z., Fang F. (2020). Microstructure and mechanical properties of cold drawn pearlitic steel wires: effects of drawing-induced heating, *Mater Sci Eng, A*, 784, 139341. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139341>

Vakulenko Ihor Oleksiiovych, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Condensed State Physics, Dniprovsky State Technical University, Kamianske, vakulenko_igor@ukr.net.

Plitchenko Serhii Oleksandrovych, Candidate of technical sciences, Docent of the Department of Machine-building technologies and engineering, Dniprovsky State Technical University, Kamianske, plit4enko@ukr.net.

Kalinina Tetyana Volodymyrivna, Candidate of technical sciences, Docent, Head of the Department of Condensed State Physics, Dniprovsky State Technical University, Kamianske, kalinina_tv@ukr.net.

ЕФЕКТ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ МЕТАЛУ ЕЛЕКТРОДУ НА ЕЛЕКТРИЧНУ ДУГУ

Анотація

У роботі представлено результати експериментального дослідження з визначення впливу ступеня пластичної деформації дроту електроду з низьковуглецевої сталі (0,23 % вуглецю) на горіння електричної дуги. Перед випробуванням зразки дроту обтискували на різні ступені деформації. Під час дослідження визначали вплив дисперсності дислокаційної чарункової структури холодно деформованої сталі на процес горіння електричної дуги й оцінювали вплив розміру зерна фериту. Встановлено, що для електроду з низьковуглецевої сталі, ефект опору процесу горіння електричної дуги з боку меж зерен фериту з великими кутами розорієнтації перебільшує вплив субмеж. До впливу від присутності в структурі сталі суб – і меж зерен адитивного внеску набуває стан твердого розчину.

Ключові слова: зварювальний дріт, електрична дуга, низьковуглецева сталь, холодна пластична деформація, субструктура, ферит, розмір зерна

Вакуленко Ігор Олексійович, доктор технічних наук, професор кафедри фізики конденсованого стану, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, vakulenko_igor@ukr.net.

Плітченко Сергій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри машинобудівних технологій та інженерії, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, plit4enko@ukr.net.

Калініна Тетяна Володимирівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент, зав. кафедри фізики конденсованого стану, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, kalinina_tv@ukr.net.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СВЕРДЛІННЯ ІНСТРУМЕНТОМ З ПОКРИТТЯМ ДИСКРЕТНОЇ СТРУКТУРИ

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

²Київський національний університет будівництва і архітектури

Анотація. Процес свердління в залежності від режимів різання та архітектури покриття, нанесеного методом електроіскрового легування (ЕІЛ) відноситься до задач управління процесом свердління, яка найефективніше вирішується методом математичного моделювання за експериментальними даними. Її рішення зводиться до відшукування за експериментальними даними функцій (моделей), які пов'язують вхідні параметри з досліджуваними вихідними параметрами процесу. При такій постановці ця задача відноситься до задач регресійного аналізу. Проте, застосування регресійного аналізу в якості метода математичного моделювання з невідомою структурою і широкою зміною вхідних параметрів призводить до неадекватних моделей. У зв'язку з цим для моделювання процесу свердління інструментом з покриттям глобулярної структури в дослідженнях був застосований метод, заснований на евристичній самоорганізації.

Ключові слова: процес різання, метод групового врахування аргументів, полімерні композиційні матеріали, покриття дискретного типу, сили різання.

Ефективність процесу свердління полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) залежить від можливості оптимального керування ним. Застосування моделювання дозволяє описувати процес свердління ПКМ і відкриває широкі можливості оптимального управління ним.

Із багаточисельних алгоритмів МГВА в найбільшій мірі задовольняють вимогам одержання моделей процесів різання алгоритми побудови мультипликативних моделей [1], до яких відносяться узагальнені алгоритми.

Накопичений досвід науки різання металів дозволяє припустити, що клас мультипликативних моделей більш повно описує закони процесу різання. Це припущення підтверджене досвідом побудови моделей накопиченим НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» з використанням модифікованого спрощеного алгоритму МГВА [2].

Перевагами алгоритму в порівнянні з іншими алгоритмами цього класу є:

- наявність можливостей розширення вектору вихідних даних, що призводять до одержання більш точного математичного опису;
- наявність апарату усунення колінеарності - прийому ортогоналізації.

В якості критерія селекції моделі в даному алгоритмі використовується критерій мінімуму зміщення:

$$n_{зм}^2 = \frac{1}{n} \sum_{j \in N} (y_j' - y'')^2 \rightarrow \min$$

Це дозволяє вирішувати задачу відновлення закону, прихованого в зашумлених експериментальних даних.

З метою використання цього алгоритму для моделювання процесів різання від опорних функцій був вибраний та розширений з врахуванням тих, що використовуються в різанні металів.

В основу алгоритму, що використовується для моделювання процесу свердління ВПКМ інструментом з покриттям дискретного типу глобулярної структури покладений модифікований

спрощений алгоритм МГВА. В даному алгоритмі передбачено розширення простору кожної змінної наступними узагальненими:

$$\frac{1}{\bar{X}}; \sqrt{\bar{X}}; \frac{1}{\sqrt{\bar{X}}}; \ln \bar{X}; \frac{1}{\ln \bar{X}}$$

В алгоритмі для моделювання зазначеного процесу простір розширений тільки за рахунок однієї узагальненої змінної - $\ln \bar{X}$.

Таким чином математична модель процесу свердління ВПКМ інструментом із ШР сталі з покриттям глобулярної структури, нанесення способом ЕІЛ встановлює функціональний зв'язок в просторі \bar{X} , $\ln \bar{X}$ між значеннями товщини, що були виміряні покриття h , швидкості різання V , подачі S_0 та осьовою силою P_0 і шорсткістю поверхні R_a .

Встановлення зв'язку здійснюється за експериментальними даними, зведеними в таблицю (інформаційну матрицю). Отримання експериментальних даних здійснюється в наступні етапи:

- вибір границь змінних;
- побудова статичного плану експериментів;
- реалізація плану експериментів.

Похибка апроксимації на всій послідовності експериментальних даних в першу чергу залежить як від параметру (y) досліджуваного процесу (стійкість, сили різання, якість обробленої поверхні, температура і т.д.), так і від стану обладнання, вимірювальних приладів, методики вимірювання тещо. Тому в модифікованому спрощеному алгоритмі задається більша кількість рядів селекції. Це дозволяє більш точно врахувати вплив зазначених чинників на вибір оптимальної структури.

Із теорії різання відомо, що визначення параметрів процесу різання описується степеневими залежностями, які в логарифмічному просторі зв'язок між параметрами і досліджуваними змінними режиму різання перетворюють в лінійний [3, 4, 5]. Тому, як показав досвід при використанні модифікованого спрощеного алгоритму з розширення простору узагальнених змінних число рядів не перевищує п'яти. Це дає змогу при моделюванні процесу різання зменшити число рядів селекції до п'яти, що значно скорочує час на розрахунки для отримання оптимальної структури моделі.

Багаторічний досвід використання модифікованого спрощено алгоритму для моделювання різних процесів різання та виробничий на базі експериментальних даних згідно плану показує, що похибка апроксимацій, досліджуваних параметрів різання залежить від умов, в яких проводять експерименти. Так, наприклад, при вимірюванні сил різання різних видів обробка похибка апроксимації не перевищує 15%, а стійкості 30%.

Цим викликана необхідність в виробничих умовах проводити серію додаткових випробувань для визначення похибки апроксимації в умовах даного виробництва.

Наведені значення максимально допустимої похибки апроксимації при визначенні моделей сил різання та стійкості являють собою результат їх дослідження для різних видів різання. За цими значеннями можна оцінювати якість проведення спостережень (пасивний експеримент), які можуть бути використані для побудові моделей.

Таким чином, для одержання моделей процесу свердління ВПКМ був використаний модернізований спрощений алгоритм МГВА, модернізація якого полягала в зменшенні рядів селекції до п'яти замість десяти.

Крім того в процесі селекції «часткових» моделей із ряду в ряд на кожному визначається і оцінка точності цих моделей за похибкою апроксимацій на всій послідовності експериментальних даних. При перевищенні на п'ятому ряду вказаних значень похибки апроксимації проводяться аналіз причин і після їх усунення вимірювання відновлюються.

В цьому випадку задана похибка апроксимації відіграє роль перевірки умов проведення експериментів.

Побудови моделей за алгоритмом МГВА базується на експериментальних даних, які зведені в інформаційну матрицю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Равська, Н. С. (1991). *Розробка прогресивних різальних інструментів на основі моделювання їх роботи методом самоорганізації*: дис. ... д-ра техн. наук. Київ, 372 с.
2. Luenberger, D. G., & Ye, Y. (2021). *Linear and Nonlinear Programming* (5th ed.). Springer.

3. Ковальова, Л. І., Дюбнер, Л. Г., Скринник, П. В. (2004). Основні положення алгоритму для моделювання процесу різання з урахуванням фізичних явищ, що його супроводжують. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем* (ДДМА), № 15, С. 241–246.
4. Равська, Н. С., Клочко, А. А., Заковоротний, А. Ю., Корбут, С. В., Родін, Р. П. (2020). Нейронні мережі, що враховують фізичні явища, які супроводжують процес різання. *Mechanics and Advanced Technologies*, № 2 (89), С. 155–162.
5. Джиммі, У. К. (2016). Штучні нейронні мережі управління технологічними процесами. Частина 1. *Control Engineering*, № 3 (63), С. 62–66.

Корбут Євген Валентинович

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», м. Київ, korbut113@gmail.com

Парненко Валерія Сергіївна

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», м. Київ, v.parnenko@kpi.ua

Ніколаєнко Тетяна Петрівна

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ,
tatyana.rodina@gmail.com

MODELING OF THE DRILLING PROCESS USING A TOOL WITH A DISCRETE STRUCTURE COATING

Abstract. *The drilling process, depending on the cutting modes and the architecture of the coating applied by the Electro-Spark Alloying (ESA) method, falls under the category of drilling process control tasks. These are most effectively solved through mathematical modeling based on experimental data. The solution involves identifying functions (models) that link the input parameters with the investigated output parameters of the process. In this formulation, the task pertains to regression analysis. However, using regression analysis as a mathematical modeling method with an unknown structure and a wide range of input parameter variations often leads to inadequate models. Therefore, a method based on heuristic self-organization was employed in the study to model the drilling process using a tool with a globular-structure coating.*

Keywords: cutting process, group method of data handling (GMDH), polymer composite materials, discrete-type coating, cutting forces.

Yevhen Valentynovych Korbut

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Machine Design
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv
korbut113@gmail.com

Valeriia Serhiivna Parnenko

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Machine Design
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv
v.parnenko@kpi.ua

Tetyana Petrivna Nikolenko

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv
tatyana.rodina@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ПОРИСТИХ МЕТАМАТЕРІАЛІВ ЗА ПРИНЦИПАМИ ВОРОНОГО-ДЕЛОНЕ

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України,

²Вінницький національний технічний університет

Анотація

Робота присвячена моделюванню пористих метаматеріалів із застосуванням принципів Вороного-Делоне. Розглянуто алгоритм інверсного проектування, що дозволяє мінімізувати об'ємну вагу (ОВ) матеріалу, оптимізуючи його внутрішню структуру. Описано послідовність комп'ютерного моделювання та адитивного виготовлення тривимірних виробів із пористою структурою.

Ключові слова: пористі метаматеріали, адитивне виробництво, мінімальна поверхня, Вороного-Делоне, скелетний граф, 3D-друк, цифрове моделювання.

У 2020-х роках з'явився новий клас матеріалів – метаматеріали, які не існують у природі, але демонструють виняткові властивості. Їх характеристики визначаються не хімічним складом, топологічно-геометричними параметрами внутрішньої структури. Одним із ключових методів створення таких штучних матеріалів став 3D-друк, що забезпечує перетворення цифрової моделі у фізичну конструкцію (digital-to-physical conversion). Особливе значення має об'ємна вага (ОВ, bulk density), яка визначає механічні властивості пористих структур метаматеріалу. Навіть пінополістирол (ППС), розроблений у США в 1941 році, може бути класифікований як метаматеріал, оскільки його механічні характеристики залежать не лише від складу, а й від внутрішньої структури.

Компанія Spherene Inc. (Швейцарія, CEO С. Waldvogel) розробила нову геометрію метаматеріалу, натхненну коралоподібними природними структурами. Вона базується на принципах Вороного-Делоне та мінімальних поверхнях, що дозволяють мінімізувати ОВ матеріалу [1]. Для цього компанія використала інверсні сфери, які отримали назву сферени («spherenes») [2]. Ця структура забезпечує оптимальний розподіл матеріалу, зменшуючи масу без втрати механічної міцності. Такий підхід дозволив створювати адаптивні пористі метаматеріали, що поєднують легкість, міцність та ефективність використання ресурсу.

В описі [1] показано послідовність адитивного комп'ютерного моделювання та 3D-виготовлення тривимірного виробу з пористою структурою (з мінімальною поверхнею) із застосуванням геометричних принципів Вороного-Делоне.

1) Комп'ютер реєструє обриси зовнішньої поверхні виробу, формуючи так званий «конверт» (зовнішню межу моделі).

2) Генерується поле об'ємної ваги (ОВ) по всьому об'єму виробу відповідно до заданих дизайнером числових значень ОВ, що відповідають локальним вимогам до фізичних параметрів.

3) Виконується адаптивна теселяція Вороного: об'єм виробу розбивається на багатогранники (мозаїку), використовуючи поле ОВ.

4) Генерується перший скелетний граф, пов'язаний з адаптивною теселяцією Вороного.

5) Виконується тетрадризація Делоне, формуючи другий скелетний граф, пов'язаний із першим.

6) Генерується цифрова модель мінімальної поверхні на основі скелетних графів і зберігається у CAD-форматі.

7) 3D-принтер здійснює адитивне виготовлення тривимірного виробу з мінімальною поверхнею пористої структури виробу відповідно до цифрової моделі.

Комп'ютер у процесі моделювання аналізує скелетні графи та коригує їх геометрію, чим забезпечує те, що стінки пористої серцевини з мінімальною поверхнею гарантовано перпендикулярно стикаються із зовнішньою оболонкою тривимірного виробу. Цим досягається ідеальний розподіл навантаження та зниження ризику локальних деформацій у конструкції.

На рис. 1 показано приклади металевих та полімерних (світлого кольору) друківаних виробів зі сференовою структурою, а також схема відмінності гіроїдної і сференової структур [3].

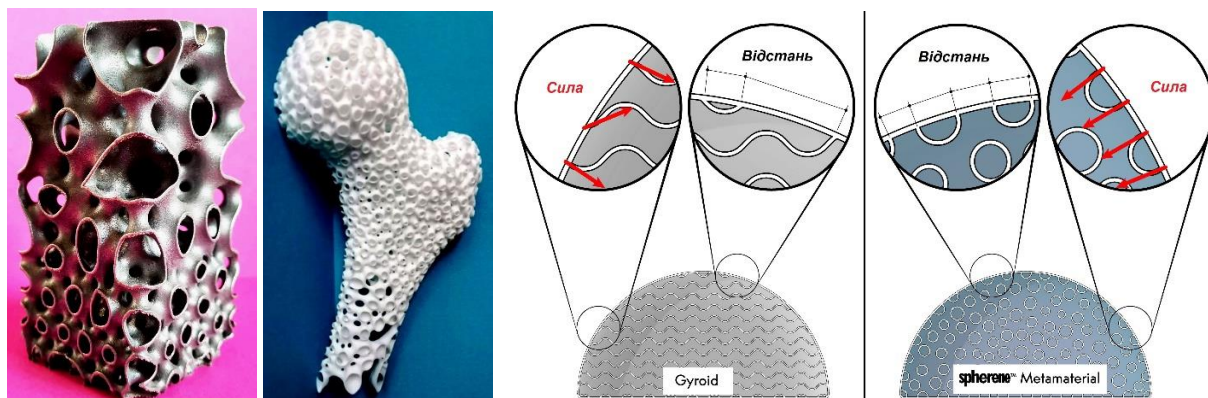


Рисунок 1 – Металевий та полімерний друківаних вироби зі сференовою структурою, а також схема відмінності гіроїдної і сференової структури при впливі силового навантаження на поверхню друківаного виробу

Розробники сференового пористого метаматеріалу не передбачали його застосування для ливарного виробництва, зокрема для разових полімерних моделей, що газифікуються (метод ЛГМ, Lost Foam process). Проте в інституті ФТІМС НАН України запропоновано друківання таких моделей з регульованою пористістю [4]. При чому ця пористість може бути з відкритими порами, тобто – транзитною. На відміну від традиційних для ЛГМ моделей із ППС, в яких пористість закрита, бо ППС має структуру печених гранул з полістиролу. Останнє дозволяє застосувати вентиляцію ливарних моделей (видалення газів) при їх газифікації в ливарній формі.

Дослідження виконано згідно з договором 226 (166/24) від 22.02.2024 про наукове співробітництво між ФТІМС НАН України та ВНТУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент WO2020229692A1. Method of additively manufacturing a minimal surface structure. МПК В29С64/386 / Spherene Inc. – 2020.
2. Spherene Inc. Офіційний сайт компанії. [Електронний ресурс]. URL: <https://spherene.ch/>.
3. Kety S. The potential of metamaterials for (medical) Additive Manufacturing. 3D ADEPT Mag. March – April 2024. <https://3ddept.com/the-potential-of-metamaterials-for-medical-additive-manufacturing/>.
4. Бродовий О.В., Дорошенко В.С., Янченко О.Б. 3D-проекування пористих ливарних моделей в програмі Rhinoceros 8. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2024. № 1. С. 119-126. <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2024-59-1-119-126>.

Дорошенко Володимир Степанович, доктор техн. наук, пров. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, doro55v@gmail.com.

Янченко Олександр Борисович, канд. техн. наук, доц., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 1961yab@gmail.com

Modeling porous metamaterials using the Voronoi-Delaunay principle

Abstract

The work is devoted to modeling porous metamaterials using Voronoi-Delaunay principles. An inverse design algorithm is considered, which allows minimizing the bulk density (BW) of the material by optimizing its internal structure. The sequence of computer modeling and additive manufacturing of three-dimensional products with a porous structure is described.

Keywords: porous metamaterials, additive manufacturing, minimal surface, Voronoi-Delaunay, skeletal graph, 3D printing, digital modeling.

Doroshenko Volodymyr Stepanovych, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading Researcher, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, doro55v@gmail.com.

Yanchenko Oleksandr Borisovych, PhD (Engin.), Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 1961yab@gmail.com.

МЕХАНІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ FDM ВИРОБІВ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО НАНЕСЕННЯ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ

¹Державний університет «Житомирська політехніка»

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

Розглянуто питання підвищення якості поверхні виробів, виготовлених методом FDM-друку, з метою подальшого формування гальванічних покриттів. Обґрунтовано необхідність механічної обробки поверхні для досягнення достатньої шорсткості та точності, необхідних для нанесення функціонально орієнтованих покриттів. Запропоновано врахування гетерогенної та порожнистої структури FDM-матеріалів при виборі методів лезової обробки. Визначено, що оброблення адитивних виробів має свої особливості, пов'язані з розподілом навантажень між шарами та волокнами, а також із структурною неоднорідністю. Окреслено перспективи подальших досліджень впливу мікрodefектів поверхні на механічні характеристики виробів після нанесення покриття.

Ключові слова: FDM, адитивне виробництво, поверхнева обробка, шорсткість

Адитивне виробництво стало одним із поширених рішень у різних галузях промисловості завдяки можливості відтворення виробів складної геометрії [1]. У той же час є ряд обмежень, що стримують використання деталей: значно менша в порівнянні із компактними матеріалами механічна міцності, обмежена теплова стійкість, особливості структурного та мікрогеометричного стану поверхні, який, зазвичай, далекий від необхідного рівня точності та шорсткості.

Одним з прийомів розширення сфер застосування виробів, отриманих адитивними процесами, зокрема, FDM, є формування функціонально орієнтованих покриттів на поверхні виробу [2]. Проте в цьому випадку досить гостро постає питання якості поверхні адитивного виробу, що є основним критерієм при прогнозуванні результатів процесу формування покриття.

Відомо, що на якість поверхні впливають: режими друку, властивості філаменту, топологія виробу (підтримки), спосіб його відтворення (орієнтація при виготовленні).

Метою роботи є визначення необхідних параметрів поверхні адитивного виробу після механічного оброблення для подальшого формування функціонально орієнтованого покриття з розробкою відповідних рекомендацій.

Якість поверхні є одним з факторів що впливає на корозостійкість, механічні властивості та зносостійкість [3]. Для відтворення деталей із полімерних мас ці питання не є актуальними, однак проблема інженерного використання деталей, отриманих, наприклад, FDM, полягає в необхідності забезпечення максимальної межі міцності, тривалої міцності, щільності виробу, тобто його спроможності сприймати тривале термобаричне навантаження. Оптимізація режимів друку, таких як швидкість, температура і товщина шару, сприяє підвищенню якості поверхні, але має природні обмеження викликані принципом пошарового друку. Для покращення якості поверхні та функціональних властивостей 3D-друкованих виробів необхідним є фінішне механічне оброблення поверхонь (постоброблення).

Аналіз мікроструктур адитивного виробу (Рис.1) показує гетерогенну природу матеріалу, наявність значної кількості порожнин, неоднорідність площинок адгезивного зчеплення, і, як результат складність досягнення однорідної шорсткості поверхні та стабільності вихідних властивостей виробу [4].

Процес лезвийної обробки має складу природу, обумовлену не тільки матеріалами, використовуваними при друці, а й структурою виробу, його схильністю до непередбачуваної поведінки від дії різального клина.

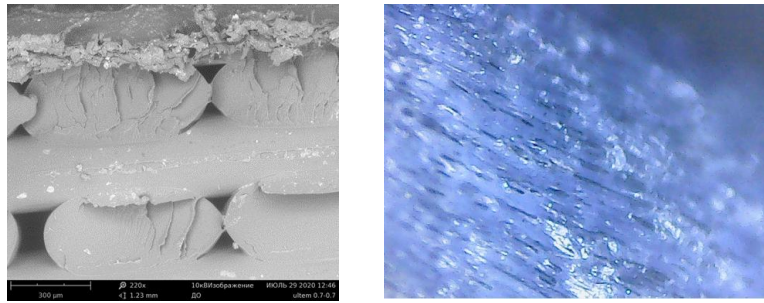


Рисунок 1 – Структура виробу із неармованого (а) та армованого матеріалу, створеного FDM

Для встановлення НДС при механічному обробленні та з метою визначення місць утворення можливих дефектів виконали моделювання поведінки матеріалу в квазістатичних умовах, обравши модель Джонсона-Кука [5] для опису поведінки тіл – аморфних полімерів:

$$\bar{\sigma} = (\bar{\varepsilon}^p, \dot{\bar{\varepsilon}}^p, T) = A + B (\bar{\varepsilon}^p)^n \left[1 + C \ln \frac{\dot{\bar{\varepsilon}}^p}{\dot{\bar{\varepsilon}}_0^p} \right]^{1-\Theta^m}, \quad \Theta = \frac{T - T_0}{T - T_m}$$

де $\bar{\varepsilon}^p$ – деформаційне зміцнення, $\dot{\bar{\varepsilon}}^p$ – чутливість до швидкості деформації, A і B – константи матеріалу, n – показник деформаційного зміцнення, C – параметр чутливості до швидкості деформації, m – температурна чутливість, T_0 – початкова температура, T_m – температура плавлення.

Неоднорідна порожниста структура адитивного матеріалу обумовлює перерозподіл навантажень між компонентами викладання (рис.2), що свідчить про появу дефектів поза межами безпосереднього силового впливу.

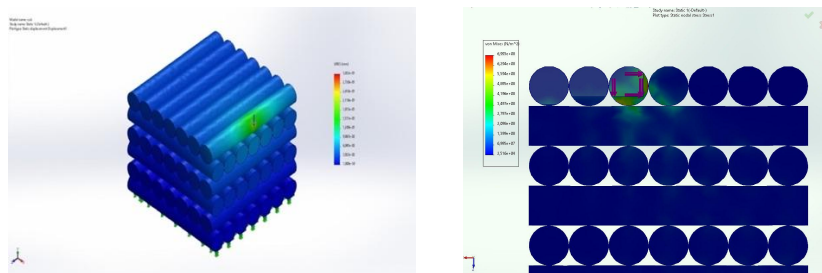


Рисунок 2 – Розподіл навантажень між елементами структури адитивного виробу

На основі виконаних розрахунків було встановлено місця виникнення розривів і відшарувань ниток у вертикальній та горизонтальній площинах, та визначено товщину осадження покриття, яке гарантовано має перекрити такі дефекти.

Осаджене покриття перевіряли на щільність встановленням зразків у вакуумну камеру з контролем рівня натікання повітря крізь виріб за певний час.

На основі результатів досліджень зроблено висновки щодо призначення режимів постоброблення: обробку слід виконувати різальним інструментом із загостреним клином кути $\alpha = 5 \dots 12^\circ$, $\gamma = 10 \dots 15^\circ$, $\varphi = 30 \dots 45^\circ$. Використання гострозаточених інструментів дозволяє отримувати досить високу якість поверхневого шару на матеріалі PLA: $R_a = 3,0 \dots 3,6$ мкм, $R_z = 20 \dots 40$ мкм. При цьому забезпечення функціональних властивостей виробу можливе при мінімальній товщині осадженого шару металу на рівні $0,2 \dots 0,25$ мм

Подальші дослідження необхідні, щоб визначити, як методи обробки поверхні впливають на мікро- і нанотріщини, впливаючи на механічні властивості, такі як міцність на розрив і втомлюваність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. J. M and V. B. K. M, "An Overview of Extensive Analysis of 3D Printing Applications in the Manufacturing Sector," Journal of Engineering, 2023/12// 2023.
2. G. Thompson and M. J. Mahtabi, "Advancing Manufacturing Efficiency: Electroplating Nickel onto 3D-Printed Polymer," in Solid Freeform Fabrication 2024, 2024, pp. 648–657.
3. J. L. Davila, M. S. de Freitas, P. Inforçatti Neto, Z. d. C. Silveira, J. V. L. da Silva, M. A. d'Avila, ' J. Appl. Polym. Sci. 2016, 133, e43031.
4. Yan, Y.; Mao, Y.; Li, B.; Zhou, P. Machinability of the Thermoplastic Polymers: PEEK, PI, and PMMA. Polymers 2020, 13, 69.

5. Garcia-Gonzalez, D.; Rusinek, A.; Jankowiak, T.; Arias, A. Mechanical impact behavior of polyether–ether–ketone (PEEK). *Compos. Struct.* 2015, 124, 88–99.

Орел Вадим Миколайович, к.т.н., докторан Державного університету «Житомирська політехніка», м. Житомир, deoxis24@gmail.com

Саленко Олександр Федорович д.т.н., проф., професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, salenko2006@gmail.com

Мельничук Петро Петрович, д.т.н., проф., професор Державного університету «Житомирська політехніка», м. Житомир, melnichukpp1952@ztu.edu.ua

MACHINING OF FDM PRODUCTS FOR FURTHER GALVANIC COATING

Abstracts.

The article deals with the issue of improving the surface quality of products manufactured by FDM printing for the purpose of further formation of galvanic coatings. The necessity of surface machining to achieve sufficient roughness and accuracy required for the application of functionally oriented coatings is substantiated. It is proposed to take into account the heterogeneous and hollow structure of FDM materials when choosing methods of blade processing. It is determined that the processing of additive products has its own characteristics associated with the distribution of loads between layers and fibers, as well as with structural heterogeneity. Prospects for further research on the influence of surface microdefects on the mechanical characteristics of products after coating are outlined.

Keywords: FDM, additive manufacturing, surface treatment, roughness.

Orel Vadym, PhD, Doctoral Candidate, State University “Zhytomyr Polytechnic”, Zhytomyr, deoxis24@gmail.com

Salenko Oleksandr, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, salenko2006@gmail.com

Melnichuk Petro, Doctor of Technical Sciences, Professor, State University “Zhytomyr Polytechnic”, Zhytomyr, melnichukpp1952@ztu.edu.ua

ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ЗУБНИХ ІМПЛАНТАТІВ В КОНТЕКСТІ ЇХ СУМІСНОСТІ З ОРГАНІЗМОМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджується проблема взаємодії імплантатів, які застосовуються для реставрації дефектів зубних щелеп та зубів з точки зору їх впливу на виникнення алергічних реакцій, розвиток патогенних організмів та їх адгезії на матеріалах імплантатів. Серйозною проблемою такої операції є виникнення та розвиток переімплантиту. Несумісність матеріалів імплантатів з кісткою не дозволяє успішно відбутися остеоінтеграції. Вказані та ще не досліджені види взаємодії в ротовій порожнині впливають на досягнення позитивного результату. Очевидно, що необхідно застосовувати системний підхід до розв'язання цього питання щодо технологій та необхідних матеріалів на етапах підготовки, встановлення та забезпечення успішного заживлення.

Ключові слова: зубні імплантати, матеріали, мікроорганізми ротової порожнини, переімплантиту, критерії вибору.

Аналіз статистичних даних ВОЗ показує, що у приблизно третини населення землі у віці до 35 років мають дефекти твердих тканин зубів і зубних рядів та мають потреби у встановленні імплантатів, у населення віком 40-55 років цей відсоток складає біля 50%, а після 56 років – приблизно 94% [1]. Усунення дефектів зубних рядів необхідне для 70-80% стоматологічних пацієнтів. У практиці стоматології встановилася точка зору, що лікування є успішним якщо 95% імплантатів не викликають проблем у пацієнтів та лікарів протягом 5 років і 85% – протягом 10 років. За спостереженнями дослідників, серед причин заміни металокерамічних зубних протезів після 1-12 років використання переважають порушення фіксації, вторинний карієс, пошкодження опорних зубів та навкол зубних тканин, що потребують додаткового лікування, ніж дефекти самої зубопротезної конструкції [2].

Пошук шляхів оптимізації стоматологічної ортопедичної допомоги має велике значення через велику кількість та серйозність існуючих патологій, які виявляються у 3,0-10,67% випадків. Стоматологи-ортопеди повинні активно працювати над виявленням факторів, що призводять до ускладнень, та розробляти методики їх запобігання [3]. Дефекти твердих тканин зубів (ДТТЗ) та зубних рядів (ДЗР) залишаються найпоширенішою проблемою зубо-щелепної системи, і їх заміщення залишається актуальною задачею стоматології [4].

Найпоширенішою проблемою в області зубо-щелепної системи є дефекти твердих тканин зубів і зубних рядів. Однією з проблем, пов'язаних з заміщенням дефектів зубних рядів, є часта потреба у видаленні вже встановлених ортопедичних конструкцій, особливо якщо це є наслідком відділення підтримуючих фрагментів. Передчасне розцементування незнімних зубних протезів часто вважається одним із найпоширеніших ускладнень у стоматологічній практиці. Його виникнення, переважно, пов'язане з несумісністю між протезним ложем та самою конструкцією, особливо на ділянках зуба біля шийки. Питання щодо того, наскільки функціональні та естетичні конструкції незнімних зубних протезів є життєздатними, і які клінічні та лабораторні методи можуть гарантувати їх тривалий термін використання, залишаються актуальними [4].

Важливу роль відіграє сумісність матеріалів зубних конструкцій імплантатів з організмом людини та ротової порожнини. Алергічні реакції, сприяння розвитку патогенних організмів та грибків, органічних плівок на твердих конструкціях, остеоінтеграція імплантатів з кістковою тканиною та багато інших проблем потребують індивідуального розв'язання для кожного пацієнта.

Часто ці та інші супутні проблеми мають різну пріоритетність у розв'язанні або є антагоністичними. Виникла потреба у створенні алгоритмів вибору матеріалів для виготовлення конструкцій зубних імплантатів та постановки завдань розробки нових матеріалів для цих потреб. Для розв'язання цього питання потрібна робота низки медичних та технічних спеціалістів, що дозволить сформулювати та систематизувати критерії якості імплантатів та використовуваних для них матеріалів [5]. Важливо, на наш погляд, є встановлення взаємозалежності між використаними матеріалами, конструкціями та алергічними реакціями, утворенням біоплівки на твердих частинах зубопротезних

конструкцій, їх відмиранням та створенням своєї зони, яка сприяє втраті адгезійного зв'язку та утворення пазух для розвитку патогенних організмів [6 – 9].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузнецов Р.В., Янішен І.В., Бережна О.О. Фактори, що визначають якість ортопедичних конструкцій: аналіз взаємозв'язків. Вісник проблем біології і медицини. 2016. No 2(1(128)).
2. Hill, E.E., Lott, J. A clinically focused discussion of luting materials. Dent J. 2011. No 56(1). P. 67-76. DOI: 10.1111/j.1834-7819.2010.01297.x. PMID: 21564117.
3. Кузнецов Р.В., Янішен І.В. Прогнозування зниження якості незнімних конструкцій зубних протезів на етапах клінічної експлуатації. Вісник проблем біології і медицини. 2016. No 2(1(128)).
4. Германчук С.М. Зміни фізико-хімічних властивостей емалі та дентину девітальних зубів людини, покритих штампованими коронками. Актуальні проблеми сучасної медицини. 2012. No 15(3(51)).
5. Кузнецов Р.В., Янішен І.В., Бережна О.О. Фактори, що визначають якість ортопедичних конструкцій: аналіз взаємозв'язків. Вісник проблем біології і медицини. 2016. No 2(1(128)).
6. Lasserre, J. F., Vreux, M. C., & Toma, S. (2018). Мікроби порожнини рота, біоплівки та їх роль у захворюваннях пародонта та перімплантатів. Матеріали (Базель, Швейцарія), 11(10), 1802. <https://doi.org/10.3390/ma11101802>
7. Wang, D., Naarasalo, M., Gao, Y., Ma, J., & Shen, Y. (2018). Antibiofilm peptides against biofilms on titanium and hydroxyapatite surfaces. Bioactive materials, 3(4), 418–425. <https://doi.org/10.1016/j.bio-actmat.2018.06.002>
8. Motisuki, C., Lima, L. M., Spolidorio, D. M., & Santos-Pinto, L. (2005). Influence of sample type and collection method on Streptococcus mutans and Lacto-bacillus spp. counts in the oral cavity. Archives of oral biology, 50(3), 341–345. <https://doi.org/10.1016/j.archo-ralbio.2004.08.007>
9. Alves, C. H., Russi, K. L., Rocha, N. C., Bastos, F., Darieux, M., Parisotto, T. M., & Girardello, R. (2022). Host-microbiome interactions regarding periimplantitis and dental implant loss. Journal of translational medicine, 20(1), 425. <https://doi.org/10.1186/s12967-022-03636-9>

Савуляк Валерій Іванович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: korsav84@gmail.com.

Вітавський Максим Олександрович Васильович — аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vit24asp.gmail.com.

Ружицький Сергій Валерійович — здобувач групи ІЗВ-24 факультету машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: serg.rurhytskyu@gmail.ua.

CHOICE OF DENTAL IMPLANT MATERIALS IN THE CONTEXT OF THEIR COMPATIBILITY WITH THE ORGANISM

Abstract. The paper investigates the problem of interaction of implants used for restoration of defects of dental jaws and teeth from the point of view of their influence on the occurrence of allergic reactions, the development of pathogenic organisms and their adhesion to implant materials. A serious problem of such an operation is the occurrence and development of peri-implantitis. The incompatibility of implant materials with bone does not allow for successful osseointegration. The indicated and not yet studied types of interaction in the oral cavity affect the achievement of a positive result. It is obvious that it is necessary to apply a systematic approach to solving this issue regarding technologies and necessary materials at the stages of preparation, installation and ensuring successful healing.

Keywords: dental implants, materials, oral microorganisms, peri-implantitis, selection criteria
Savulyak Valeriy Ivanovych — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia e-mail: korsav84@gmail.com.
Vitavsky Maksym Oleksandrovych — Postgraduate Student of the Department of Industrial Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vit24asp.gmail.com.
Ruzhytsky Serhiy Valeriyovych — Group IZV-24 Candidate of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: serg.rurhytskyu@gmail.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ НА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ГНУЧКИХ ЕЛЕКТРОДНИХ СТРІЧОК ПОВЕРХОНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено відмінність та величину зносу модифікованих поверхонь з використанням різної за складом гнучкої електродної стрічки.

Ключові слова: тертя та зношування, наплавлення, зносостійкі поверхні, гнучка електродна стрічка, склад.

Вступ

З розвитком суспільства збільшується потреба у машинах, що мають більший запас міцності та зносостійкості у виробничих умовах. Тому виникає потреба у створенні нових матеріалів та технологій зміцнення робочих ділянок деталей для забезпечення продуктивної роботи з меншими затратами на ремонт або відновлення.

Проведення дослідження

Дослідження проведено з метою визначення впливу складу та маси виготовленої гнучкої електродної стрічки для підвищення зносостійкості поверхневих шарів. Запропоновано чотири варіанти покриттів для проведення трибологічного дослідження. Контртілом для випробувань використано сталь 40Х ДСТУ 7806-2015 діаметром $\varnothing 110$ мм. Для нанесення покриттів методом наплавлення через природні тканини використовувалась сталь 20 за ДСТУ 7809. Варіанти зразків: 1) Тертя відбувається між зразками без покриттів; 2) Для гнучкої електродної стрічки використовувалась шерстяна тканина; 3) Для гнучкої електродної стрічки використовувалась джинсова тканина (95% бавовна, 5% еластин). Для випробування на зносостійкість використано спеціальне пристосування до вертикально-свердлильного верстату (рис. 1), що забезпечує параметри процесу тертя: - загальна сила тиску – 42 Н; - швидкість обертання шпинделя – 250 об/хв. Визначався масовий знос за допомогою зважування електронними вагами з точністю 0,001 г, на шляху до 1758 м. Результати зношування показано на рис.2.



Рис. 1 – Пристосування для тертя.

Використано 4 види зразків: 1) Зразки зі сталі 10 без наплавлення поверхні; 2) зразки з напавленою поверхнею при використанні гнучкої електродної стрічки на основі шерстяної тканини; 3) зразки з напавленою поверхнею при використанні гнучкої електродної стрічки на основі джинсової тканини без перекриття наплавних валків; 4) зразки з напавленою поверхнею при використанні гнучкої електродної стрічки на основі джинсової тканини та з перекриттям наплавних валиків. Для побудови графіків значення дослідів статистично усереднювались.

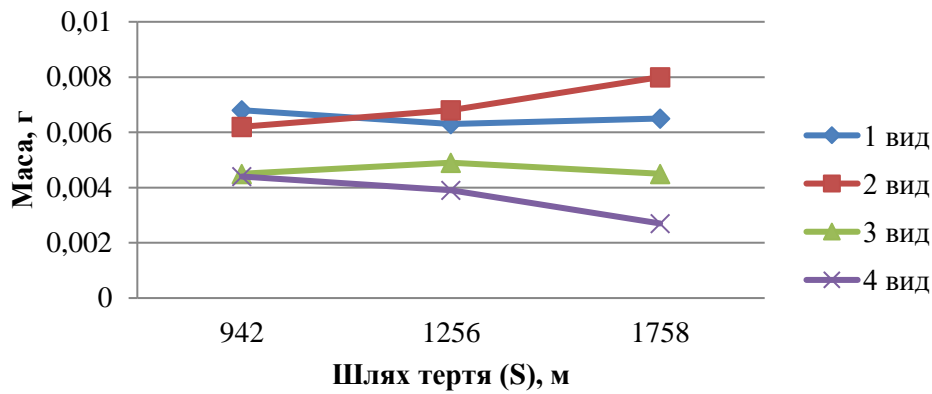


Рис. 1. – Знос зразків з покриттями, наплавленими за різними схемами.

Висновки

Під час дослідження виявлено, що найбільшу протидію зношуванню показують зразки 3 та 4 виду, наплавлені за допомогою гнучкої електродної стрічки на основі джинсової тканини. Середнє значення зносу 3 виду зразків становить 0,0045 г, та 4 виду – 0,0036 г. У порівнянні з базовими зразками без покриття зносостійкість збільшилась більше, ніж у 2 рази.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савуляк В. І. Наплавлення високовуглецевих зносостійких покриттів / В. І. Савуляк, В. Й. Шенфельд. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 124 с.
2. Спосіб електродугового наплавлення на поверхню металевих виробів [Електронний ресурс] / В. І. Савуляк, В. Й. Шенфельд, О. В. Шаповалова, А. Ю. Осадчук // Вінницький національний технічний університет. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <https://uapatents.com/2-52753-sposib-elektrodugovogo-naplavlennya-na-poverkhnyu-metalevikh-virobiv.html>.
3. Пат. 154633 UA, МПК В23К 35/36. Гнучка електродна стрічка [Текст] / В. І. Савуляк, В. Й. Шенфельд, М. С. Дмитрієв (Україна). – № u 2023 01401 ; заявл. 03. 04. 2023 ; опубл. 29.11.2023, Бюл. № 48. – 4 с. : кресл.
4. Пат. 154634 UA, МПК В23К 35/36. Спосіб наплавлення на поверхню металевих виробів [Текст] / В. І. Савуляк, В. Й. Шенфельд, М. С. Дмитрієв (Україна). – № u 2023 01419 ; заявл. 03.04. 2023; опубл. 29.11.2023, Бюл. № 48. – 4 с. : кресл.

Савуляк Валерій Іванович – д.т.н., проф., професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: korsav84@gmail.com

Дмитрієв Максим Сергійович – аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: maxlion1974@gmail.com

Шенфельд Валерій Йосипович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leravntu@gmail.com

RESEARCH ON TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF SURFACES MODIFIED WITH FLEXIBLE ELECTRODE TAPES

Abstract

The work investigated the difference and magnitude of wear of modified surfaces using flexible electrode tape of different composition.

Key words: friction and wear, surfacing, wear-resistant surfaces, flexible electrode tape, composition.

Savulyak Valery – d. oft.s, prof., Department of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: korsav84@gmail.com

Dmytriiev Maxym – postgraduate of the Department of industrial engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: maxlion1974@gmail.com.

Schenfeld Valery –PhD., Associate Professor, Associate Professor of the Department of industrial engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leravntu@gmail.com

КЕРУВАННЯ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯМ В ПРОЦЕСІ НАПЛАВЛЕННЯ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ ПОКРИТТІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено вплив швидкості наплавлення на час існування рідкої зварювальної ванни та швидкість охолодження металу зварювальної ванни, що впливає на структуру високовуглецевих покриттів.

Ключові слова: Вуглецеві волокна, наплавлення, структуроутворення, високовуглецеві покриття, швидкість охолодження.

До відомих методів навуглецьовування поверхонь відносяться традиційні технології хіміко - термічної обробки, поверхневе легування та модифікування поверхні, які можна об'єднати у групу технологій формування поверхневих шарів з спеціальними властивостями. Інша група технологій об'єднується за ознакою нанесення на поверхню заготовки додаткових шарів матеріалу, що теж забезпечують необхідні властивості поверхні.

Аналіз відомих методів навуглецьовування показав, що існуючі технології термічної та термохімічної обробки, поверхневе легування та модифікування поверхні, які можна об'єднати у групу технологій формування поверхневих шарів з спеціальними властивостями та технології нанесення на поверхню заготовки додаткових шарів матеріалу, що теж забезпечує особливі властивості поверхні, мають багато недоліків, зокрема: невелика глибина навуглецьованого шару; складність та дороговизна обладнання яке використовується для навуглецьовування; велика тривалість, трудомісткість та відповідно собівартість процесу. Для нанесення високовуглецевих покриттів з гарними фізико – механічними властивостями, застосовують матеріали, які мають велику вартість, або складну та енергоємну технологію обробки.

Отже, необхідно розробити таку технологію отримання високовуглецевих покриттів та підібрати такі матеріали які б мали невелику вартість, тривалість процесу та дозволяли отримання покриттів будь-якої товщини із заданою структурою, фізико – механічними та тріботехнічними властивостями.

Одним з основних елементів, який значно впливає на структуру залізовуглецевого сплаву є вуглець. Змінюючи кількість вуглецю можна отримати покриття з різними зносостійкими структурами. Для отримання високовуглецевих, зносостійких покриттів застосовують високолеговані порошкові наплавні дроти, які мають високу вартість та складні у виготовленні.

У роботі запропоновано технологію наплавлення високовуглецевих покриттів на основі заліза за рахунок легування наплавленого металу вуглецевими волокнистими матеріалами (нитками, тканинами), які наносяться на поверхні, що наплавляються. Для наплавлення можливо використовувати дроти із залізовуглецевих сплавів, тобто сталеві, наприклад, марки Св-08Г2С та Нп-30ХГСА тощо, які більш дешеві та прості у виготовленні. Наплавлення можливо виконувати як на циліндричні поверхні, при застосуванні вуглецевої нитки, так і на плоскі поверхні при застосуванні вуглецевої тканини.

В процесі наплавлення, за рахунок розчинення вуглецевих волокнистих матеріалів у зварювальній ванні, отримуємо високовуглецеве покриття. Товщина отриманого покриття може варіюватися від 1 до 10 мм на сторону.

Покриття наносили методом автоматичного наплавлення у середовищі вуглекислого газу.

Швидкість охолодження наплавленого металу – важливий фактор, який визначає структуру наплавленого високовуглецевого покриття і, в першу чергу, розмір карбідів. Швидкість охолодження залежить від часу існування рідкої зварювальної ванни.

Час існування рідкої зварювальної ванни визначаємо за формулою [1] :

$$T_p = L / V_{\text{напл}} , \quad (1)$$

де: L - довжина зварювальної ванни;
 $V_{\text{напл}}$ – швидкість наплавлення.

Як бачимо з формули 1, зміна швидкості наплавлення впливає на час існування рідкої зварювальної ванни, параметри температурного поля, та змінює швидкість охолодження металу зварювальної ванни, що впливає на структуру покриття.

За рахунок контрольованого тепловідведення можливо керувати структуроутворенням наплавленого високовуглецевого покриття, його фізико-механічними властивостями, та зносостійкістю.

При регулюванні швидкості наплавлення від 26 до 11 м/год (рідка зварювальна ванна існує від 0,8 до 5 с.) спостерігаються зміни швидкості кристалізації та охолодження наплавленого металу. Швидкість кристалізації в інтервалі температур 1700...1500°C – від 2000°C/c до 800°C/c, в інтервалі температур 1500...1000°C – від 1800°C/c до 600°C/c. Швидкість охолодження в інтервалі температур 1000...500°C змінюється від 730°C/c до 350°C/c, а в інтервалі температур 500...50°C – від 120°C/c до 70°C/c.

В залежності від режимів наплавлення структури зразків, зносостійких високовуглецевих покриттів, змінюються в широких межах. При швидкості наплавлення 11 м/год (час існування рідкої зварювальної ванни 5 с) відбувається утворення високовуглецевого пластинчатого мартенситу та невеликої кількості залишкового аустеніту. Такі покриття добре працюють в умовах сухого тертя. При збільшенні швидкості наплавлення до 26 м/год (час існування рідкої зварювальної ванни 0,8 с) наплавлений валок складається з ледебуриту. Такі покриття добре працюють в умовах абразивного тертя.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Патон Б. Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Б. Е. Патон. - Москва: Машиностроение, 1974. – 768 с.
2. Савуляк В. І. Наплавлення високовуглецевих покриттів з використанням вуглецевих волокон / В. І. Савуляк, С.А. Заболотний, В. Й. Шенфельд // Проблеми трибології. – 2010. – №1. – С.66–70.
3. Шенфельд В. Й. Наплавлення на сталеві деталі зносостійких високовуглецевих покриттів / В. Й. Шенфельд // Зварювання та споріднені процеси: матеріали V всеукраїнської науково – технічної конференції молодих учених та спеціалістів. – Київ, 2009. – С. 122.

Шенфельд Валерій Йосипович – канд. технічних наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leravntu@gmail.com

Боднар Олександр Іванович – аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oleksandr.bodnar@gmail.com

Шенфельд Валерія Валеріївна – студентка групи 1ТТ-23мс, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: lerashenfeld658@gmail.com

CONTROL OF STRUCTURE FORMATION IN THE PROCESS OF DEPOSITION OF HIGH-CARBON COATINGS

Abstract

The influence of the deposition rate on the lifetime of the liquid weld pool and the cooling rate of the weld pool metal, which affects the structure of high-carbon coatings, was investigated.

Keywords: Carbon fibers, deposition, structure formation, high-carbon coatings, cooling rate.

Shenfeld, Valerii Yo. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leravntu@gmail.com

Bodnar Oleksandr I. — graduate student of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleksandr.bodnar@gmail.com

Shenfeld Valeriia V. — student of group 1TT-23ms, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: lerashenfeld658@gmail.com

SELECTING PARAMETERS FOR A TRIVIAL FLAW DETECTOR TO IMPLEMENT EXPRESS ANALYSIS OF DAMAGED OBJECTS

Corrosion Research Center of the Autonomous University of Campeche

Abstract. The work of the expert assessment system is logically divided into the following stages: examination of structural elements using non-destructive testing methods; automated computer analysis of data obtained using methods developed for assessing the condition of materials and structures; preparation of an expert opinion on the condition of the object under study and its preservation; and development of recommendations for its further operation. However, an important factor is to correctly select the means and parameters of non-destructive testing of damaged objects.

Keywords: non-destructive testing, ultrasonic sensors, structural elements; crack-like defects.

To properly design and adapt the signal or correctly read the data, it is necessary to perform a series of laboratory tests to determine the sensor's response. In this sense, we must observe its behaviour, that is, its response as a sensor and its response as a receiver (transceiver). The materials used in these experiments were: switching power supply, signal generator, oscilloscope, breadboards, resistors, ceramic capacitors, ultrasonic transceiver, HC-SRO4 ultrasonic sensor, connectors (alligator clips and oscilloscope connectors), cables, test tubes, tape measure or other type of length measurement device and Arduino screw shield Uno R3.

In this regard, two tests were performed with two ultrasonic sensors: one dual-type, meaning it has a transmitter and receiver integrated into a motherboard, and the other with a transceiver, a device that has transmission and reception in a single encapsulation, or in a single device.

For the transceiver test, a description of the transceiver's output signal was obtained to understand the response of these types of sensors to acoustic stimuli. In other words, the sensor projects a signal onto an oscilloscope.

And the test with the HC-SRO4 sensor allowed us to make external descriptions of two specimens, to obtain a description of their shape, using the round-trip distances of the ultrasonic waves (Doppler effect). It should be noted that for this work the latest results obtained from the second experiment will be taken into account in order to verify the theory proposed on the effect that ultrasonic waves have when describing the different types of defects in materials (internal or external defects), so the external form of two metal test specimens or plates that were worked with destructive tests will be described in detail.

For this test, jumper connectors, an Arduino Uno R3, an ultrasonic sensor, two metal test tubes, a ruler, a set square, and a tape measure were used. To prepare for this experiment and work, the connections were made as follows. First, we proceeded to learn about the ultrasonic sensor, specifically this model. We know that we need to quantify the transmission time; to do this, we need to know the distance. From the sensor's data sheet, we find the following:

The processing speed and signal travel time are in microseconds, so we have the speed of sound.

$$V_{sound} = 343,3 \frac{m}{s} = 0,0343 \frac{cm}{\mu s}$$

Once we have solved the unknown of the speed, we can deduce the distance with the typical physics formula.

$$d = v * t$$

Now, we know that due to the Doppler effect we have two times, a time for the sending signal and a time for the receiving signal, therefore, the time is divided by two, resulting in the following form.

$$d = v * \frac{t}{2}$$

Now developing the equation, we have that

$$d = 0,0343 \frac{cm}{\mu s} * \frac{t_{medido}}{2}.$$

We know that $0,0343 \frac{cm}{\mu s}$ is a constant in our formula that when divided by two gives the result, from the data sheet we obtain that $\frac{0,0343 \frac{cm}{\mu s}}{2} = \frac{1}{58.31}$

We can mention that due to the type of sensor and the types of commands, a stable and reliable measurement is not always possible. Therefore, programming methods such as linear regression, arithmetic means, and all kinds of numerical methods or algorithms can be used to obtain a more stable and accurate reading. Therefore, at this stage, I can say that we can now build a method to extract data on defects on the surface of a material.

In this regard, the tests are carried out. It is worth noting that the graphs were created with the help of Excel, and this was the formula used to obtain the data: $Defecto = V_0 - V_m - Thickness$, where V_0 is the initial value (the first measurement) and V_m is the measured value. Of these values, V_m is the only value that will not be a constant but will change as the piece is scanned.

Now, from this table, we obtain an image of our part based on the scan performed. The graph helps us distinguish the deformities. In this sense, it was proposed to play with scales. The first graph shows the values scaled according to the thickness measurement; this results in the image of the deformation of our specimen (Figure 43).

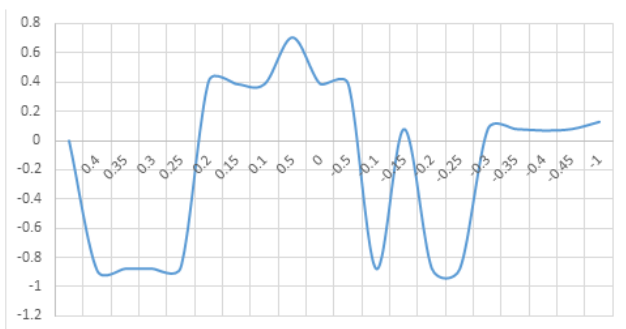


Figure 43. Graph of defect magnitude per millimetre

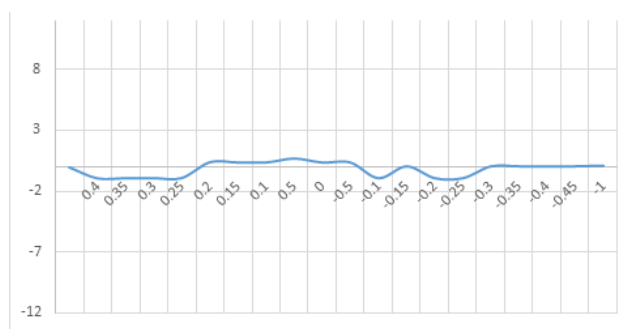


Figure 44. Graph of specimen shape

In the same way we can obtain at a more distant scale what the shape of our test specimen really is (Figure 44).

As we can see, we analysed only one section of this test object. In theory, it should measure 4.79 at both ends, since the material's external structure is flat, except for the central section, which shows wear. This measurement error is caused by a measurement error due to the sensor's firing angle. This measurement error is reflected in the graph. However, future projects aim to improve this equipment by acquiring a more powerful sensor and achieving a narrower firing angle.

An important feature of the flaw detector is its ability to connect it to a personal computer, including a laptop. This allows the scan results to be automatically transferred to a computer and stored in a centralized database for subsequent analysis and processing. By having the results of measurements and analyses obtained at different times during a given monitoring period, the operator can track changes in the characteristics and condition of the structure over time, allowing them to predict the development of degradation processes and the duration of preservation of the working properties of certain areas, as well as of the structure.

REFERENCES

1. Abad, V. (2018). Arduino y los ensayos no destructivos. Trabajo de fin de grado. Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya.
2. Corona, L. Abarca, G.& Mares, J. (2014). Sensores y actuadores: Aplicaciones con Arduino. Ed. 1º. Grupo Editorial Patria.

Bilyy Orest, PhD. Techn. Sc., Research Professor, Centre for Corrosion Research of Autonomous University of Campeche, Campeche, Mexico, e-mail: orebilly@uacam.mx.

Domínguez Rodríguez Gustavo, PhD. Techn. Sc., Research Professor, Centre for Corrosion Research of Autonomous University of Campeche, Campeche, Mexico, e-mail: gdomingu@uacam.mx.

Chi Bojórquez Ricardo Benjamín, Master's degree candidate, Autonomous University of Campeche, Campeche, Mexico, e-mail: al063788@uacam.mx.

Вибір параметрів тривіального дефектоскопа для реалізації експрес-аналізу пошкоджених об'єктів

Анотація. Робота експертної системи оцінювання логічно поділена на такі етапи: обстеження елементів конструкцій методами неруйнівного контролю; автоматизований комп'ютерний аналіз даних, отриманих за допомогою розроблених методів оцінки стану матеріалів та конструкцій; підготовка експертного висновку про стан досліджуваного об'єкта та його збереження; та розробка рекомендацій щодо його подальшої експлуатації. Однак важливим чинником є коректно вибрати засоби та параметри неруйнівного контролю пошкоджених об'єктів.

Ключові слова: неруйнівний контроль, ультразвукові датчики, елементи конструкцій; тріщиноподібні дефекти.

Білий Орест, PhD, Професор Дослідник, Центр дослідження корозії, Автономний Університет Кампече, Кампече, Мексика, e-mail: orebilyu@uacam.mx.

Домінгес Родрігес Густаво, PhD, Професор Дослідник, Центр дослідження корозії, Автономний Університет Кампече, Кампече, Мексика, e-mail: gdomingu@uacam.mx.

Бохоркез Чі Рікардо Бенхамін, здобувач магістерського звання, Автономний Університет Кампече, Кампече, Мексика, e-mail: al063788@uacam.mx

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ВИСОКОАЗОТНИХ СТАЛЕЙ ПІСЛЯ НАВОДНЮВАННЯ

Фізико-механічний інститут НАН України ім. Г.В. Карпенка

Анотація. Наведено узагальнення досліджень по інтенсивності зношування високоазотних сталей які були електролітично наводнені в умовах збільшення навантаження від 200 до 600 Н. Дослідження проводили в умовах сухого тертя кочення. Пара тертя: високоазотна сталь – сталь 45. Схема тертя: ролик по ролику.

Ключові слова: зношування, тертя кочення, сухе тертя, високоазотна сталь.

Продовжено дослідження зносостійкості високоазотних сталей в умовах сухого тертя кочення за схемою ролик-ролик [1 - 3]. Зносотривкість визначали на машині тертя СМТ-1 (2070). Швидкість ковзання нижнього ролика 1480 RPM, а верхнього 1240 RPM (проковзування 15%). Нижній ролик виготовлений зі сталі 45 твердістю 55 HRC. Після гартування мав мікроструктуру мартенситу. Верхній – з високоазотних сталей: DDT 68, 52 HRC, P900, 48 HRC. Лінійна швидкість верхнього ролика 2,27 m/s, а нижнього 3,08 m/s. В умовах тертя без змащування навантаження становило 200...600 Н.

Вплив водню на тертя досліджували на зразках із високоазотної сталі, заздалегідь наводнених у 26%-му розчині сірчаної кислоти з каталізатором 5 mg/l окису арсену за сили струму 0,5 A/cm².

Концентрацію водню визначали на установці Лесо. Використовували зразки свідки розміром 55 × 10 × 5 мм.

У мікроструктурі сплавів зафіксовано аустенітну металеву матрицю мікротвердістю 4,2...5,0 GPa. Аналіз гістограм, показує, для аустенітної сталі згідно з кривою нормального розподілу середній розмір зерен для сталі DDT68 – 25 мкм, а для сталі P900 становив 43 мкм. Сталь DDT68 володіє дрібнішою мікроструктурою. Проведена статистична обробка параметрів мікроструктури.

На рис. 1 наведено стовпчасті діаграми інтенсивності зношування (I) при збільшенні навантаження (P).

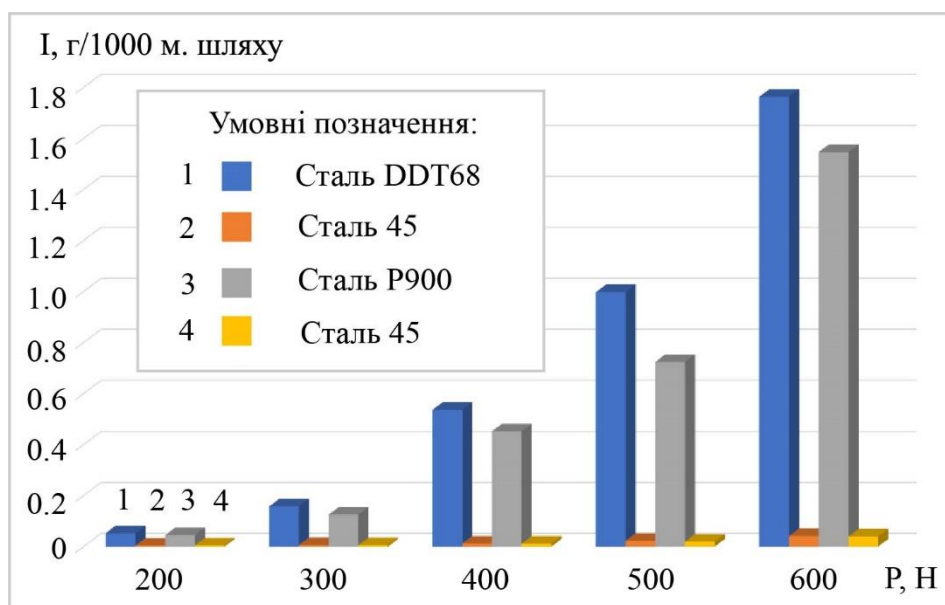


Рис. 1. Стовпчасті діаграми інтенсивності зношування (I) при збільшенні навантаження (P).

Причини меншої зносостійкості сталі DDT68 після насичення воднем:

1. *Мікроструктура (розмір зерна).*

DDT68 має менший середній розмір зерна (~25 мкм) порівняно з P900 (~43 мкм).

Дрібнозерниста структура має більшу площу міжзеренних меж, які:

є зонами акумуляції водню;

є потенційними джерелами ініціації мікротріщин при дії циклічних навантажень.

Це сприяє водневій деградації (embrittlement), особливо при терті без змащування.

2. *Механізм тертя.*

В умовах контактного сухого тертя наводнений аустеніт втрачає пластичність.

Через високу щільність дефектів у дрібнозернистій сталі DDT68 водень швидше дифундує та знижує опір дислокаційному руху, сприяючи локалізованому руйнуванню поверхні.

3. *Твердість і стабільність аустеніту.*

При наводненні твердіший сплав може втрачати пластичність ще більше, оскільки жорсткіша матриця більш «крихкіша» до розтріскування у присутності водню.

4. *Склад та легування.*

У сталі P900 дещо вищий вміст Ni (~1,18% проти ~0,13% у DDT68). Нікель сприяє стабілізації аустенітної фази й покращує стійкість до водневої крихкості.

Сталь DDT68 має вищий вміст азоту (0,97% проти 0,58% у P900) і більший вміст молібдену (2,08% проти 0,13%). Високий вміст азоту дає змогу підняти міцність та корозійну стійкість, але водночас надто «навантажений» міцнісний стан може виявитися більш уразливим до водневих тріщин (залежно від інших мікроструктурних чинників).

5. *Різниця у зерні та холодній деформації.*

Сталь DDT68 має дрібніше зерно (25 мкм проти 43 мкм у P900), що зазвичай позитивно для міцності й в'язкості. Для високолегованих аустенітних сталей із високим вмістом азоту (як у DDT68) у поєднанні з високою холодною деформацією проявляється схильність до локалізованих тріщин під дією водню.

Таким чином, при зношуванні в таких умовах наводнення, сталь P900 показала вищу зносостійкість завдяки меншій схильності до водневої крихкості, попри нижчу твердість.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Balyts'kyi, O.I., Kolesnikov, V.O. Investigation of wear products of high-nitrogen manganese steels // Materials Science. – 2009. – Vol. 45, No. 4. – P. 576–581. – DOI: 10.1007/s11003-010-9216-1
2. Balitskii, O.A.; Kolesnikov, V.O.; Balitskii, A.I. Wear resistance of hydrogenated high nitrogen steel at dry and solid state lubricants assistant friction. August 2019 Archives of Materials Science and Engineering 2(98):57-67. DOI: 10.5604/01.3001.0014.4894
3. Balyts'kyi, O.I.; Kolesnikov, V.O.; Elias, Y.; Havrylyuk, M.R. Specific Features of the Fracture of Hydrogenated High-Nitrogen Manganese Steels Under Conditions of Rolling Friction. Mater. Sci. 2015, 50, 604-611. DOI 10.1007/s11003-015-9760-9

Колесніков Валерій Олександрович, кандидат технічних наук, науковий співробітник,
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів,
kolesnikov197612@gmail.com

WEAR RESISTANCE OF HIGH-NITROGEN STEELS AFTER HYDROGEN CHARGING

Abstract. A generalization of investigation on the dry wear rate of high-nitrogen steels that have been electrolytically after hydrogen charging under conditions of increasing load from 200 to 600 N is presented. Friction pair: high-nitrogen steel - steel 45. Friction pattern: roller on roller.

Key words: wear, rolling friction, dry wear, high nitrogen steel.

Kolesnikov Valerii, PhD in Engineering, Researcher, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, kolesnikov197612@gmail.com

Обґрунтування використання попередньо загартованих заготовок у виготовленні прес форм

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. В тезах доповіді описані особливості оброблення деталей прес-форм та штампів на заключних операціях технологічного процесу механічного оброблення. Наведені рекомендації щодо вибору структури та параметрів технологічних операцій фінального та суперфінішного оброблення.

Ключові слова. Прес-форма, штамп, технологічний процес, термічне оброблення, різальний інструмент, інструментальна сталь

Для забезпечення високих ресурсних характеристик прес форм, всі деталі яких підлягають активним фрикційним навантаженням в умовах високих температур внаслідок безпосереднього контакту з розплавленою масою, повинні мати високі показники твердості. Традиційно, матриці і пуансони виготовляли з сталей марок 5ХНМ, 40Х, 60ХГМ та після попередньої обробки з залишком припуску лягають термічній обробці, яка включала гартування та подальший високий відпуск. В залежності від конструкції формуючих елементів, наявності бокових повзунів чи конструкції штовхачів проектна твердість робочих поверхонь складала 35 - 45HRC і була обумовлена необхідністю чистової обробки поверхонь після деформацій, набутих на етапі термічної обробки. При цьому, деякі точні поверхні, наприклад отворів штовхачів, після термічної обробки не піддавалися додатковій механічній обробці і лише доводились слюсарними методами.

Сучасний ринок пропонує широкий спектр інструментальних сталей які вже мають певну твердість. До прикладу сталі BOHLER M200, LUCCINI 1.2111(аналог 40Х), m238, Luccini 1.2738 (аналог 40Х2ГНМ) мають твердість в стані поставки 29-33HRC в звичайному виконанні та 40-42 в виконанні HIGH HARD. Таким чином отримуючи проектно нижчу твердість ми уникаємо затратної операції термічної обробки великих деталей. Заготовки вищої твердості використовуються в тих елементах де наявні повзени, клини і т.д. там де лише штовхання, цілком достатньо твердості в 30 одиниць, при використанні азотованих штовхачів.

Обґрунтовуючи доцільність використання такого підходу, можна виділити такі недоліки:

- Підвищене зношування ріжучого інструменту через необхідність виконання чорнових операцій у вже загартованих заготовках.

- Вища ціна матеріалу.

До позитивних особливостей використання таких матеріалів слід віднести:

- Повністю прогнозована та однорідна по всій заготовці твердість.

- Відсутність необхідності у термічній обробці та у наявності обладнання для гартування настільки великих деталей.

- Можливість обробки формуючих поверхонь та базуючих поверхонь за одну установку, що суттєво знижує затрати та підвищує точність через відсутність похибки повторного базування.

- Заготовки поставляються з мінімальним припуском, близько 1-2 мм.

На практиці, позитиви нівелюють недоліки і те, що поставка відбувається майже в розмір деталі, покриває вищу ціну матеріалу, а використання сучасного інструменту дозволяє здійснювати чорнові операції без суттєвого зношування самих фрез. Машинобудування України поки не може перейти на той рівень, де при виготовленні прес-форм використовуються готові стандартні блоки, в яких лише обробляються формуючі елементи, тому використання попередньо загартованих заготовок типів наведених вище є ефективною перехідною можливістю на шляху розвитку вітчизняного виробництва прес-форм та штампів.

Оленюк Тарас Ярославович, аспірант, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, taras.y.oleniuk@lpnu.ua

Justification for the use of pre-hardened blanks in the manufacture of press molds

***Abstract.** The abstract describes the features of processing mold parts and dies in the final operations of the mechanical processing technological process. Recommendations are given for selecting the structure and parameters of technological operations for finishing and superfinishing.*

Keywords: Press mold, stamp, technological process, heat treatment, cutting tool, tool steel

Olenyuk Taras , postgraduate student, Lviv Polytechnic National University, Lviv,
taras.y.oleniuk@lpnu.ua

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЕКСТРЕМАЛЬНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПІД ЧАС НАПЛАВЛЕННЯ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі запропоновано технологію наплавлення з екстремальним охолодженням, яка дозволяє мінімізувати нагрівання, і відповідно всі негативні наслідки з цим пов'язані. Представлена технологія наплавлення дозволяє відновлювати деталі без їх перегріву, і як наслідок, зменшити майже в двічі поточні та залишкові деформації.

Ключові слова: наплавлення, екстремальне охолодження, деформація.

Однією з найбільш поширеніших технологій відновлення діаметральних розмірів валів є їх наплавлення в середовищі захисних газів. Однак при такому ремонті валів малого діаметру та великої довжини виникають неприпустимі деформації, та ливарні укорочення пов'язані з надмірним нагріванням в процесі наплавлення. В роботі запропоновано технологію наплавлення з екстремальним охолодженням, яке дозволяє мінімізувати нагрівання під час зварювання, і відповідно всі негативні наслідки які з цим пов'язані.

Нерівномірне місцеве нагрівання металу при напавленні, зміна його об'єму, внаслідок температурного розширення й структурних перетворень, обумовлюють появу зварювальних напружень і деформацій, які в ряді випадків викликають зміну форми і розмірів виробу, і роблять його непридатним для подальшого використання. Особливо це відноситься до процесу наплавлення валів малого діаметру яке часто проходить з їх нагріванням до температур вище 600 °С. Як відомо, границя текучості сталі з підвищенням температури вище таких значень різко падає. В зв'язку з цим вали закріпленні у центрах отримують осьову усадку а деталі з одностороннім закріпленням можуть деформуватись за рахунок власної ваги.

Одним із методів запобігання підвищенню температури є використання різних способів охолодження, в тому числі водяного. Мета дослідження встановити можливість наплавлення валів з охолодженням в водяній ванні та визначити його вплив на формування геометрії.

Для проведення експериментальних досліджень було використано установку для наплавлення, зварювальний низьковуглецевий дріт, циліндричні заготовки з співвідношенням довжини до діаметра 20:1, магнітна стійка з індикатором годинникового типу та відеофіксуючі засоби. Вимірювання температури проводили з використанням пірометра та термопар. Наплавку проводили в звичайних умовах та з використанням водяної ванни у яку занурювали деталь. Вимірювання проводили до та після експерименту і фіксували покази індикатора в процесі наплавлення на відеокамеру. Після чого дані оцифровували та будували графіки залежності, температури, часу та деформацій.

Встановлено, що в процесі наплавлення без охолодження температура в зоні термічного впливу, яку вдалось зафіксувати пірометром, досягала 670°C. У випадку зварювання з охолодженням вона не перевищувала 140 °С. Найбільші поточні деформації 0,26 мм зафіксовані на початковому етапі наплавлення, коли температура досить швидко зростала до свого максимального значення, однак коли температурний режим стабілізувався значення деформацій зменшились вдвічі, і по завершенню наплавлення становили 0,12 мм. При напавленні екстремальним охолодженням у водяній ванні деформації не перевищували 0,07 мм, і по завершенню і повному охолодженню склали 0,04 мм.

В процесі проведення досліджень відпрацьовано технологію наплавлення з екстремальним охолодженням, яка дозволяє відновлювати деталі без їх перегріву, і як наслідок, зменшити поточні деформації на 60-70%, а залишкові майже вдвічі. Отримані покриття мають високу якість, що дозволяє робити висновок про придатність запропонованої технології до використання у промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бакалець Д. В. Технологія підводного зварювання здвоєним електродом / Д. В. Бакалець, В. В. Вергелес // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22-24 березня 2017 р. - Електрон. текст. дані. - 2017. - Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/2942>.

2. Каховський М. Ю. Інноваційна технологія механізованого мокрого зварювання високолегованої корозійностійкої сталі/ М. Ю. Каховський. // Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України. – Київ. – 2015. – № 11(4) – С. 25–31.

3. Бакалець Д. В. Отримання зносостійких покриттів наплавкою лежачим електродом під шаром флюсу / Д. В. Бакалець // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22-24 березня 2017 р. - Електрон. текст. дані. - 2017. - Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/2999>.

4. Каховський М. Ю. Порошковий самозахисний дріт для підводного зварювання високолегованої корозійностійкої сталі 12X18H10T/ М. Ю. Каховський. // Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України. – 2014. – № 11(14) – С. 12–15.

5. Бакалець Д.В. Технологія отримання функціональних покриттів наплавленням з гартуванням / Д.В. Бакалець, В. В. Поліщук // Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту», Вінниця, 1-3 червня 2023 р. – Електрон. текст. дані. – Вінниця, 2023. – Режим доступу: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/778>

6. Бакалець Д. В. Оцінка впливу охолодження на деформацію наплавлених валів / Д. В. Бакалець // Матеріали LI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 31 травня 2022 р. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2022/paper/view/16085>.

Бакалець Дмитро Віталійович — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: BacaletsDima@gmail.com

Поліщук Владислав Володимирович – аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: Vpolisuk878@gmail.com

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF EXTREME COOLING DURING FOUNDATION ON THE STRESSED-DEFORMED STATE

Abstract

The paper proposes a technology of surfacing with extreme cooling, which allows to minimize heating, and accordingly all the negative consequences associated with it. The presented surfacing technology allows to restore parts without overheating them, and as a result, to reduce current and residual deformations by almost two times.

Keywords: surfacing, extreme cooling, deformation.

Bacalets Dmuro Vitaliyovych. — Associate Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: BacaletsDima@gmail.com.

Polishchuk Vladyslav Volodymyrovych – postgraduate student of the Department of Industrial Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: Vpolisuk878@gmail.com.

Р.М. Ігнатюк,
О.С. Стадник,
С.В. Морозюк

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Анотація

У даній роботі розглянуто актуальну проблему утилізації акумуляторних батарей електромобілів як ключового етапу життєвого циклу електротранспорту. Розкрито технологічні підходи до переробки. Розглянуто європейське законодавче регулювання, економічні аспекти переробки АКБ.

Ключові слова: методи утилізації АКБ, гідрометалургія, Li-ion батарея.

Під впливом екстремальних робочих температур, сотень часткових циклів розряду на рік, літій-іонні акумулятори в електромобілях сильно деградують протягом перших п'яти років експлуатації та в більшості випадків розраховані приблизно на десятиліття терміну служби. Однак ці акумулятори можуть прожити друге життя, навіть якщо вони більше не відповідають стандартам продуктивності електромобілів, які зазвичай включають підтримку 80 відсотків загальної корисної ємності та досягнення коефіцієнта саморозряду в стані спокою лише близько 5 відсотків протягом 24-годинного періоду. Після відновлення такі акумулятори все ще здатні працювати достатньо, щоб обслуговувати менш вимогливі системи, такі як стаціонарні системи зберігання енергії. За даними [1] акумуляторна батарея включає декілька етапів життєвого циклу, які зображені на рисунку 1.



Рис. 1 Життєвий цикл акумулятора електромобіля [1]

Утилізація акумуляторних батарей електромобілів є важливим етапом у життєвому циклі електротранспорту, оскільки після завершення експлуатації АКБ перетворюється на джерело як цінних ресурсів, так і потенційної небезпеки для довкілля. Сучасні тягові батареї, зокрема літій-іонного типу (наприклад, на основі нікель-марганець-кобальт — NMC), мають складну багатокомпонентну структуру. Вони включають катодні й анодні матеріали, електроліт, систему управління (BMS), корпус і допоміжні компоненти. Після 8–10 років експлуатації електромобіля

аккумулятор зберігає приблизно 70–80% своєї первинної ємності, що дозволяє йому бути використаним у стаціонарних системах зберігання енергії в рамках другого життєвого циклу.

Утилізація батарей включає кілька ключових технологічних підходів: механічне розбирання, пірометалургічну переробку (плавлення при високих температурах), гідрометалургічну екстракцію (вилучення металів за допомогою кислот) та інноваційні екологічні методи. Для вилучення кольорових металів і сплавів використовують вихрострумову сепарацію [2] хоча найбільш перспективним вважається гідрометалургічний метод, який забезпечує високий рівень відновлення літію, нікелю, кобальту й міді. Крім того, він має менший вуглецевий слід, ніж термічні методи.

Таблиця 1 Методи утилізації АКБ

Етап	Метод	Вихід продукції
1. Демонтаж або розбирання	Механічний розбір (ручний або автоматизований)	Модулі, корпус
2. Пірометалургія	Термічна обробка	Металеві сплави
3. Гідрометалургія	Хімічне вилучення металів (кислотне)	Li, Ni, Co (до 95%)
4. Регенерація графіту та електроліту	Частково можлива	Залежить від технологій
5. Рафінація / очищення	Етап очистки вторинної сировини	Катодні матеріали для нових аккумуляторних батарей

На законодавчому рівні Європейський Союз регламентує процес утилізації. Новий регламент ЄС щодо аккумуляторів (2023/1542) передбачає впровадження обов'язкових паспортів батарей, цільових показників переробки для кожного виду металів, а також розширену відповідальність виробника (EPR), згідно з якою саме виробник або імпортер зобов'язаний забезпечити повну утилізацію після закінчення терміну служби [3]. До 2030 року планується досягти рівня відновлення літію не менше 70%, а кобальту й нікелю — не менше 90%.

Окрім екологічних міркувань, питання утилізації тісно пов'язане з економікою критичних матеріалів. Переробка старих АКБ дозволяє зменшити залежність від імпорту стратегічних ресурсів, знизити вартість нових батарей та сприяти формуванню замкнутого циклу виробництва. Також розвиток інфраструктури для переробки та повторного використання АКБ створює нові можливості для енергетичних систем, зокрема для акумуляції електроенергії з відновлюваних джерел [3].

Li-ion батареї є лідерами у використанні на електромобілях і найпоширеніша – NMC: нікель-марганець-кобальтова або LFP: залізо-фосфатна.

Таким чином, утилізація аккумуляторних батарей електромобілів є критичним фактором сталого розвитку електротранспорту. Вона забезпечує збереження ресурсів, зменшення екологічного навантаження та економічну доцільність у довгостроковій перспективі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Second-life EV batteries: The newest value pool in energy storage. McKinsey & Company [Електронний ресурс]: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/second-life-ev-batteries-the-newest-value-pool-in-energy-storage/>
2. Stadnyk O. Substantiation of eddy current separation parameters for car recycling technology. Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources: book of abstracts 5nd International Scientific and Technical Internet Conference (Petroșani, Romania, November 11, 2022). Petroșani, Romania, 2022. P. 211–213
3. Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC (Text with EEA relevance). [Електронний ресурс]: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj/eng>

Ігнатюк Роман Михайлович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, e-mail: r.m.ihnatiuk@nuwm.edu.ua;

Стадник Олександр Святославович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, e-mail: o.s.stadnyk@nuwm.edu.ua;

Морозюк Сергій Володимирович – старший викладач кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, e-mail: s.v.morozjuk@nuwm.edu.ua.

Abstract

This paper addresses the relevant issue of electric vehicle battery recycling as a key stage in the life cycle of electric transport. Technological approaches to battery processing are presented. The study also examines European legislative regulations and the economic aspects of battery recycling.

Keywords: car, operating cost, fuel consumption, insurance, maintenance and repair costs.

Ihnatiuk Roman Mykhailovych – Ph. D. (Eng), Associate Professor of the Department of Automobiles and Automobile Industry, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: r.m.ihnatiuk@nuwm.edu.ua;

Stadnyk Oleksandr Svyatoslavovych – Ph. D. (Eng), Associate Professor of the Department of Automobiles and Automobile Industry, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: o.s.stadnyk@nuwm.edu.ua;

Morozyuk Serhiy Volodymyrovych – Senior Lecturer of the Department of Automobiles and Automobile Industry, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: s.v.morozjuk@nuwm.edu.ua.

ДО ПИТАННЯ ПРО СТВОРЕННЯ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТИВ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Анотація

Робота присвячена аналізу функціональних властивостей полімеркомпозиційних матеріалів триботехнічного призначення з різним ступенем наповнення. Розглянуто принципи створення епоксидних композитів та здійснено оцінку їх потенціалу. Наведено фактори, що впливають на досягнення стабільності фрикційних характеристик.

Ключові слова: епоксидні композиційні матеріали, властивості, зносостійкість, триботехнічні характеристики.

Епоксидні композиційні матеріали (ЕКМ) та покриття на їх основі активно використовуються у світовій та вітчизняній практиці як ефективний триботехнічний матеріал, що здатний, при відповідному підході на етапі конструювання, забезпечити необхідну керованість та прогнозованість властивостей, в тому числі і при складних умовах експлуатації [1-3]. При цьому перспективним є класифікаційний поділ епоксидних композитів на мало-, середньо- та високонаповнені композиційні системи [3].

За результатами комплексних експериментальних досліджень сформульовано принципи створення та оцінки ЕКМ на епоксиполімерній основі: забезпечення цілісності системи, єдності структурних та функціональних складових; забезпечення термодинамічної, механічної та кінетичної сумісності інгредієнтів системи; врахування ефекту самоорганізації при фрикційній взаємодії; формування запасу міцності при створенні матеріалу, що реалізується в умовах тривалої експлуатації; забезпечення оптимального ступеня наповнення ЕКМ-системи варіюванням ступенем дисперсності та природи інгредієнтів [3, 4].

Для досягнення оптимальних трибологічних властивостей ЕКМ актуальними є розробка науково-технологічних основ вибору та поєднання структурних складових в усьому діапазоні можливого наповнення системи, дослідження закономірностей структуроутворення, механізмів і кінетики процесів формування границь розділу, а також визначення основних факторів, що дозволяють керувати цими процесами.

Встановлено, що введення в полімерну матрицю модифікаторів та в композиційну систему інгредієнтів, які виконують армувальну функцію, дозволило отримати матеріали із стабільними фізико-механічними характеристиками в діапазоні низького, середнього та високого наповнення, а застосування функціональних добавок – досягнути відповідних експлуатаційних характеристик на завершальному етапі їх створення [3-6]. Це пов'язано насамперед зі структурною та фізичною модифікацією полімерної основи та композицій в цілому, в яких наповнювачі здійснюють різний функціональний вплив на систему.

Показано [3, 7, 8], що активний тепловий вплив при структуризації епоксикремнійорганічних систем у зоні максимально допустимих для епоксидної компоненти температур породжує ефект “адаптації” до прикладеного навантаження та забезпечує стабільність заданих характеристик при фрикційній взаємодії. Обґрунтовано умови утворення та стабілізації самоорганізуючих плівок переносу при навантаженні епоксидних композитів тертям ковзання [6, 7], що сприяє підвищенню зносостійкості та надійності трибосистем ковзання.

Підвищення функціональних характеристик епоксидних композитів за рахунок комплексної структурної та фізичної модифікації мультинаповненої системи, забезпечення надійності та довговічності експлуатації розроблених ЕКМ – є предметом подальших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савчук П.П. Епоксикомпозитні покриття з керованими властивостями для захисту лопаток авіадвигунів: Монографія / П.П. Савчук, В.П. Кашицький, Д.М. Матрунчик, О.Л. Садова. – Луцьк: Терен, 2022. – 136 с.

2. Савчук П.П. Формування самоорганізованих структур в процесі фрикційної взаємодії трибопари епоксикомпозит-сталь: монографія / П.П. Савчук, В.П. Кашицький, О.Л. Садова. – Луцьк: Вежа-Друк, 2017. – 172 с.
3. Савчук П.П. Наукові і технологічні основи створення та керованого функціонування епоксидних композитів з різним ступенем наповнення: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.02.01 / П.П. Савчук – Київ: ПМ, 2010. – 40 с.
4. Савчук П.П. Інтенсифікація процесів структурування епоксикомпозитів: монографія / П.П. Савчук, В.П. Кашицький, І.В. Боярська, Д.М. Матрунчик. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2021. – 160 с.
5. Савчук П.П. Нові епоксикомпозитні матеріали для підвищення експлуатаційних характеристик засобів агротехніки / П.П. Савчук // Перспективи розвитку машинобудування та транспорту. Матеріали III-ї міжнародної науково-практичної конференції (1-3 червня 2023 р., м. Вінниця). С. 290-291.
6. Савчук П.П. Фрикційні полімеркомпозити з комплексом керованих властивостей: Монографія / П.П. Савчук, В.П. Кашицький, Л.А. Савчук, О.М. Люшук. – Луцьк: Іванюк В.П., 2022. – 136 с.
7. Савчук П.П. Формування самоорганізованих структур в процесі фрикційної взаємодії трибопари епоксикомпозит-сталь: монографія / П.П. Савчук, В.П. Кашицький, О.Л. Садова. – Луцьк: Вежа-Друк, 2017. – 172 с.
8. Савчук П.П. Наукові засади створення епоксидних композитів з керованими властивостями / П.П. Савчук // Актуальні проблеми хімії, матеріалознавства та екології. Матеріали III-ї міжнародної наукової конференції (1-3 червня 2023 р., м. Луцьк). С. 102-104.

Савчук Петро Петрович, доктор техн. наук, проф., нач. відділу, Державний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ, savchuk71@gmail.com.

On the issue of creating epoxy composites for tribotechnical purposes

Abstract

The work is devoted to the analysis of the functional properties of polymer composite materials for tribotechnical purposes with different degrees of filling. The principles of creating epoxy composites are considered and their potential is assessed. Factors influencing the achievement of stability of friction characteristics are given.

Keywords: epoxy composite materials, properties, wear resistance, tribotechnical characteristics.

Savchuk Petro Petrovych, Dr. Sci. (Engin.), Profesor, Head of department, State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, savchuk71@gmail.com.

INTRODUCTION TO TITANIUM ALLOY MATERIALS

Vinnytsia National Technical University

Abstract:

The work highlights the physical and mechanical properties and applications of modern industrial titanium alloys in the production of modern equipment, medicine and everyday life. It is shown that in terms of specific strength, anti-corrosion and technological properties, these alloys are very promising for use in mechanical engineering and everyday use.

Keywords: Titanium alloy; properties; applications

Анотація

У роботі висвітлено фізико-механічні властивості та застосування сучасних промислових сплавів титану у виробництві сучасної техніки, медицині та побуті. Показано, що за питомою міцністю, антикорозійними та технологічними властивостями ці сплави є дуже перспективними для використання у машинобудуванні та повсякденному використанні.

Ключові слова: титанові сплави; властивості; застосування

1. Titanium and Titanium Alloys

Titanium is a transition metal located in Group 4 of the periodic table, with an atomic number of 22, a relative atomic mass of 47.87, and a density of 4.59 g/cm³. Visually, titanium resembles steel, exhibiting a silvery-white appearance. In air, titanium readily forms a thin, dense oxide layer, producing various oxides such as TiO, TiO₂, Ti₂O₃, and Ti₃O₅. Their physicochemical properties are summarized in Table 1. Typically, titanium alloys form a TiO₂ oxide layer.

Table 1 Properties of Titanium Oxides

Oxide	Color	Melting Point (°C)	Density (g/cm ³)	Chemical Stability
TiO	Black	1750	4.888	Less stable
TiO ₂	White	1800-1875	—	Stable
Ti ₂ O ₃	Purple	1900	4.486	Less stable
Ti ₃ O ₅	Blue-black	2180	4.290	Stable

Due to the uneven distribution of titanium on Earth and the difficulty in extracting it in an era of underdeveloped science and technology, titanium metal was considered a relatively low content metal for a long time. However, in fact, the content of titanium is quite high in nature. It is known that titanium accounts for up to 0.6% of the earth's crust within ten kilometers of the Earth's surface, ranking 10th among many elements in the crust and 4th among structural metals, only behind aluminum, iron, and magnesium, surpassing copper, nickel, lead, zinc, and other metal elements. Its content is even higher

than the total content of common metal elements such as zinc, tungsten, chromium, and lead [1-2]. China contains abundant titanium resources, with a large amount of titanium magnetite, rock minerals, and hematite minerals being the main mineral resources for producing titanium metal. With the development of science and technology, the smelting technology of titanium metal is becoming more and more advanced, and titanium is gradually appearing in industry. At the same time, titanium has good physical properties and plasticity, such as high strength and a density only half of iron, making it highly applicable.

The mechanical properties of industrial pure titanium are shown in Table 2. Titanium has relatively stable mechanical properties at room temperature and can maintain a stable state in air and water. However, it can react with water vapor and non metals at high temperatures, and liquid titanium can dissolve all metals. From the perspective of the industrial value and development prospects of titanium, with the deepening of new technologies and industrial revolution, titanium will become the "third metal" rising after iron and silver, and the century is about to be the "century of titanium" [4,5]. Titanium is a very special metal with characteristics such as low density, high specific strength, high and low temperature resistance, corrosion resistance, good plasticity, and low elastic modulus, which has made iron and its alloys widely used in many modern industrial fields [6,7].

Table 2 Mechanical Properties of Industrial Pure Titanium

Density (g/cm ³)	Melting Point (°C)	Thermal Conductivity (W/m·K)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Reduction of Area (%)	Elastic Modulus (MPa)	Hardness (HB)
4.05	1725	15.24	539	25	25	1.078× 10 ⁵	195

Adding other metal elements to titanium based materials can form titanium alloys. The classification of titanium alloys is mainly based on different titanium based materials. Titanium elements have different structures in different situations, forming titanium isomers [8]. When titanium is below 882°C, it has a closely packed hexagonal structure, known as α -titanium; When titanium is above 882°C, it has a body centered cubic structure and is called β -titanium. Therefore, titanium alloys based on alpha titanium are called alpha titanium alloys [9], represented by TA, which are single-phase alloys composed of alpha phase solid solutions. They can maintain the alpha phase at any temperature and have stable microstructure in the alloy. Their wear resistance is better than pure titanium and they have good oxidation resistance. At a temperature of around 550°C, its strength and creep resistance can be well maintained; Titanium alloys based on β -titanium are called β -titanium alloys [10], represented by TB. Similar to α -titanium alloys, they belong to single-phase alloys and consist of β -phase solid solutions. Regardless of temperature, β -titanium alloys can have good strength properties. After heat treatment, the performance of β - titanium alloys can be further improved. At normal room temperature, their strength can reach about 1450 MPa. However, the thermal stability of β - titanium alloys is poor, and their use in high-temperature environments is limited. In addition, both α -titanium and β -titanium can coexist in the titanium alloy matrix. At this time, titanium alloy is called ($\alpha+\beta$) alloy [11], represented by TC. It is a dual phase alloy composed of α -phase solid solution and β -phase solid solution, which can simultaneously possess the properties of α -titanium alloy and β -titanium alloy. While maintaining good stability, it also has excellent mechanical properties, high hardness, and strong processability, making it an ideal engineering material. Table 3 lists the main performance characteristics of three titanium alloys.

Table 3 Properties of α , β , and $\alpha+\beta$ Titanium Alloys

Property	α	β	$\alpha+\beta$	Property	α	β	$\alpha+\beta$
Density	+	+	-	Corrosion	++	+	+/-
Strength	-	+	++	Oxidation	++	+/-	-
Plasticity	-/+	+	+/-	Weldability	+	+/-	-
Fracture Toughness	+	-/+	+/-	Cold Formability	--	-	-/+

2. Development and Application of Titanium Alloys

With the expansion of application fields and environments, researchers have begun to study the use of titanium alloys. Compared with pure titanium, titanium alloys have better physical and chemical properties, such as better corrosion and wear resistance. Specific titanium alloys can be studied according to different application scenarios, greatly expanding the application scope of titanium and titanium alloys [12]. Titanium and titanium alloys, as emerging metal materials, are mainly used in the following fields.

2.1 Application of Titanium Alloy in Aerospace Field

At present, titanium alloys are mainly used in the aviation and aerospace fields due to their high strength, high wear resistance, high temperature stability, and the need to ensure low density. In the existing materials, it is difficult to find metal materials that can meet the demand. Common aluminum alloy materials have good plasticity, high strength, easy processing, and light weight, which can meet the basic requirements of aerospace equipment. However, aerospace equipment needs to experience high temperature environments with severe friction during use, which is an unavoidable disadvantage of using aluminum alloy to make aerospace equipment. Gradually, titanium alloys with good performance began to replace aluminum alloys as the main material for aerospace equipment. Aircraft frames, shells, engines, etc. made of titanium alloy materials can meet strength requirements while being lightweight. In addition, in aerospace equipment, parts made of titanium alloys can withstand high temperature friction from the atmosphere [13].

2.2 Application of Titanium Alloy in the Medical Field

Titanium alloy not only has good mechanical properties, but also has good biocompatibility in the coordination with living organisms, and can resist corrosion in living organisms without producing harmful substances. The use of titanium alloy as an implant can effectively solve the heterogeneity discomfort between metal implants and bone tissue. In the known medical field, surgical tools made of titanium alloy can effectively prevent foreign objects from infecting the body during surgery; Titanium alloy has good hardness and strength, which can replace damaged teeth, bones, etc. in living organisms, and can adapt to the cellular tissues of living organisms [14]. At present, the widely used biomedical metal materials mainly include five categories: stainless steel, cobalt based alloys, titanium and titanium alloys (including titanium based shape memory alloys), precious metals, and pure metals (niobium, zirconium) [15]. So far, titanium alloy is the best metal material used in clinical practice, mainly in plastic surgery, dentistry, and medical devices. In recent years, the market growth rate of biomedical materials and products has been increasing every year. With the rapid development of medical industries in various countries and the improvement of people's living standards, the number of people in need of plastic surgery and correction has been increasing year by year, making titanium alloys have broader prospects in biomedical fields.

2.3 Application of Titanium Alloy in Daily Life

In recent years, titanium alloys have been widely used in people's daily lives. Titanium alloy has

entered the cultural and sports goods market at a very high speed and has formed a certain scale, with golf clubs being a representative example. Titanium golf club heads have the advantages of light weight, large contact sphere, easy control, and easy hitting of targets. In addition to the golf market, the use of tennis rackets is also increasing. The bicycle industry is another promising application area for titanium alloys. The advantages of titanium bicycles are light weight, high strength, and good corrosion resistance, fatigue resistance, and shock resistance. Currently, almost all racing bicycles are made of titanium material. Titanium alloy can also be used to manufacture wheelchair frames, fishing gear, eyeglass frames, watches, cameras, and other daily necessities. Titanium is non-toxic, lightweight, high-strength, and has excellent biocompatibility, making it an ideal medical metal material that can be used as implants and surgical instruments in the human body. Research in this area has a history of several decades.

With the development of technology, the advantages of titanium alloys are constantly being discovered, and their applications are becoming more and more widespread, gradually emerging in various fields and becoming the new favorite of the metal industry. However, in some special cases, the application of titanium alloys is limited [16], such as in environments with high wear coefficients where the properties of titanium alloys themselves cannot meet the requirements for use; In addition, in the processing of titanium alloys, it is easy to react with elements such as O, H, N, and C in the air, especially the H element, which is harmful to any metal [17] and can easily cause various defects such as cracks, hydrides, and embrittlement.

References

- [1] Lei, T. (2018). *Titanium and Titanium Alloys*. Beijing: Metallurgical Industry Press.
- [2] Zhao, Y. Q. (2010). "Research Status and Development Trends of Titanium Alloys at Home and Abroad." *China Materials Progress*, 4(5), 9.
- [3] Jiang, J. H., Ding, Y., & Shan, A. D. (2015). "Microstructure and Mechanical Properties of Cold-Rolled Commercially Pure Titanium." *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 20(5), 4.
- [4] Bai, M., & Zhou, J. (2003). "Properties, Development and Applications of Titanium Metal." *Mining Express*, (5), 1-2.
- [5] Yu, J., & Zhou, J. (2004). "Properties, Development and Applications of Titanium Metal." *Southern Metals*, (1), 16.
- [6] Li, L., Sun, J. K., & Meng, X. J. (2004). "Research Status and Applications of Superplasticity in Titanium Alloys." *Development and Application of Materials*, 19(6), 34.
- [7] Yang, H., Wu, C., Li, H. W., et al. (2011). "Review on Development of Key Technologies in Plastic Forming of Titanium Alloy." *Materials China*, 30(6), 6.
- [8] Xie, X. K. (1990). "Heat Treatment of Titanium Alloys." *Heat Treatment of Metals*, 4(3), 10.
- [9] Han, M. C. (2008). "Thermomechanical Processing of α -Titanium Alloys." *Rare Metals Letters*, 27(6), 2.
- [10] Zhang, P. P., Wang, Q. J., Gao, Q., et al. (2012). "Research Status and Applications of High-Strength β -Titanium Alloys." *Hot Working Technology*, 41(14), 5.
- [11] Gong, B., Lai, Z. H., Shinke, M., et al. (1994). "Improvement of Microstructure and Mechanical Properties in (α + β) Titanium Alloys by Thermochemical Treatment." *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 7(3), 86-89.
- [12] Shao, J. (2007). "Research Progress and Applications of Titanium Alloys." *Rare Metals and Cemented Carbides*, 12(4), 61-65.
- [13] Qian, J. H. (2000). "Research, Development and Application of New Titanium Alloys for Aerospace." *Rare Metals*, 4(3), 218-223.

- [14] Feng, Y. F., Kang, H. F., & Zhang, Z. (2001). "Research and Application of Titanium Alloy Implant Materials in Medicine." *Rare Metals*, 12(5), 349-354.
- [15] Miao, W. D., & Lv, B. G. (2008). "Research Progress and Industrial Status of Biomedical Titanium Alloys." *Advanced Materials Industry*, (1), 45.
- [16] Wang, W. (2020). *Study on Micro-arc Oxidation Preparation Process and Sealing Technology of TC4 Titanium Alloy Coating*. *Beijing university of chemical technology*. (2020)
- [17] Zhang, G. H., Zhang, P. Z., Cui, C. E., et al. (2003). "Current Status and Prospects of Titanium Alloys and Their Surface Treatments." *World Sci-Tech R&D*, 10(4), 62-67.

Gao xianan — аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 524115957@qq.com

Поліщук Леонід Клавдійович - д-р техн. наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: leo.polischuk@gmail.com.

Gao xianan — graduate student of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 524115957@qq.com

Polischuk Leonid K. – Dr. Techn. Sc., Prof., Professor of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leo.polischuk@gmail.com.

Система позиціонування акустичних сенсорів

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова¹

Анотація. У роботі представлено результати дослідження і розробки роботизованої системи позиціонування спрямованих акустичних сенсорів на джерела сигналу. Прикладний характер роботи визначається застосуванням цієї системи у процесі керування подрібненням матеріалів у кульовому млині, де точність оцінювання гранулометричного складу звукометричним методом безпосередньо пов'язана з якістю акустичних сигналів. Запропонований підхід підвищує точність, надійність і адаптивність акустичного контролю, що робить його перспективним для впровадження в різноманітні автоматизовані технологічні процеси.

Ключові слова: акустичні сенсори, цифрова обробка сигналів, позиціонування, електричний привод, подрібнення матеріалів, система керування.

Акустичні сенсори знаходять широке застосування у таких сферах, як моніторинг технічного стану обладнання, мехатроніка, робототехніка, автономна навігація, інтелектуальні системи безпеки та багатьох інших. Інформативність акустичних сигналів значною мірою залежить від коректного розміщення спрямованих сенсорів у просторі, що забезпечує максимальну якість прийому, зниження рівня шумів та підвищення чутливості за корисним сигналом. У багатьох застосуваннях, де джерела шуму можуть бути рухомими, положення сенсорів повинно також змінюватися в реальному часі, тобто ставиться задача створення автоматичної слідуючої системи. Позиціонування спрямованих акустичних сенсорів на джерелі сигналу дозволяє забезпечити просторову селективність та покращити результати подальшої обробки сигналів. В умовах використання автоматизованих або роботизованих систем це є ключовим чинником підвищення ефективності систем «машинного слуху». Таким чином, розробка ефективних методів і систем керування позиціонуванням акустичних сенсорів є важливою задачею, яка безпосередньо впливає на якість, точність і надійність сучасних акустичних вимірювальних та діагностичних систем.

Метою дослідження є синтез комп'ютерно-інтегрованої системи керування позиціонуванням спрямованих акустичних сенсорів при акустичному методі визначення гранулометричного складу подрібненого матеріалу в кульовому млині в умовах невизначеності технологічного середовища. Запропонована система забезпечує автоматичне налаштування просторового положення сенсорів для підвищення стабільності акустичних характеристик, що корелюють із розміром часток матеріалу. Це дозволяє отримувати інформативні параметри процесу подрібнення, необхідні для прийняття керуючих технологічних рішень у режимі реального часу.

Для досягнення поставленої мети було запропоновано експериментальну механічну конструкцію у вигляді двовісьового робота-маніпулятора, на якій закріплюються акустичні сенсори. Механізм позиціонування має два ступені свободи: обертання в горизонтальній площині (кутове позиціонування по колу) та нахил або підйом/опускання сенсорного вузла для позиціонування по вертикалі. Зворотнім зв'язком у системі позиціонування слугують сигнали з акустичних сенсорів, закріплених на кінцевій ланці роботизованої платформи. Кожна ступінь руху приводиться в дію окремим керованим кроковим мотор-редуктором. Вибір крокових двигунів зумовлений можливістю керування їх швидкістю, що значно покращує динаміку та точність позиціонування.

В роботі проведено аналіз існуючих кінематичних схем роботів, та було прийнято рішення, що двовісьова схема, що працює у полярній системі координат, є достатньою для вирішення поставленої задачі. При цьому враховувались не тільки критерії якості позиціонування сенсорів у просторі, а й масо-габаритні та економічні показники. Використання кінематичних схем з

трьома та більше вісями принципово не покращує якість позиціонування акустичних сенсорів, однак значно ускладнює систему керування рухом.

Акустична система включає три мікрофони із суперкардіоїдною діаграмою спрямованості, які розташовуються безпосередньо біля корпусу млина. Різниця потужності сигналів, попарно отримана з мікрофонів, дозволяє позиціонувати сенсорний модуль у двох площинах. Акустичні сигнали, отримані від сенсорів, дозволяють непрямим методом оцінити гранулометричний склад матеріалу, що подрібнюється. Система позиціонування забезпечує збір даних з різних точок для підвищення точності оцінювання. Це дозволяє реалізувати зворотний зв'язок у системі автоматичного керування, адаптуючи параметри подрібнення в реальному часі.

Система керування позиціонуванням акустичних сенсорів побудована на базі портативного комп'ютера, який виконує функції керування, обробки та зберігання інформації. Для взаємодії з виконавчими механізмами використовується модуль введення/виведення дискретних сигналів, що з'єднується з генераторами імпульсів і драйверами крокових двигунів.

Запропонована система керування має можливість інтеграції в сучасні комп'ютерно-інтегровані виробничі середовища, наприклад в SCADA-системи. Її використання дозволяє підвищити якість контролю, зменшити людський фактор та забезпечити адаптивність до умов невизначеності, що особливо актуально в умовах складних або слабо формалізованих технологічних процесів.

У результаті проведеного дослідження було розроблено комп'ютерно-інтегровану систему позиціонування акустичних сенсорів, що забезпечує точне просторове керування положенням сенсорних елементів для підвищення якості збору акустичної інформації. Система може бути ефективно застосована для моніторингу процесу подрібнення матеріалів у кульовому млині, де акустичні параметри слугують інформативними ознаками поточного стану. Запропонований підхід має потенціал до розширення та впровадження в інші галузі акустичного контролю.

Рябушко Андрій Валерійович, старший викладач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, Andrii.Riabushko@kname.edu.ua

Кулаєнко Олег Олександрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, oleh.kulaienko@kname.edu.ua

Блажко Володимир Володимирович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, blazhko.vladimir@kname.edu.ua

Acoustic Sensor Positioning System

***Abstract.** The paper presents the results of research and development of a robotic system for positioning directional acoustic sensors toward signal sources. The applied nature of the work is determined by the use of this system in controlling the material grinding process in a ball mill, where the accuracy of granulometric composition estimation by acoustic methods is directly dependent on the quality of the acoustic signals. The proposed approach enhances the accuracy, reliability, and adaptability of acoustic monitoring, making it a promising solution for implementation in various automated technological processes.*

***Keywords:** acoustic sensors, digital signal processing, positioning, electric drive, material grinding, control system.*

Andrii Riabushko, Senior Lecturer at the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Andrii.Riabushko@kname.edu.ua

Oleh Kulaienko, PhD in Technical Sciences, Associate Professor. at the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, oleh.kulaienko@kname.edu.ua

Volodymyr Blazhko, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, blazhko.vladimir@kname.edu.ua

КОНСОЛІДАЦІЯ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙ МЕТОДОМ КОНТАКТНОГО ПЛАВЛЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація:

Для виробів з порошків, які під час спікання не можуть піддаватися впливу високих температур, доцільно використовувати їх консолідацію методом контактного плавлення. Для цього використовують суміші з додаванням порошків хімічних елементів, що добре змочують основні компоненти та мають добру електропровідність. У роботі показано результати контактного плавлення в сумішах порошків з твердих карбідів, боридів, вуглецевих нановолокон та інших компонентів. Плавлення виникало після подачі на систему імпульсу струму з джерела напруги для контактного зварювання листових матеріалів.

Ключові слова: порошки; плавлення; нановуглець; карбіди.

Abstract:

For products made of powders that cannot be exposed to high temperatures during sintering, it is advisable to use their consolidation by the contact melting method. For this purpose, mixtures with the addition of powders of chemical elements that wet the main components well and have good electrical conductivity are used. The work shows the results of contact melting in mixtures of powders of hard carbides, borides, carbon nanofibers and other components. Melting occurred after applying a current pulse to the system from a voltage source for contact welding of sheet materials.

Keywords: powders; melting; nanocarbon; carbides.

Для досягнення завдань забезпечення міцності та зносостійкості виробів використовують порошкові матеріали, які дозволяють забезпечити структуру та властивості матеріалу деталей відповідно до навантажень і функцій окремих поверхонь, ділянок. Відомі й широко застосовуються процеси термічної обробки, нанесення покриттів, модифікації поверхні тощо. Проблема виникає на етапі оздоблювальної обробки через високу твердість поверхонь. На етапі виготовлення цю проблему вирішують використанням надтвердих ріжучих інструментів. Але забезпечення ефективного припрацювання таких поверхонь пар тертя вимагає свого вирішення. Привертають увагу технології, засновані на явищі контактного плавлення, які дозволяють створювати шаруваті покриття з кількома особливими властивостями [1]. Зварювання, отримання легкоплавких матеріалів, закріплення порошкових матеріалів на робочих поверхнях, нанесення покриттів - ось неповний перелік можливих технологій за цим принципом.

Систему формують з кількох речовин, які утворюють евтектичні пари. Під час пропускання імпульсу струму між евтектичними парами виникає плавлення при температурах, нижчих за температури плавлення кожної з речовин системи [2, 3]. Модель процесу створена з використанням математичних рівнянь дифузійних процесів Арреніуса. Апроксимації та пакет математичних програм дають можливість отримати значення енергії та температур активації процесів плавлення в системі [2]. Це дозволяє розрахувати часткове розплавлення компонентів, зберігаючи високу в'язкість цієї тиксотропної суспензії. Ступінь завершеності фізико-хімічних процесів регулюють зміною потоків підведення та відведення енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] *V. I. Savulyak*. Synthesis of wear-resistant composite materials and surface layers from exothermic components. Vinnytsia: Universum, 2002. - 160p.
- [2] *V. I. Savulyak, A. A. Osadchuk, V. V. Savuliak*. Contact melting of unalloyed steel with graphite in diffusive unstazinary mode/ Bulletin of the Polytechnic Institute. Iasi, Romania. – №LIV (LVIII). 2008. С. 85-90.
- [3] *V. M. Zalkin*. The nature of eutectic alloys and the effect of contact melting. М.: Metallurgy, 1987, 152 p.
- [4] *V. I. Savulyak., A. A. Zhukov, T. F. Arkhipova*. On the influence of elements on the equilibrium temperatures of eutectic transformations/ Metal science and thermal processing of metals. – 2000. - №2. – P. 3 – 8.
- [5] *A. A. Akhkubekov, T. A. Orkvasov, V. A. Sozaev*. Contact melting of metals and nanostructures based on them. М.: Fizmatlit, 2008. - 152 p.

P. K. Korotkov, M. Z. Laiponov, A. R. Manukyantz, M. Kh. Ponezhev, V. A. Sozaev. Microstructure of contact layers formed during contact melting of copper with aluminum / Surface. X-ray, synchrotron and neutron studies. – 2014. – № 7. – С. 109-112

Савуляк Валерій Іванович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: korsav84@gmail.com

Осадчук Андрій Андрійович – магістр, кафедра галузевого машинобудування, _Вінницький національний технічний університет, _E-mail: os.andrey2@gmail.com.

CONSOLIDATION OF POWDER COMPOSITIONS BY CONTACT FUSION METHOD

Savulyak Valeriy I. – Dr. Techn. Sc., Prof., Professor of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: korsav84@gmail.com.

Osadchuk Andrey A. - graduate student of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: os.andrey2@gmail.com.

Б. С. Карпінос,
Л. В. Кравчук,
К. П. Буйських,
А.В.Рутковський,
Є.О.Задворний,
В.М.Співак

ПРОГНОЗУВАННЯ ГРАНИЧНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА УМОВ ЦИКЛІЧНОЇ ДІЇ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗОВОГО СЕРЕДОВИЩА

Інститут проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України

Анотація

Наведено критичний аналіз сучасних методів прогнозування термоциклічної довговічності матеріалів та показано перспективність запропонованих авторами методів прогнозування, що базуються на засадах термодинаміки, та фізичного моделювання. Розглянуто приклади застосування комп'ютерних технологій для розв'язання мультифізичних задач рухомого середовища і твердого тіла для визначення несталого термодинамічного стану матеріалів.

Ключові слова: граничний стан, температура, напруження, довговічність, критерії та рівняння, прогнозування

Вступ

Дослідження втоми конструктивних матеріалів налічують майже 200 літню історію. За цей час досягнуто розуміння природи цього складного процесу. Накопичено великий обсяг експериментальних результатів деформування і руйнування різних класів матеріалів. Запропоновано різноманітні критерії і рівняння граничного стану. Разом з тим сучасний технічний прогрес потребує розв'язання актуальних проблем прогнозування втоми матеріалів в нових умовах термосилового навантаження, зокрема в умовах дії рухомого середовища з високими термодинамічними параметрами.

Прогнозування граничного стану

Теорії і методи прогнозування граничного стану матеріалу (поява тріщини, незворотне деформування зразка, повне або часткове його руйнування та інші) є феноменологічними, що ґрунтуються на експериментальних результатах і подальшій їхній статистичній інтерпретації. Встановлено, що степені залежності задовільно описують результати дослідів в межах одного переважаючого механізму деформування

$$N = A\sigma^n \text{ або } N = B\varepsilon^m, \quad (1)$$

де N – довговічність, σ – напруження, ε – деформації, A, B, n, m – емпіричні параметри. Параметри рівняння (1) в свою чергу залежать від структури і складу матеріалу, технологічних і експлуатаційних чинників, умов навантаження, стану поверхні, робочого середовища тощо. Це пояснює різноманітність рівнянь, що додатково враховують той, чи інший чинник. Крім того, для забезпечення адекватності рівняння (1) виникає потреба визначення межі дії механізму деформування, що пов'язано з додатковими експериментальними дослідженнями.

Термічна втома матеріалів займає окреме місце в загальній проблемі втоми. Термічні напруження є наслідком неоднорідності теплових станів конструктивних елементів, що

притаманно несталим режимам роботи обладнання. Це стосується, теплової та атомної енергетики, газових турбін та ракетних двигунів, ливарного виробництва, поверхневого зміцнення. В кожному випадку, виходячи з мети, розробляється методика досліджень, обирається або створюється експериментальне обладнання, виконується чисельне моделювання несталих термодинамічних станів зразків, що тотожні експлуатаційним станам конструкційних елементів. При цьому забезпечується фізико-хімічна подібність, хоча геометрична порушується. Зразки мають форму клиновидної призми, пластини, порожнистого циліндру або еліпсоїду. Зазвичай нагрівання зразків відбувається газовим (іноді іонізованим) потоком або локальним проходженням електричного струму, або у контакт з розплавом металу, чи солі. Тепловий стан під час експериментальних досліджень контролюється сучасними засобами вимірювання і порівнюється з результатами моделювання. Ознакою руйнування зразків є поява тріщини певної довжини або їх критичне незворотне деформування, а також кінетика.

В загальному випадку залежність довговічності від експлуатаційних умов має вигляд

$$N = f\left(\sigma_i, \varepsilon_i, T, t, \frac{\sigma_1}{\sigma_2}, \text{grad}\sigma_i, \frac{d\sigma_i}{dt}, k, \dots\right) \quad (2)$$

де T – температура, t – час, k – структурно-технологічний або експлуатаційний чинник (наявність покриття, залишкові напруження, концентрація агресивного компоненту тощо). Конкретизація рівняння (2) досягається відповідними експериментальними дослідженнями. Авторами доповіді запропоновано такі рівняння термічної втоми конструкційних матеріалів

$$N = C[\varepsilon_i \exp(A|\text{grad}\varepsilon_i|)]^m$$

$$\ln N = b_0 + b_1 T_{max} + b_2 2\sigma_a, \quad \ln N = b_0 + b_1 T_{max} + b_2 2\sigma_a, \quad \ln N = b_0 + b_1 T_{max} + b_2 \ln 2\sigma_a, \quad \ln N = b_0 + b_1 T_{max}$$

$$\ln N = b_0 + b_1 \Delta\varepsilon + b_2 T,$$

де σ_a – амплітуда термічних напружень в циклі, T_{max} – максимальне значення температури в циклі, C, A, b_0, b_1, b_2, b_3 – статистично визначені параметри емпіричних рівнянь.

Висновки

Показано перспективність запропонованого феноменологічного напрямку дослідження термічної втоми матеріалів за умов циклічної дії високотемпературного газового середовища.

Карнінос Борис Сергійович – доктор техн. наук, професор, завідувач відділу Інституту проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України,

Кравчук Леонід Васильович – доктор техн. наук, професор, провідний науковий співробітник Інституту проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України

Буйських Костянтин Павлович – канд. техн. наук, заступник директора Інституту проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України

Рутковський Анатолій Віталійович – канд. техн. наук, ст. наук. співр. Інституту проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України

Задворний Євгеній Олександрович – канд. техн. наук, ст. наук. співр. Інституту проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України

Снівак Віктор Маркович – головний інженер-дослідник Інституту проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України

Prediction of the limit state of structural materials under conditions of cyclic action of high-temperature gas

Abstract

A critical analysis of modern methods for predicting the thermocyclic durability of materials is presented and the prospects of the forecasting methods proposed by the authors, based on the principles of thermodynamics and physical modeling, are shown. Examples of the application of computer technologies for solving multiphysical problems of a moving medium and a solid body to determine the unstable thermodynamic state of materials are considered.

Keywords: *limit state, temperature, stress, durability, criteria and equations, forecasting*

Borys Karpinos – Doctor of technical sciences, professor, head of department G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine

Kostiantyn Buiskykh – Ph.D., deputy director for scientific work G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine

Leonid Kravchuk – Doctor of technical sciences, professor, leading researcher G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine

Anatolii Rutkovskiy – Ph.D., research worker, G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine

Yevhenii Zadvornyi – Ph.D., research worker, G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine

Viktor Spivak – chief engineer researcher G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine

М.В. Марич
Г.А. Баглюк
Т.Л. Кузнецова
Г.М. Молчановська
О.А. Голубенко

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ СПЕЧЕНОГО ЖАРОМІЦНОГО СПЛАВУ СИСТЕМИ Nb-Ti-Al-Cr-Mo

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

***Анотація.** В роботі наведені результати оцінки можливості використання методів порошкової металургії для отримання гомогенного жароміцного сплаву системи 57Nb-10Cr-5Al-21Ti-7Mo (ат. %) із суміші елементарних порошків. Показано, що розмел вихідної порошкової суміші призводить до підвищення величини поруватості пресовок, отриманих із такої шихти, із збільшенням тривалості розмелу, однак сприяє значній інтенсифікації усадки при спіканні. Особливо помітне зменшення пористості спостерігається для зразків, спресованих із порошків розмелених протягом 30 та 60 хв. Після спікання пресовок з суміші елементарних порошків при 1600 °C формується гомогенний однофазний сплав з ОЦК структурою.*

***Ключові слова:** жароміцний сплав, ніобій, порошкова металургія, механоактивація, спікання, структура..*

Одним із шляхів підвищення ефективності використання палива і коефіцієнта корисної дії газотурбінних двигунів є використання в гарячій секції двигунів новітніх матеріалів, які мають нижчу густину, можуть витримувати більш високі робочі температури, ніж широко використовувані сьогодні суперсплави на основі нікелю, та відповідати вимогам щодо рівня міцності, повзучості при високих температурах та стійкості до окислення [1-2].

До такого класу матеріалів, здатних значною мірою забезпечувати задекларовані вище вимоги, відносяться сплави на основі ніобію, зокрема - сплави або *in situ* композити на основі силіциду ніобію [2]. Але наявність значного вмісту силіцидних фаз в складі сплавів на основі системи Nb-Si, які забезпечують підвищений рівень їх високотемпературних характеристик, призводить, однак, до критичного падіння значень в'язкості руйнування при кімнатній температурі.

Це обумовило доцільність пошуку шляхів отримання безкремнистих (або -малокремнистих) ніобієвих сплавів, які, за умов забезпечення високого рівня високотемпературних механічних характеристик, мали б достатню міцність та в'язкості руйнування і при кімнатній температурі.

Метою даної роботи була оцінка можливості використання методів порошкової металургії для отримання гомогенного жароміцного сплаву системи 57Nb-10Cr-5Al-21Ti-7Mo (ат. %) із суміші елементарних порошків та оцінка механічних характеристик спеченого сплаву.

Як вихідні матеріали для виготовлення сплаву використовувалися комерційні порошки ніобію, титану, алюмінію молібдену та електролітичного хрому. Вихідну порошкову шихту готували шляхом змішування суміші порошків у барабанному змішувачі з діагональною віссю протягом 60 хв. з додаванням до суміші етилового спирту. З метою механоактивації порошків частину їх піддавали розмелу у планетарному млині варіюючи тривалість процесу в діапазоні 15 - 60 хв. при співвідношенні маси шихти до маси розмельних тіл 1:8. Технологічна схема отримання матеріалу включала пресування порошкових сумішей під тиском 700 МПа та їх наступне спікання спресованих заготовок у вакуумі при температурі 1600 °C.

Як показали дослідження, збільшення тривалості розмелу призводить до монотонного підвищення величини поруватості заготовок отриманих пресуванням при 700 МПа: поруватість пресовок із порошкової суміші, що не піддалася розмелу, складає ~18 %, тоді як після розмелу на протязі 30 та 60 хв. поруватість збільшується до 30-31 % (рис. 1). Відзначений ефект пояснюється як зміною морфології частинок порошку, так і їх значним деформаційним зміцненням, набутим в процесі розмелу. Збільшення тиску пресування понад 700 МПа призводить до розшарування пресовок.

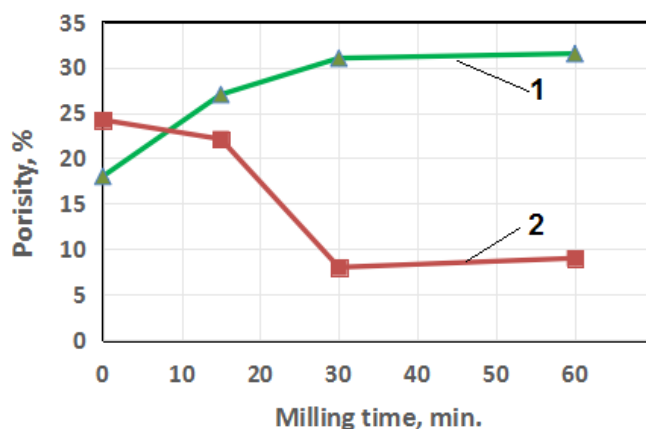


Рис. 1. Вплив тривалості розмелу на пористість заготовок після пресування (1) та наступного спікання при 1600 °C (2)

Враховуючи те, що спіканням нерозмеленої шихти не вдалося отримати матеріал відносно високої щільності, в подальшому розглядався лише сплав, отриманий із шихти, що піддавалася розмолу на протязі 30 хв.

Як показали результати досліджень, структура спечених зразків відзначається високою ступінню гомогенності та складається із зерен головним чином рівновісної форми. Переважний розмір зерен сплаву складає від 25 до 50 мкм. Висока ступінь гомогенності спечених сплавів підтверджується також результатами рентгенофазового аналізу досліджуваних матеріалів. Як можна бачити з рис. 5,а, фазовий склад вихідної порошкової суміші очікувано включає лише лінії елементарних хімічних елементів - складових шихти, тоді як після спікання при 1600 °C формується однофазний сплав з ОЦК структурою, що свідчить про досягнення практично повної гомогенізації матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tsakiroopoulos P. Alloys for application at ultra-high temperatures: Nb-silicide in situ composites: Challenges, breakthroughs and opportunities. *Progress in Materials Science*. **123**, 100714 (2022).
2. Graham S.J., Gallagher E., Baxter G.J. et al. Powder production, FAST processing and properties of a Nb-silicide based alloy for high temperature aerospace applications. *Journal of Materials Research and Technology*. **28**, 3217-3224 (2024).

Марич Мирослав Васильович, кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ, myroslavmv@ukr.net.

PHYSICAL AND CHEMICAL FEATURES OF OBTAINING SINTERED HEAT-RESISTANT ALLOY OF THE Nb-Ti-Al-Cr-Mo SYSTEM

Abstract. The paper presents the results of the assessment of the possibility of using powder metallurgy methods to obtain a homogeneous heat-resistant alloy of the 57Nb-10Cr-5Al-21Ti-7Mo (at. %) system from a mixture of elementary powders. It is shown that grinding of the initial powder mixture leads to an increase in the porosity of compacts obtained from such a charge with an increase in the grinding duration, but contributes to a significant intensification of shrinkage during sintering. A particularly noticeable decrease in porosity is observed for samples pressed from powders ground for 30 and 60 minutes. After sintering of compacts from a mixture of elementary powders at 1600 °C, a homogeneous single-phase alloy with a bcc structure is formed.

Keywords: heat-resistant alloy, niobium, powder metallurgy, mechanical activation, sintering, structure.

Myroslav Marych, PhD, Senior Researcher, Senior Research Fellow at the I.M. Frantsevych Institute for Problems of Materials Science NAS of Ukraine, Kyiv, myroslavmv@ukr.net.

О.В. Власова
Г.О. Максимова
Г.М. Молчановська
Т.О. Васильєва

МІКРОСТРУКТУРА ТА ФАЗОВИЙ СКЛАД БІМЕТАЛЕВИХ ШАРУВАТИХ КОМПОЗИТІВ НИЗЬКОЛЕГОВАНА СТАЛЬ - (W-Co)/(Ag-Cu)

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

Анотація

Досліджено мікроструктуру, фазовий склад біметалевих шаруватих композитів низьколегована сталь - (W-Co)/(Ag-Cu) отриманих наплавленням електродуговим відцентровим способом

Ключові слова: композит, біметал, сталь, вольфрам, кобальт, твердий сплав, мікроструктура

Метою даної роботи є дослідження мікроструктури та фазового складу біметалевих шаруватих композитів низьколегована сталь - (W-Co)/(Ag-Cu).

Одним з шляхів підвищення експлуатаційного ресурсу сталевих деталей, що працюють в умовах високої швидкості тертя, агресивного середовища, підвищеної температури та тиску є виготовлення та використання біметалічних шаруватих композитів. Композити забезпечують значну економію дорогих та дефіцитних металів та формують поєднання фізико-механічних властивостей, які не можна отримати в одному окремо взятому металі або сплаві. Найкращі характеристики досягаються за рахунок поєднання переваг матеріалів компонентів. Вони потенційно можуть застосовуватися у верстатобудівній, автомобільній та аерокосмічній промисловості для заміни традиційних матеріалів.

У даній роботі вивчалися біметалеві вироби, виготовлені з низьколегованої сталі марки 40X зміцнені шаром з твердого сплаву, який є робочою поверхнею і забезпечує комплекс високих фізико-механічних властивостей. Шари W-Co/Ag-Cu були наплавлені електродуговим відцентровим способом на поверхню виробу із сталі. Методами оптичної та електронної мікроскопії, а також рентгенофазового аналізу були вивчені структура та фазовий склад інтерфейсу (областей сполучення між шарами), розподіл елементів та властивості біметалічного композиту.

Хімічний склад біметалевого композиту визначався за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕММА-2 з рентгенівським мікроаналізатором, структурні дослідження проводились за допомогою оптичного та растрового електронного мікроскопа. Фазовий аналіз вивчався на дифрактометрі ДРОН-3 у випромінюванні Co-K α . На рис. 1 наведено загальний вид біметалевого композиту та мікроструктура його шарів W-Co/Ag-Cu.

Методами оптичної та електронної мікроскопії, а також рентгенофазового аналізу встановлено, що наплавлений шар є композиційним і складається з проміжного шару Ag-Cu, який розташовується безпосередньо на поверхні сталевій основі та зовнішнього шару W-Co, нанесеного на проміжний шар. Робочий шар W-Co формується із твердого сплаву вольфраму та кобальту з незначними технологічними домішками заліза, фосфору та сірки (рис. 1б). Товщина твердосплавного шару складає 1046 мкм і залишається незмінною на весь зразок. Мікроструктура є однорідною і формується з вольфраму карбідів розміром 0,4 - 3,2 мкм, розташованих в матриці з кобальту. Хімічний склад шару відповідає марці BK10. Мікротвердість шару варіюється від 3,0 до 11 ГПа.

Проміжний шар Ag-Cu формується сплавом срібла та міді, має чітко окреслені межі з боку твердого сплаву W-Co і сталевій матриці (рис. 1, 1б). Мікроструктура шару є гетерогенною та формується твердим розчином міді у сріблі та евтектикою з мікротвердістю 350-850 МПа. Товщина шару Ag-Cu дорівнює 184 мкм і залишається практично незмінною з усього зразка.

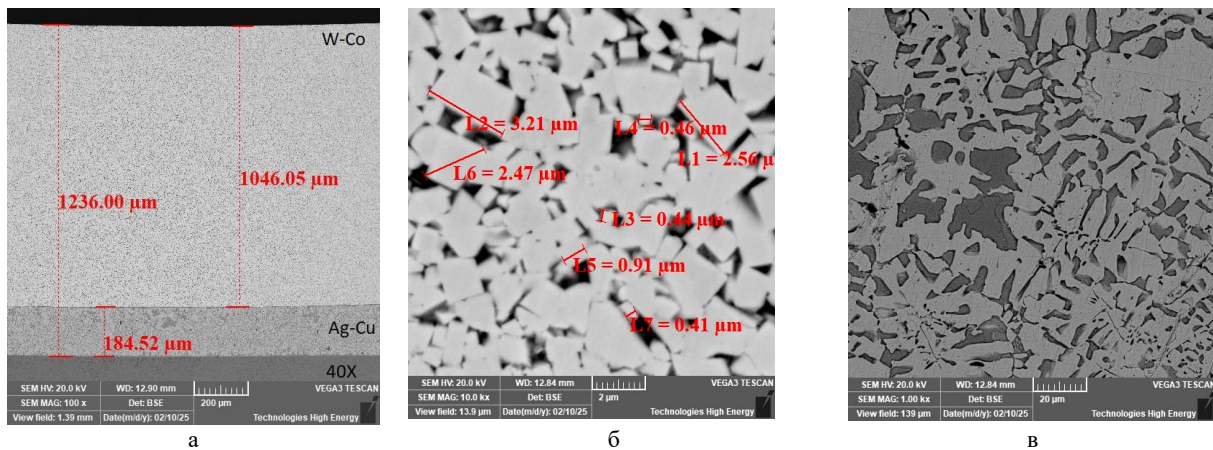


Рис. 1. а) Структура біметалевого композиту, б) Мікроструктура шару W-Co, в) Мікроструктура шару Ag-Cu

Результати досліджень показали, що в біметалевому композиті спостерігається щільний зв'язок між шарами W-Co/Ag-Cu, який досягається за рахунок проникнення в підрешітку твердого розчину сплаву Ag-Cu на кілька мікронних шарів і є нерівномірною по межі розділу. Кордон розділу не має дефектів або надмірної деформації шаруватого композиту.

Розподіл елементів на межі шару Ag-Cu/сталь показує присутність заліза у шарі Ag-Cu на глибину приблизно 3-4мкм, що забезпечує хороше зчеплення шарів на межі розділу та високі технологічні характеристики шаруватих композитів.

Таким чином, у роботі було показано, що наплавленим електродуговим відцентровим способом на поверхню сталевого виробу марки 40X можливо нанести шар твердого сплаву до 1046 мкм. Для щільного зв'язку між шарами необхідний проміжний шар Ag-Cu товщиною не менше 180 мкм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мініцький А.В., Биба Є.Г., Мініцька Н.В., Власова О.В., Ведель Д.В. Розробка вольфрамідних сильноточкових контактів на основі відходів металообробки. Науково-технічний журнал *Металознавство та обробка металів* 2019, vol. 25, 4(92), 53-60. <https://doi.org/10.15407/mom2019.04> <https://doi.org/10.15407/mom2019.04.053>

Власова Оксана Василівна кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім.І.М.Францевича НАНУ, Київ, E-mail: o.vlasova@ipms.kyiv.ua

Максимова Галина Олексіївна науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім.І.М.Францевича НАНУ, Київ, E-mail: maksimova@i.ua

Молчановська Галина Михайлівна науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім.І.М.Францевича НАНУ, Київ, E-mail: galina_mm@ukr.net

Васильєва Тетяна Олександрівна головний інженер-технолог Інституту проблем матеріалознавства ім.І.М.Францевича НАНУ, Київ, E-mail: o.vlasova@ipms.kyiv.ua

MICROSTRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF BIMETALLIC LAYERED COMPOSITES LOW ALLOY STEEL - (W-Co)/(Ag-Cu)

Abstract

The microstructure and phase composition of bimetallic layered composites low-alloy steel - (W-Co)/(Ag-Cu) obtained by electric arc centrifugal deposition were investigated

Keywords: composite, bimetal, steel, tungsten, cobalt, hard alloy, microstructure

Vlasova Oksana PhD, Senior Researcher of Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NASU, Kyiv, E-mail: o.vlasova@ipms.kyiv.ua

Maksimova Galina Scientific Researcher of Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NASU, Kyiv, E-mail: maksimova@i.ua

Molchanovska Galina Scientific Researcher of Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NASU, Kyiv, E-mail: galina_mm@ukr.net

Vasilyeva Tatyana Chief process engineer of Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NASU, Kyiv, E-mail: o.vlasova@ipms.kyiv.ua

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ КОЛИВАЛЬНИХ СИСТЕМ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація

Високоєфективні міжрезонансні коливальні системи вібраційних машин мають ряд недоліків, які унеможливають широке впровадження таких структур у масове виробництво. Розглянуто напрями подальшого вдосконалення високоєфективного вібраційного обладнання для підвищення його технологічних та експлуатаційних характеристик.

Ключові слова: вібраційна машина, міжрезонансна коливальна система, енергоефективність.

Важливими критеріями створення технологічного обладнання для підприємств машинобудівної, хімічної, будівельної та харчової промисловостей є надійність роботи, простота в експлуатації, ефективність функціонування, що полягає у низькому енергоспоживанні. Вібраційне технологічне обладнання на основі тримасових та дискретно-континуальних міжрезонансних коливальних систем безумовно володіє високими динамічними підсиленнями коливань [1], і, як наслідок, значною енергоефективністю функціонування.

Однак, поряд з перевагами, коливальні системи, які є основою для компонування такого обладнання, мають ряд суттєвих недоліків, що унеможливають широке впровадження у виробництво такого типу машин. Розглянемо дискретно-континуальну міжрезонансну коливальну систему вібраційного столу з електромагнітним приводом [2] (рис. 1). Континуальна ділянка є гнучкою металевою пластиною, що збурюється внаслідок дії електромагнітів. Для енергоефективного функціонування необхідно мінімізувати повітряні проміжки між пластиною та осердями магніту. Це обмежує амплітуду коливань пластини. Амплітуда коливань континуальної ділянки, при цьому, є стрімкоподібною [3], що потребує високої точності налагодження обладнання. Такий вібраційний стіл містить систему резонансних пружних вузлів, що також є складними у налагодженні.

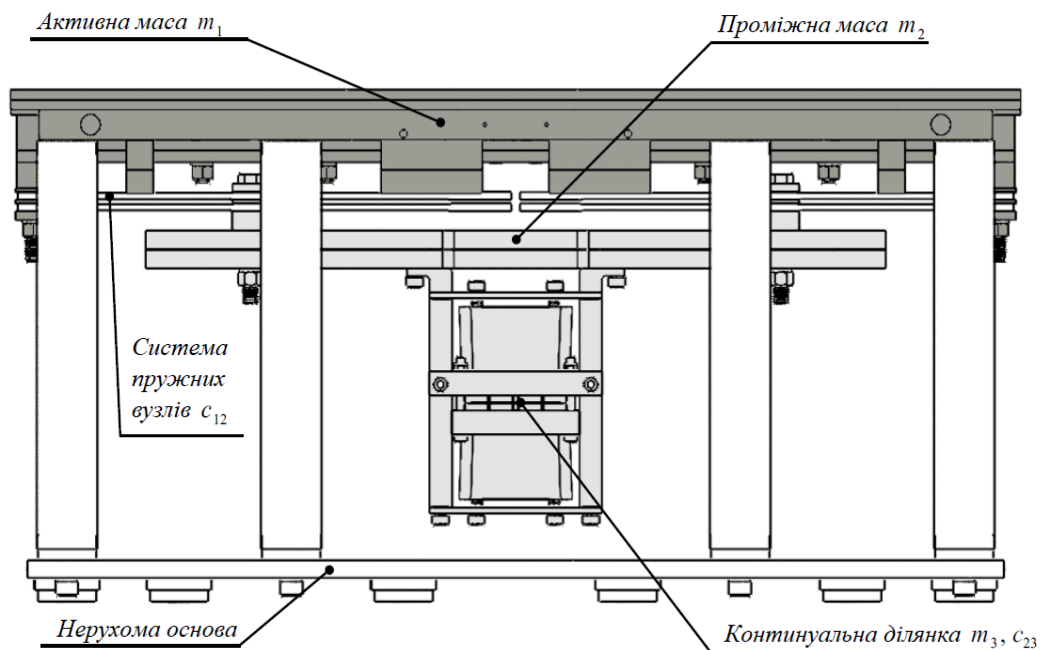


Рисунок 1 – Коливальна система вібраційного столу з електромагнітним приводом [2]

Дані недоліки ускладнюють процес налагодження високоефективних вібраційних машин, для їх усунення запропоновано наступні напрямки удосконалення:

1. Створення похідних коливальних систем, у яких роль резонансного пружного вузла виконує додаткова континуальна ділянка. Дане вирішення представлено у роботі [3].

2. Дослідження широкого діапазону частот збурення таких коливальних систем з метою виявлення режимів, де спостерігатимуться стабільні амплітуди коливань континуальної ділянки. Результати попередніх досліджень представлено у статті [2].

3. Пошук альтернативних джерел збурення високоефективних коливальних систем, де амплітуда коливань континуальної ділянки не обмежуватиметься вузьким діапазоном.

Отже, запропоновані шляхи удосконалення високоефективних коливальних систем вібраційних машин потребують подальших наукових досліджень для створення вібраційного технологічного обладнання з покращеними технологічними та експлуатаційними характеристиками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kachur O., Lanets O., Korendiy V., Lozynsky V., Kotsiumbas O., Havrylchenko O., Maherus N. Mathematical modelling of forced oscillations of continuous members of resonance vibratory system. *Vibroengineering PROCEDIA*, vol. 38, 2021. – pp. 13-18. DOI: 10.21595/vp.2021.22063.

2. Майструк П., Ланець О., Майструк В. Лінійний динамічний аналіз континуальних ділянок вібраційних машин. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні, вип. 58, 2024. – с. 38 – 46. DOI: 10.23939/istcipa2024.58.038.

3. Lanets O., Derevenko I. Mathematical modeling of the possibility of creating interresonance discrete-continuous vibration technological equipment without a spring. *PROCEDIA*, vol. 55, 2024. – pp. 47-53. DOI: 10.21595/vp.2024.24498.

Майструк Павло Володимирович – PhD, асистент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, pavlo.v.maistruk@lpnu.ua.

Майструк Володимир Володимирович – к.т.н, доцент, заступник директора Інституту механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, volodymyr.v.maistruk@lpnu.ua.

WAYS TO IMPROVE HIGHLY EFFICIENT OSCILLATING SYSTEMS OF VIBRATING MACHINES

Abstract

Highly efficient interresonant oscillating systems of vibrating machines have a number of disadvantages that make it impossible to introduce such structures widely into mass production. The directions for further improvement of highly efficient vibrating equipment to improve its technological and operational characteristics are considered.

Keywords: vibration machine, interresonant oscillating system, energy efficiency.

Pavlo Maistruk – PhD, assistant, Department of Robotics and Integrated Technologies of Mechanical Engineering, Lviv Polytechnic National University, Lviv, pavlo.v.maistruk@lpnu.ua.

Volodymyr Maistruk – Ph.D., associate professor, Deputy Director of the Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, volodymyr.v.maistruk@lpnu.ua.

МАЛОГАБАРИТНІ ВІБРАЦІЙНІ ТА ВІБРОУДАРНІ ГІДРОІМПУЛЬСНІ ВІБРАТОРИ З ВБУДОВАНИМ ПАРАМЕТРИЧНИМ ГЕНЕРАТОРОМ ІМПУЛЬСІВ ТИСКУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В доповіді розглянуто схемні та конструктивні особливості малогабаритних гідроімпульсних вібраторів – гідроциліндрів силові та розподільні ланки яких вбудовані або суміщенні з пружними елементами високої жорсткості типу прорізних чи кільцевих пружин. Керування робочим режимом вібраторів здійснюється вбудованими параметричними генераторами імпульсів тиску підвищеної пропускної здатності з фасковою герметизацією першого та другого їх ступенів герметизації. Розглянуто області використання вібраторів і шляхи їх удосконалення.

Ключові слова: вібрації, вібратор, генератор імпульсів тиску, гідроімпульсний привод, гідроциліндр, кільцева пружина, прорізна пружина, пружні елементи високої жорсткості.

Abstract

The report examines the schematic and structural features of compact hydroimpulse vibrators—hydraulic cylinders whose power and distribution elements are integrated or combined with high-stiffness elastic elements such as slotted or ring springs. The operating mode of the vibrators is controlled by built-in parametric pressure pulse generators with increased flow capacity and chamfered sealing at the first and second sealing stages. The report discusses areas of vibrator application and ways to improve them.

Keywords: vibration, vibrator, pressure pulse generator, hydro-pulse drive, hydraulic cylinder, coil spring, through spring, ring spring, high-stiffness spring elements.

Вступ

Одним із нових напрямків інтенсивної роботи наукової школи гідроімпульсного привода (ГП) у ВНТУ, створеного Ігорем МАТВЕСВИМ, є розроблення на основі схемного пошуку та дослідно-конструкторських робіт (ДКР) компактних гідроімпульсних пристроїв на базі пружних елементів високої жорсткості (ПЕВЖ) типу тарілчастих (ТП), прорізних (ПП) і кільцевих (КП) пружин та їх комбінацій [1, 2]. Схемною та конструктивною особливістю цих пристроїв є суміщення з ПЕВЖ силових та розподільних ланок пристроїв, якими є гідродвигун (гідроциліндр) та параметричний генератор імпульсів тиску (ГП) [3]. На основі цього суміщення розроблено дослідно-конструкторські зразки (ДКЗ) високоефективних малогабаритних пристроїв для віброрізання (ВР), поверхневого деформаційного зміцнення деталей (ПДЗД) і малогабаритних гідроімпульсних вібраторів – гідроциліндрів (ГІВ – ГІЦ) [4, 5].

Результати дослідження

Розширення технологічних можливостей ГІВ – ГІЦ на базі ПЕВЖ здійснюється на сучасному етапі в двох напрямках – розроблення цих пристроїв з чисто вібраційним рухом виконавчої ланки та ГІВ – ГІЦ з віброударним режимом навантаження об'єкта технологічного впливу. З метою уніфікації системи керування робочим процесом ГІВ – ГІЦ – створення гідроімпульсного режиму його роботи, доцільно використати вбудований у виконавчу ланку вібратора або суміщений з нею параметричний ГП підвищеної пропускної здатності [6] з фасковою герметизацією на першому та другому ступенях герметизації або модифікації цього типу ГП.

ГІВ – ГІЦ з чисто вібраційним рухом виконавчої ланки легко реалізується в конструкції вібратора на базі КП з плаваючим сідлом, яке разом із запірним елементом на вхідному кінці виконавчого плунжера вібратора (конусним клапаном) утворює перший і спеціальним циліндричним клапаном – втулкою другий ступені ГП з фасковою герметизацією [7, 8]. З боку першого ступеня герметизації ГП сідло навантажено короткою (жорсткою) КП, а друга (основна) КП є пружним елементом регулятора тиску «відкриття» p_1 генератора та формує амплітудний діапазон вібронавантаження, яке спричиняє плунжер ГІВ – ГІЦ на об'єкт технологічного впливу чи

виконавчу ланку вібромашини, якщо вібратор використовується як гідроциліндр. В цій конструкції ГІВ – ГЦ замість КП можуть бути використані ПП.

ГІВ – ГЦ з віброударним режимом навантаження об'єкта технологічного впливу мають такого ж типу як у чисто вібраційних вібраторах ГІТ, а віброударна ланка побудована у вигляді гідромеханічного акумулятора, який накопичує потенціальну енергію для періодичної ударної взаємодії з об'єктом технологічного впливу внаслідок деформації ПП чи КП під час прямого ходу (зарядки) його плунжера, що одночасно є й виконавчою ланкою вібратора. Накопичена потенціальна енергія переходить в кінці зворотного ходу плунжера гідромеханічного акумулятора в потенціальну енергію об'єкта технологічного впливу ГІВ – ГЦ. Узгоджена взаємодія ГІТ з віброударною ланкою ГІВ – ГЦ регулюється дросельним реле часу. Як і у вібраційних ГІВ – ГЦ, у віброударних вібраторах розподільно-силові ланки ГІТ та віброударної частини поєднуються або є частиною ПЕВЖ (ПП чи КП).

Області можливого використання ГІВ – ГЦ – реалізація різноманітних вібротехнологій, наприклад, в галузях порошкової металургії, будівництва чи ресурсних випробовувань машинобудівних виробів або застосування як гідроциліндрів вібраційних і віброударних технологічних машин.

Удосконалення розглянутих в доповіді ГІВ – ГЦ може здійснюватися в різних напрямках, наприклад, застосування вбудованого чи сумішеного з виконавчою ланкою вібратора ГІТ з додатковим регулюванням його тиску «закриття» p_2 , що розширює технічні та технологічні можливості ГІВ – ГЦ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Обертюх Р. Р. Пристрої для віброточіння на базі гідроімпульсного привода : монографія / Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 164 с.
2. Обертюх Р. Р. Пристрої для вібраційного різання та деформаційного зміцнення з пружними елементами високої жорсткості / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В. // Матеріали (тези) XVI Міжнародної науково-технічної конференції «ВІБРАЦІЇ В ТЕХНІЦІ ТА ТЕХНОЛОГІЯХ» (Вінниця, листопад 2017 р.). – С. 68 – 71.
3. Іскович-Лотоцький Р. Д. Генератори імпульсів тиску для керування гідроімпульсними приводами вібраційних та віброударних технологічних машин : монографія / Іскович-Лотоцький Р. Д., Обертюх Р. Р., Архипчук М. Р. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 171 с.
4. Обертюх Р. Р. Віброударний пристрій з гідроімпульсним приводом підвищеної швидкодії та ефективності для деформаційного зміцнення поверхонь деталей машин / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Марущак М. В. // Вісник машинобудування та транспорту, м. Вінниця № 1, 2017. – С. 63 – 71.
5. Обертюх Р. Р. Гідроімпульсні малогабаритні вібратори на базі прорізних пружин / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Поліщук О. В., Ганцапурова О. С. // Вісник машинобудування та транспорту – №1 (15), 2022. – С. 124 – 130.
6. Обертюх Р. Р. Параметричні однокаскадні генератори імпульсів тиску підвищеної пропускної здатності / Обертюх Р. Р., Слабкий А.В., Андрухов С. Р., Кудраш В.О. // Вісник машинобудування та транспорту – №1, 2019. – С. 40 – 48.
7. Обертюх Р. Р. Напрямки розвитку гідроімпульсних приводів і пристроїв із силовими та розподільними ланками на базі пружних елементів високої жорсткості // Матеріали (тези) III Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2023» (Вінниця, 1 – 3 червня 2023 р.). – С. 307 – 308.
8. Обертюх Р. Р. Гідроциліндр на базі кільцевих пружин з вбудованим параметричним генератором імпульсів тиску / Обертюх Р. Р., Слабкий А.В., Бакалець Д. В. // Вібрації в техніці та технологіях. Випуск №4: (III) DOI: 10.37128/2306-8744-2023-4-11.

Обертюх Роман Романович – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри Галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет. e-mail: obertyuh557@gmail.com

Obertyuh Roman Romanovich - Cand. tech. Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University. e-mail: obertyuh557@gmail.com

ВІБРАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ВАЛКОВОГО ФОРМУВАННЯ ГНУТИХ ПРОФІЛІВ

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Анотація

Запропоновано підхід до раннього виявлення поломок механізмів та обладнання, порушень технологічних режимів валкового формування гнутих профілів шляхом застосування вібраційного моніторингу. Описано алгоритм, що дозволить ідентифікувати відхилення у роботі обладнання ще до настання критичних несправностей, що сприятиме підвищенню надійності виробничих процесів. Розглянуто можливість використання IoT-технологій та нейронних мереж для обробки отриманих даних, що дозволить здійснювати безперервний моніторинг у реальному часі. Для аналізу вібраційних сигналів, виявлення аномалій та прогнозування необхідності технічного обслуговування запропоновано інтегрування сенсорів, алгоритмів обробки сигналів і штучного інтелекту.

Ключові слова: вібрація, діагностика, моніторинг, гнутий профіль, валкове формування, технологічний режим, спектральний аналіз.

Промислове обладнання є складним, і його вихід з ладу може призвести до значних фінансових втрат через простій виробничого процесу. Запобігання таким ситуаціям є основним завданням неруйнівних методів контролю [1]. Контроль вібрацій, що виникають під час експлуатації обладнання, є одним із ефективних методів моніторингу його технічного стану. Вібраційна діагностика базується на фіксації та аналізі механічних коливань, що виникають під час роботи механізмів, що дозволяє виявляти несправності на ранніх стадіях. Зростаючі вимоги до безперебійної роботи обладнання стимулюють розвиток методів аналізу вібраційних сигналів, удосконалення сенсорів, обробки даних та їх інтеграції з технологіями IoT [2], машинного навчання [3] та нейронних мереж [4].

Методи вібраційної діагностики включають аналіз амплітуди та частоти коливань, що допомагає визначити джерело несправності. Вибір підходу залежить від швидкості обертання механізму: низькошвидкісні машини діагностувати складніше через слабку інтенсивність сигналів. Для аналізу вібрацій використовуються методи виділення спектру частот за допомогою, зокрема, швидкого перетворення Фур'є або вейвлет-перетворення. Сучасні підходи включають машинне навчання та IoT-системи для безперервного моніторингу. Згорткові нейронні мережі дозволяють автоматично аналізувати вібраційні дані, підвищуючи точність діагностики. Перспективним напрямом є прогнозування часу до відмови обладнання на основі вібраційних даних, що сприяє впровадженню умовно-прогнозованого технічного обслуговування [3].

Вибір місця встановлення датчика, що контролюватиме вібрації, є важливим етапом. У профілезгинальних станах датчики встановлюють на приводі, редукторах, подушках клітей, робочих валках, а також на полосі заготовки в процесі формотворення. Якщо елементи, що підлягають контролю, нерухомі, датчик вібрації кріплять таким чином, щоб забезпечити надійний контакт. В обертових механізмах необхідно використовувати вібраційні датчики-сенсори з безпроводною передачею даних. Вібрацію полоси заготовки в процесі формотворення можна контролювати контактним способом, а також за допомогою оптичних чи лазерних методів. Передача даних може бути як провідною, так і безпроводною.

Сучасний розвиток мікроелектроніки дозволяє використовувати датчики з мікроконтролерами, які виконують певну попередню обробку інформації – технології IoT. Безпроводна передача даних від датчика до сервера в цифровому вигляді дозволяє здійснювати швидкісний обмін інформацією без втрати даних через вплив промислових перешкод на радіосигнал. Сенсори для контролю вібрацій можуть бути різних типів: MEMS-акселерометр,

п'єзоелектричний акселерометр, датчик переміщення, лазерний доплерівський віброметр, датчик швидкості на основі індукції. Отримані дані з цих сенсорів потребують попередньої обробки, наприклад, фільтрації за допомогою алгоритму фільтра Калмана.

Основний аналіз інформації відбувається на сервері. Отримані дані вібрації потрібно проаналізувати на частотний спектр, що дозволить виділити амплітудно-частотні параметри вібрації. Під час вібраційного моніторингу технологічних режимів валкового формування гнутих профілів різка зміна даного параметру може свідчити про поломку механізмів або порушення режиму профілювання. Використання нейронних мереж для аналізу вібраційних сигналів дозволяє автоматично виявляти аномалії та прогнозувати можливі відмови в обладнанні.

Отже, використання вібраційного моніторингу технологічних режимів валкового формування дозволяє прогнозувати на ранніх етапах розвиток аварійних ситуацій та порушення технологічного режиму формотворення, що сприяє своєчасному усуненню поломок і забезпечує стабільність виробництва. Впровадження IoT технологій у вібраційні датчики дозволяє здійснювати безперервний моніторинг у реальному часі та оперативно виявляти аномалії. Використання автоматизованих систем та IoT, при якому дані з датчиків передаються на сервери для аналізу і подальшого прогнозування потреб в технічному обслуговуванні, є важливою складовою Індустрії 4.0. Ця технологія підвищує ефективність процесів, знижує витрати на ремонт та зменшує ризик аварійних зупинок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sergienko N., Hubskey S., Pavlova N., Turchyn O., Hasiuk O., Židek K. Obstacle-Resistant Wireless Strain Gauge Complex for Automated Monitoring of the Steel Structures Condition // EAI ARTEP 2023: EAI International Conference on Automation and Control in Theory and Practice. – 2023. – P. 17–31. DOI: 10.1007/978-3-031-31967-9_2.
2. Turkin I., Leznovskiy V., Zelenkov A., Nabizade A., Volobueva L., Turkina V. The Use of IoT for Determination of Time and Frequency Vibration Characteristics of Industrial Equipment for Condition-Based Maintenance // Computation. – 2023. – Vol. 11. – P. 1–16. DOI: 10.3390/computation11090177.
3. Scalabrini Sampaio G., Vallim Filho A. R. d. A., Santos da Silva L., Augusto da Silva L. Prediction of Motor Failure Time Using An Artificial Neural Network // Sensors. – 2019. – Vol. 19. – Article ID 4342. DOI: 10.3390/s19194342.
4. Łuczak D. Machine Fault Diagnosis through Vibration Analysis: Time Series Conversion to Grayscale and RGB Images for Recognition via Convolutional Neural Networks // Energies. – 2024. – Vol. 17. – P. 1998. – P. 1–25. DOI: 10.3390/en17091998.

Явтушенко Андрій Володимирович, аспірант кафедри «Комп'ютерне моделювання та інтегровані технології обробки тиском», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, e-mail: andrii.yavtushenko@gmail.com.

Губський Сергій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Комп'ютерне моделювання та інтегровані технології обробки тиском», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, e-mail: gubskiyso@gmail.com.

VIBRATION MONITORING OF TECHNOLOGICAL MODES OF ROLL FORMING OF BENT PROFILES

Abstract

A method for early detection of mechanical failures and equipment malfunctions, as well as violations of the technological modes of roll forming of bent profiles, is proposed through the application of vibration monitoring. An algorithm is described that enables the identification of deviations in equipment operation before critical failures occur, thereby enhancing the reliability of production processes. The potential use of IoT technologies and neural networks for processing the obtained data is considered, allowing for continuous real-time monitoring. To analyze vibration signals, detect anomalies, and predict maintenance needs, the integration of sensors, signal processing algorithms, and artificial intelligence is proposed.

Keywords: vibration, diagnostics, monitoring, bent profile, roll forming, technological mode, spectral analysis.

Yavtushenko Andrii, PhD student, Department of Computer Modeling and Integrated Forming Technologies, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, e-mail: andrii.yavtushenko@gmail.com.

Hubskey Serhii, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer Modeling and Integrated Forming Technologies, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, e-mail: gubskiyso@gmail.com.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ОДНОМАСОВОЇ КОЛИВАЛЬНОЇ СИСТЕМ З ВІБРОЗБУДНИКОМ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПУ

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація

У роботі представлено результати імітаційного моделювання руху одномасової коливальної системи, оснащеної планетарним віброзбудником. У програмному продукті SolidWorks проведено віртуальні експерименти для аналізу траєкторій руху системи при різних параметрах планетарного механізму.

Ключові слова: віброзбудник, планетарний механізм, коливальна система, траєкторія руху.

Ефективність та надійність вібраційного технологічного обладнання значною мірою залежать від параметрів віброзбудників, що використовуються. Ця робота продовжує дослідження авторів, присвячені вібраційним збудникам планетарного типу, з метою обґрунтування доцільності їх застосування як приводів вібраційних машин.

Досліджувана установка (рис. 1) являє собою одномасову коливальну систему на рамі, що може рухатись у площині завдяки напрямним та пружинам. Ключовим елементом є віброзбудник планетарного типу, встановлений на рухомій плиті, який складається з нерухомого епіцикла, водила, сателіта з важелем та незбалансованою масою, причому водило приводиться в рух електродвигуном. Моделювання руху цієї системи проводилось у додатку «Motion Analysis» програмного продукту SolidWorks, використовуючи 3D-модель та варіюючи ключові параметри планетарного механізму для дослідження можливості генерування різних траєкторій руху.

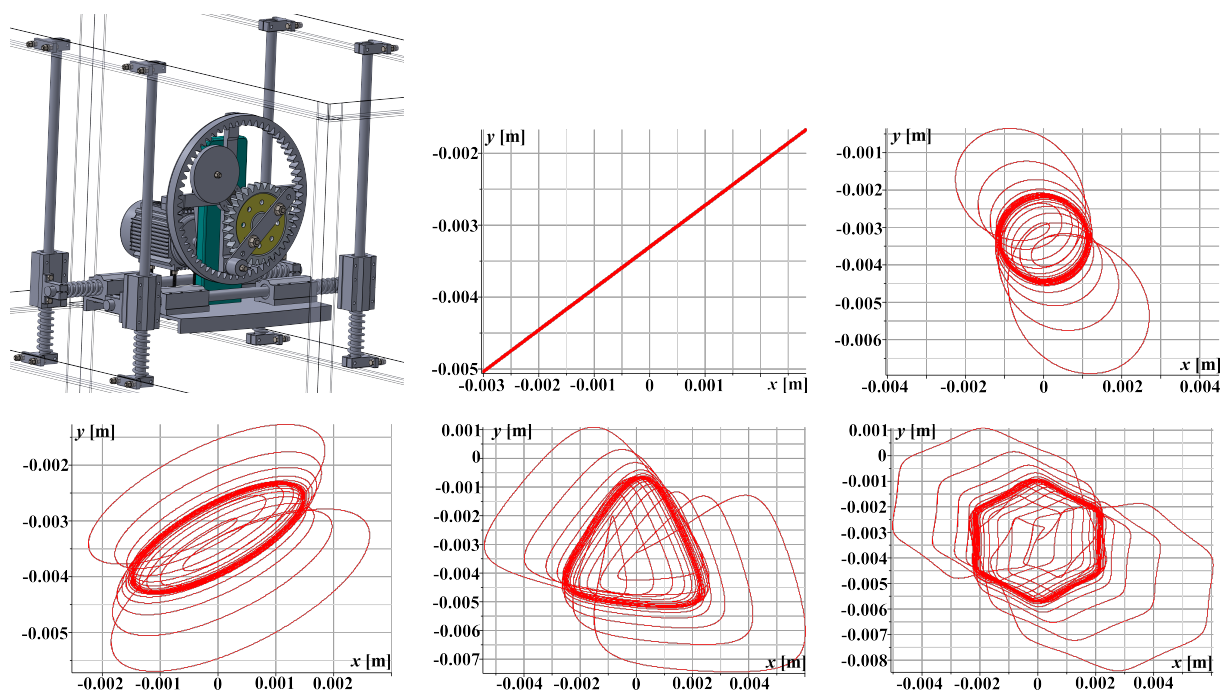


Рис. 1. Твердотільна модель та результати імітаційного моделювання руху коливальної системи

Результати віртуальних експериментів підтвердили, що шляхом налаштування параметрів планетарного збудника можливо генерувати широкий спектр траєкторій руху коливальної плити. Було успішно змодельовано прямолінійні, колові, еліптичні та складніші полігональні (трикутні, прямокутні, шестикутні) траєкторії. Аналіз кінематичних характеристик показав, що простіші траєкторії супроводжуються близькими до синусоїдальних переміщеннями, швидкостями та прискореннями, тоді як полігональні траєкторії характеризуються складними, несинусоїдальними профілями, особливо для прискорення. Це демонструє універсальність планетарного віброзбудника для створення специфічних, технологічно необхідних режимів коливань у вібраційному обладнанні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Korendiy V. et al. On the dynamic behavior of an asymmetric self-regulated planetary-type vibration exciter // *Vibroengineering Procedia*. – 2022. – Vol. 42. – P. 7–13.
2. Korendiy V. et al. Generating various motion paths of single-mass vibratory system equipped with symmetric planetary-type vibration exciter // *Vibroengineering Procedia*. – 2022. – Vol. 43. – P. 7–13.
3. Korendiy V. et al. Kinematic analysis and geometrical parameters justification of a planetary-type mechanism for actuating an inertial vibration exciter // *Vibroengineering Procedia*. – 2023. – Vol. 52. – P. 35–41.
4. Korendiy V. et al. Force analysis of the planetary-type mechanisms of the enhanced vibration exciters // *Vibroengineering Procedia*. 2024. Vol. 54. P. 28–34.
5. Корендій В. М., Паращин О. Я., Вільчинський Т. Р., Киричук В. В., Янів О. М. Обґрунтування структурних схем механізмів для збудження коливань вібраційного технологічного обладнання // *Прогресивні технології в машинобудуванні : збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-практичної конференції, Львів–Звенив, 18 лютого – 21 лютого 2025 року.* – 2025. – С. 73–76.
6. Корендій В. М., Паращин О. Я., Янів О. М., Киричук В. В., Вільчинський Т. Р. Аналіз можливостей використання плоских важільних і зубчастих механізмів у приводах вібраційних технологічних машин // *Молода наука - роботизація і нано-технології сучасного машинобудування : збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, 16–18 квітня 2025 р.* – 2025. – С. 191–198.

Корендій Віталій Михайлович — канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри технічної механіки та інженерної графіки, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: vitaliy.nulp@gmail.com

Паращин Олег Ярославович — аспірант кафедри технічної механіки та інженерної графіки, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: oleh.y.parashchyn@lpnu.ua

Янів Олександр Михайлович — аспірант кафедри технічної механіки та інженерної графіки, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: oleksandr.m.yaniv@lpnu.ua

Вільчинський Тарас Романович — аспірант кафедри технічної механіки та інженерної графіки, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: taras.r.vilchynskiy@lpnu.ua

Киричук Владислав Віталійович — аспірант кафедри технічної механіки та інженерної графіки, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: vladyslav.v.kyrychuk@lpnu.ua

Motion simulation of a single-mass oscillatory system with a planetary-type vibration exciter

Abstract

The paper presents the results of simulation modeling concerning the motion of a single-mass oscillatory system equipped with a planetary vibration exciter. Virtual experiments were conducted using SolidWorks software to analyze the system's motion trajectories under various parameters of the planetary mechanism.

Keywords: vibration exciter, planetary mechanism, oscillatory system, motion trajectory.

Korendiy Vitaliy M. — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, Head of Department of Technical Mechanics and Engineering Graphics, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: vitaliy.nulp@gmail.com

Parashchyn Oleh Y. — PhD (Eng.), Associate Professor of Department of Technical Mechanics and Engineering Graphics, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: oleh.y.parashchyn@lpnu.ua

Yaniv Oleksandr M. — PhD student of Department of Technical Mechanics and Engineering Graphics, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: oleksandr.m.yaniv@lpnu.ua

Vilchynskiy Taras R. — PhD student of Department of Technical Mechanics and Engineering Graphics, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: taras.r.vilchynskiy@lpnu.ua

Kyrychuk Vladyslav V. — PhD student of Department of Technical Mechanics and Engineering Graphics, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: vladyslav.v.kyrychuk@lpnu.ua

Р. М. Юзефович^{1,2}
І. М. Яворський^{1,3}
О. В. Личак¹
Є. В. Сбродов⁴
Ю. І. Торба⁵

ВІБРАЦІЙНА ДІАГНОСТИКА ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, Україна

² Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна

³ Бидгощська політехніка, Бидгощ, Польща

⁴ Національний університет “Запорізька політехніка”, Україна

⁵ Акціонерне товариство “Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро “Прогрес” імені академіка О.Г. Івченка”, Україна

Анотація

Запропоновано використання моделей вібраційних сигналів у вигляді періодичних та майже періодично корельованих випадкових процесів для діагностики газотурбінних двигунів.

Ключові слова: вібраційний сигнал, діагностика, періодично корельованих випадковий процес, газотурбінний двигун.

Високі вимоги до забезпечення надійності функціонування складних механічних систем, зокрема газотурбінних двигунів, що працюють на великих потужностях, спонукають до пошуку і впровадження нових способів їх технічної діагностики безпосередньо в процесі експлуатації. Підвищення якості та надійності їх роботи досягається шляхом розробки ефективних методів управління життєвим циклом двигунів на основі діагностики стану двигуна та його окремих вузлів. Газотурбінні двигуни є складними механізмами здатними генерувати значні потужності у обмеженому об'ємі, котрі в процесі роботи реалізують складні, рівномірні та нерівномірні обертові рухи, що суттєво ускладнює застосування розвинутих методів неруйнівного контролю та діагностики в процесі експлуатації механізму. Процес діагностування газотурбінних двигунів визначається рядом міжнародних та національних нормативних документів [1, 2].

На даний час існує низка методів для моніторингу технічного стану авіаційних двигунів, які дозволяють мінімізувати витрати на їх реалізацію переважно за рахунок використання комп'ютерної обробки діагностичних сигналів. В основному ці методи зводяться до співставлення величин контрольних параметрів з допустимими значеннями, які встановлюються виробником двигунів. Розробники двигунів напрацьовують певні методики відповідно до специфіки своєї продукції і проводять сертифікацію таких методик. Існуючі підходи до діагностики газотурбінних двигунів, ґрунтуються на порівнянні поточних параметрів робочого процесу двигуна зі встановленими розробником еталонними значеннями (з еталонною моделлю). Така еталонна модель використовує технічні дані, які наведені у керівництві з технічної експлуатації газотурбінного двигуна; поточну інформацію про вже діагностовані двигуни, історію експлуатації аналогічних двигунів і тому подібне.

Основною перевагою вібраційної діагностики є можливість виявлення несправностей (дефектів на ранніх стадіях розвитку), які ще не призвели до відмов або аварій. Аналіз сигнатур дефектів та оцінка їх розвитку ґрунтуються на ретельному дослідженні структури вібраційного сигналу з урахуванням особливостей механічної системи конкретного двигуна. Для опису такої структури використовують математичну модель сигналу, яка містить набір характеристик, що дозволяють оцінити технічний стан механізму. Важливими властивостями вібраційних сигналів авіаційного двигуна є повторюваність, пов'язана з циклічним характером роботи обертових деталей та вузлів, і стохастичність, яка зумовлена випадковими процесами: зміни навантаження, коливання параметрів мастильного шару, зміни сил тертя, зміни жорсткості опор, турбулентність та інші випадкові фактори.

У Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України у відділі методів та засобів відбору та обробки діагностичних сигналів розроблені методи вібраційної діагностики на основі моделей сигналів у вигляді періодичних та майже періодично корельованих випадкових процесів (ПКВП) та (МПКВП) [3, 4]. Ці методи дозволяють виділяти та отримувати слушні оцінки

модулюючих стаціонарних компонентів сигналів на основі використання кореляційного ПКВП-аналізу, з якими пов'язані важливі дані про характер та ступінь розвитку дефектів та забезпечують проведення широкого комплексу статистичних досліджень властивостей вібраційних сигналів для встановлення технічного стану газотурбінних двигунів.

Основна перевага вібраційних методів з використанням моделей сигналів на основі ПКВП при діагностиці газотурбінних двигунів полягає в тому, що діагностування відбувається в процесі роботи досліджуваного об'єкту. Розподілені дефекти у механізмах призводять до появи у структурі вібраційних сигналів як компонентів з неперервним спектром так і груп (смуг) з багатьма спектральними компонентами модульованими одночасно за амплітудою та фазою, причому смуги окремих спектральних компонент можуть перекриватися. При цьому основні (базові) частоти збуджуючих вібрації коливаль як правило задаються сіткою частот обертових елементів у двигунах. Величини базових частот можуть суттєво відрізнятися від частот модулюючих випадкових процесів, породжених дефектами у механізмах. З огляду на складність структури вібраційних сигналів в реальних механізмах з розподіленими дефектами та, відповідно, складність багатостадійних процедур їх обробки, процес реєстрації вібраційних сигналів первинними перетворювачами (давачами) є критично важливим для надійного діагностування механізму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- 1.ГОСТ 20440-75. Установки газотурбинные. Методы испытаний.
- 2.ГОСТ 26382-84. Двигатели газотурбинные гражданской авиации. Допустимые уровни вибрации и общие требования к контролю вибрации.
- 3.Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. – Львів : ФМІ НАН України, 2013. – 802 с.
- 4.Javorskyj I., Isayev I., Majewski J., Yuzefovych R. Component covariance analysis for periodically correlated random processes // Signal Processing. – 2010. – 90. – P. 1083–1102.

Юзефович Роман Михайлович – доктор техн. наук, професор, завідувач відділу методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів (далі – відділ), Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України (далі – ФМІ НАН України), Львів, Україна, e-mail: roman.yuzefovych@gmail.com; професор кафедри прикладної математики, Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна, e-mail: roman.m.yuzefovych@lpnu.ua

Яворський Ігор Миколайович – доктор фіз.-мат. наук, професор, провідний науковий співробітник відділу, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: ihor.yavorskyj@gmail.com; професор звичайний інституту телекомунікацій та комп'ютерних наук, Бидгоська політехніка, Бидгощ, Польща, e-mail: javor@pbs.edu.pl

Личак Олег Васильович – доктор техн. наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: olehlychak2003@yahoo.com

Сбродов Євген Віталійович – аспірант кафедри технології авіаційних двигунів, Національний університет “Запорізька політехніка”, Запоріжжя, Україна, e-mail: sbrodov@gmail.com

Торба Юрій Іванович – канд. техн. наук, старший дослідник, заступник директора підприємства з наукової роботи – начальник експериментально-випробувального комплексу, акціонерне товариство “Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро “Прогрес” імені академіка О.Г. Івченка”, Запоріжжя, Україна, e-mail: torba.yuriy@gmail.com

Vibration diagnostics of gas turbine engines

Abstract

Usage of the vibration signal models as a periodic and almost periodically correlated random processes for the diagnosis of gas turbine engines is proposed.

Keywords: vibration signal, diagnostics, periodically correlated random process, gas turbine engine.

Yuzefovych Roman M. – Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Head of Department, Department of Methods and Facilities for Acquisition and Processing Diagnostic Signals (Department), Karpenko Physico-mechanical Institute of NAS of Ukraine (PMI NAS of Ukraine), Lviv, Ukraine, e-mail: roman.yuzefovych@gmail.com; Professor, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: roman.m.yuzefovych@lpnu.ua

Javorskyj Ihor M. – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department, PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: ihor.yavorskyj@gmail.com; Professor, Institute of Telecommunication and Computer Sciences, Bydgoszcz University of Sciences and Technology, Bydgoszcz, Poland, e-mail: javor@pbs.edu.pl

Lychak Oleh V. – Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Department PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: olehlychak2003@yahoo.com

Sbrodov Eugene V. – Ph. D. student, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: sbrodov@gmail.com

Torba Yuriy I. – Ph. D. (Eng), senior researcher, Deputy director for the scientific affairs, Head of the experimental and testing complex, Joint-Stock Company “Zaporizhzhia Machine-Building Design Bureau “Progress” named after Academician O.G. Ivchenko”, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: torba.yuriy@gmail.com

Р. М. Юзефович^{1,2}
І. М. Яворський^{1,3}
О. В. Личак¹
Р. І. Пелипець²
Б. Р. Комарницький¹
Р. Т. Слєпко¹

МОДЕЛЬ СИГНАЛІВ ВІБРАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ОБЕРТОВИХ МЕХАНІЗМІВ

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, Україна

² Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна

³ Бидгощська політехніка, Бидгощ, Польща

Анотація

Пропонується використовувати модель діагностичного сигналу у вигляді багатокомпонентного періодично нестационарного випадкового процесу, що дозволяє адекватно описати структуру вібрацій обертового механізму.

Ключові слова: вібраційний сигнал, нестационарний випадковий процес, перетворення Гільберта, дефект, модель діагностованого сигналу.

Методи дослідження обертових механізмів з використанням сигналів вібрацій є поширеною технологією технічної діагностики через високу ефективність та дешевизну у застосуванні. До суттєвих переваг вібродіагностики слід віднести також той фактор, що вона не вимагає зупинки машин чи механізмів, тобто виконується в процесі експлуатації обладнання. Існуючий стандарт вібродіагностики машин [1, 2] передбачає визначення середньої величини квадрату вібросигналу у певній смузі частот для встановлення загального вібраційного стану механізму. Однак, застосування такої методології не дозволяє встановлювати типи дефектів, проводити локалізацію дефектів у механізмах та коректно оцінювати ступінь розвитку дефектів.

У технічній діагностиці вібраційний сигнал від механічної системи породжується різними процесами, які характеризуються відповідними параметрами, пов'язаними з сукупністю діагностичних ознак. Оскільки, стан об'єкта описують великою сукупністю параметрів, то при обробці сигналів, для однозначного діагностування дефекту, слід було б використовувати велику кількість різноманітних процесів. Проте, на практиці методику діагностування будують на іншому принципі, а саме: замість реєстрування та усереднення багатьох різних процесів, реєструють тільки один з них, використавши для його аналізу такий спосіб обробки сигналу, за якого можна було б видобути з нього всю наявну діагностичну інформацію.

Детальний аналіз вібросигналу слід проводити лише на основі коректної його моделі, що враховує природу взаємодії елементів механізму і сутність вібрацій, котрі породжуються у механізмі. Вібраційний сигнал є результат складних взаємних модуляцій стохастичних, регулярних та квазі-регулярних складових. Тому його обробка не може бути здійснена одним з відомих підходів – лише як чисто стохастичного сигналу чи чисто регулярного сигналу. Для цього має бути використана модель, котра дозволяє описати складну структуру амплітудно-фазових модуляцій складових сигналу та провести його демодуляцію для виокремлення саме тих складових, котрі характеризують ступінь розвитку дефекту.

Модель сигналу у вигляді багатокомпонентного періодично нестационарного випадкового процесу дозволяє адекватно описати структуру вібраційного сигналу обертового механізму. Теоретичний аналіз такої моделі, виконаний за умов широкосмугової, вузькосмугової, високочастотної амплітудно-фазової модуляції багатокомпонентної несучої показав [3–6], що пряме детектування сигналу з виділенням так званого “квадрату обвідної” дає неслухні оцінки, а величина дисперсії виділеної “обвідної” рівна подвоєній дисперсії вхідного сигналу [7, 8]. При цьому виділений сигнал не є обвідною за своєю сутністю, отже його обробка втрачає сенс бо не надає жодної додаткової інформації. Розроблена модель сигналу та методика його обробки з використанням перетворення Гільберта і побудови аналітичного сигналу дозволяє визначити

величини базових несучих частот у сигналі, виокремити та розділити модулюючі складові і побудувати індикатори стану розвитку дефектів в обертових механізмах на основі параметрів карт взаємних кореляцій вищих порядків. Побудовані карти взаємних кореляцій використовуються також і для локалізації дефекту, тобто ідентифікації дефектного вузла у механізмі. Також за допомогою карти взаємних кореляцій встановлюють частотні діапазони, котрі слід брати до уваги при обробці вібраційного діагностичного сигналу.

Запропонована модель сигналу та методологія його обробки була застосована та показала високу ефективність при діагностуванні ряду механізмів на промислових підприємствах в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. ДСТУ ISO 10816-1. “Оцінка стану машин за результатами вимірювання вібрацій на необертюваних частинах. Частина 1. Загальні вимоги”.
2. ДСТУ ISO 10816-3. “Оцінка стану машин за результатами вимірювання вібрацій на необертюваних частинах. Частина 3. Промислові машини номінального потужністю більше 15 кВт і номінальними швидкостями від 120 до 15000 об/хв на місці експлуатації”.
3. Javorskyj, I., Yuzefovych, R., Lychak, O., Matsko, I. Hilbert transform for covariance analysis of periodically nonstationary random signals with high-frequency modulation. // ISA Transactions. – 2024. – 144. – P. 452–481.
4. Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. – Львів : ФМІ НАН України, 2013. – 802 с.
5. Randall R., Antoni J. Rolling element bearing diagnostics—A tutorial. // Mech. Syst. Signal. Process. – 2011. – 25. – P. 485–520.
6. Antoni I. Cyclostationarity by examples // Mech. Syst. Signal. Process. – 2009. – 23. – P. 987–1036.
7. Hurd H., Miamee A. Periodically correlated random sequences: Spectral theory and practice. New York: Wiley; 2007.
8. Javorskyj I., Matsko I., Yuzefovych R., Lychak O., Lys R. Methods of Hidden Periodicity Discovering for Gearbox Fault Detection // Sensors. – 2021. – 21. – 6138.

Юзефович Роман Михайлович – доктор техн. наук, професор, завідувач відділу методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів (далі – відділ), Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України (далі – ФМІ НАН України), Львів, Україна, e-mail: roman.yuzefovych@gmail.com; професор кафедри прикладної математики, Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна, e-mail: roman.m.yuzefovych@lpnu.ua

Яворський Ігор Миколайович – доктор фіз.-мат. наук, професор, провідний науковий співробітник відділу, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: ihor.yavorskyj@gmail.com; професор звичайний інституту телекомунікацій та комп’ютерних наук, Бидгощська політехніка, Бидгощ, Польща, e-mail: javor@pbs.edu.pl

Личак Олег Васильович – доктор техн. наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: olehlychak2003@yahoo.com

Пелипець Роман Іванович – аспірант кафедри прикладної математики, Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна, e-mail: pelypets.ri@gmail.com

Комарницький Богдан Романович – аспірант, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: kombodia@gmail.com

Сленко Роман Тарасович – доктор філософії, молодший науковий співробітник відділу, ФМІ НАН України, Львів, e-mail: roman.slyepko@gmail.com

Model of signals for vibration monitoring of rotating mechanisms

Abstract

It is proposed to use a diagnostic signal model as a multicomponent periodically non-stationary random process, which allows adequate description of the structure of vibrations of a rotating mechanism.

Keywords: vibration signal, non-stationary random process, Hilbert transform, defect, model of the diagnostic signal.

Yuzefovych Roman M. – Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Head of Department, Department of Methods and Facilities for Acquisition and Processing Diagnostic Signals (Department), Karpenko Physico-mechanical Institute of NAS of Ukraine (PMI NAS of Ukraine), Lviv, Ukraine, e-mail: roman.yuzefovych@gmail.com; Professor, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: roman.m.yuzefovych@lpnu.ua

Javorskyj Ihor M. – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department, PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: ihor.yavorskyj@gmail.com; Professor, Institute of Telecommunication and Computer Sciences, Bydgoszcz University of Sciences and Technology, Bydgoszcz, Poland, e-mail: javor@pbs.edu.pl

Lychak Oleh V. – Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Department PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: olehlychak2003@yahoo.com

Pelypets Roman I. – Ph. D. student, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: pelypets.ri@gmail.com

Komarницький Bohdan R. – Ph. D. student, PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: kombodia@gmail.com

Slyepko Roman T. – Ph. D., Junior Researcher, Department PMI NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: roman.slyepko@gmail.com

ВІБРОМЕХАНІЧНА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація

Вібраційна технологічна дія у системах переробних і харчових виробництв реалізується як ефективний засіб підвищення інтенсивності процесів, метод покращення якості кінцевого продукту та зниження енерговитрат обладнання. За конструктивними ознаками найбільш розповсюдженими серед такого технологічного оснащення є барабанні, шахтні, стрічкові, камерні, тунельні та інші, що реалізуються на різних рівнях виробництва. На основі дослідження сучасних технологічних схем розроблено класифікацію вібраційних сушарок залежно від засобів підвищення рушійних сил процесів переробки та зберігання сільськогосподарської продукції, сировини, напівфабрикатів та готової харчової продукції.

Ключові слова: вібраційні сушарки, тепла обробка, зернова сировина, сушіння зерна, теплоносій, енергоефективність, технологічні процеси, сільськогосподарська продукція, післязбиральна обробка, зерносушильне обладнання.

Виклад основного матеріалу

Зростання інтенсивності обробки, покращення якості кінцевої продукції та зменшення енерговитрат обладнання свідчать про доцільність і ефективність застосування вібраційного впливу в технологічних системах, зокрема під час переробки сільськогосподарської продукції.

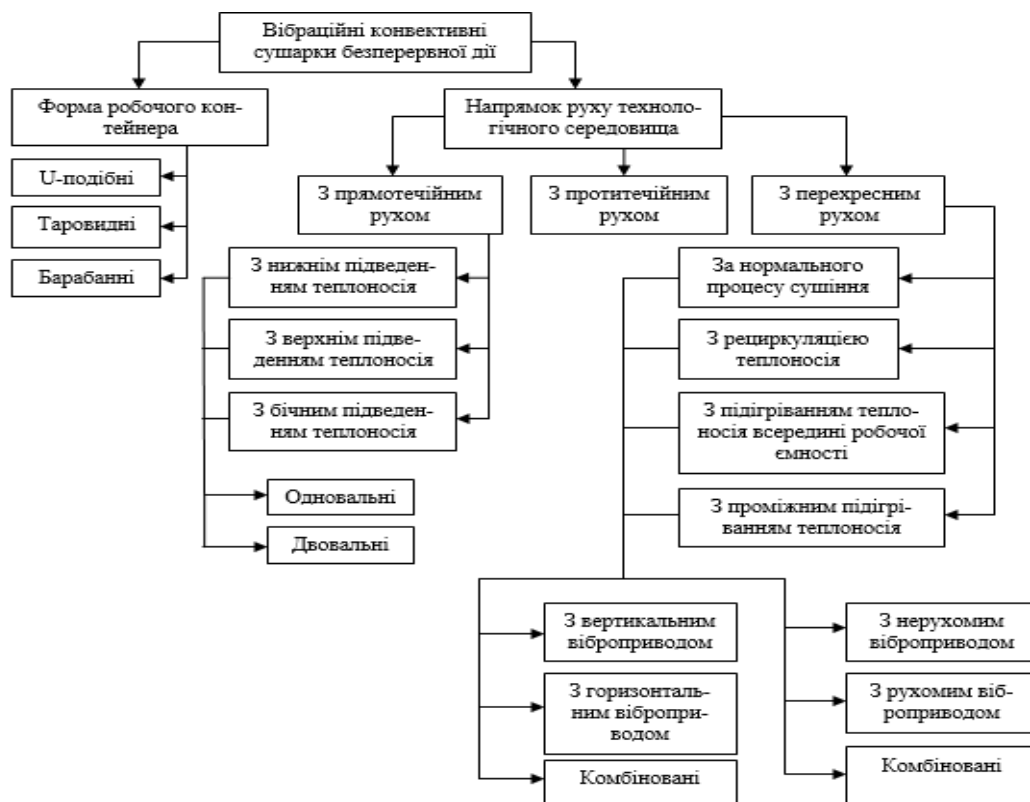


Рис 1. Класифікація безперервних вібросушарок конвективної дії

Використання теплової обробки зернової продукції сприяє збільшенню площі тепломасообміну та зменшенню механічного впливу на сировину. Через наявність прямого

теплового контакту із сільськогосподарською продукцією були проведені дослідження граничних умов процесу та особливостей змін основних характеристик зерна під час сушіння. Встановлено, що тривалість сушіння значною мірою залежить від температури теплоносія, яка, у свою чергу, обмежується допустимими межами нагрівання зерна для збереження його якісних показників.

У результаті вивчення технологічних рішень та обладнання, що застосовуються для теплової обробки сільськогосподарської продукції, була сформована класифікація вібраційних сушарок, призначених для обробки зернових культур (рис. 1).

Сьогодні на сучасних агропідприємствах зерно сушать і термічно обробляють у спеціалізованих комплексах. Для отримання якісного продовольчого та посівного зерна з мінімальними трудовими витратами використовують зерносушильні установки типу 2хА1-ДСП-50 та СЗМ-540. Зерно з підвищеним вмістом вологи обробляється в зерночисно-сушильних комплексах серії КЗС. У фермерських господарствах та на малих сільськогосподарських підприємствах, особливо в умовах складного географічного розташування, найчастіше застосовують барабанні сушарки як ефективний засіб тепломасообмінної обробки зернової сировини. Зростання ефективності теплової обробки сільськогосподарської сировини досягається шляхом використання вібраційних сушарок.

Висновки

Вібромеханічна інтенсифікація процесів сушіння дозволяє діяти як на виконавчі органи обладнання, так і на технологічні середовища, створюючи унікальні можливості зменшення енерго- та матеріальних ресурсів, підвищення якості продукції, ефективного поєднання транспортних та технологічних рухів, поліпшення умов дифузії, збільшення поверхонь тепло- та масообміну.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Palamarchuk, I., Tsurkan, O., Palamarchuk, V., & Kharchenko, S. Research of competitiveness of vibrowave infrared conveyor dryer for postharvest processing of grain. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 2 (80), P 79-85. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65887>
2. Palamarchuk, I., Mushtuk, M., Stadnyk, I., Derkach, A., Boyko, Y. Heat. Exchange Optimization in Transport and Technological Machines Using Vibromechanical Intensification Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2025, pp.792–805. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208018791>
3. Palamarchuk, I., Zheplinska, M., Vasylyv, V., ...Zubar, N., Martyniv, O. Evaluation of the Energy Efficiency of the Process of Vibratory Mixing of Multicomponent Bulk Raw Material of Food Industries | Ocena efektywności energetycznej procesu mieszania wibracyjnego wieloskładnikowego surowca sypkiego przemysłu spożywczego. *Przegląd Elektrotechniczny*. This link is disabled., 2024, (6), pp. 112–115. doi:10.15199/48.2024.06.21 <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208018791>

Паламарчук Ігор Павлович — професор Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ, e-mail: vibroprocessing@gmail.com.

Науменко Денис Олександрович — здобувач Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ, e-mail: deniska-n@ukr.net

Vibromechanical intensification of the drying process

Abstract. Vibration technological action in the systems of processing and food production is implemented as an effective means of increasing the intensity of processes, a method of improving the quality of the final product and reducing the energy consumption of equipment. According to the design features, the most common among such technological equipment are drum, shaft, belt, chamber, tunnel and others, which are implemented at different levels of production. Based on the study of modern technological schemes, a classification of vibration dryers has been developed depending on the means of increasing the driving forces of the processes of processing and storage of agricultural products, raw materials, semi-finished products and finished food products.

Key words: vibration dryers, heat treatment, grain raw materials, grain drying, coolant, energy efficiency, technological processes, agricultural products, post-harvest processing, grain drying equipment.

Igor Palamarchuk P. — Professor of National University Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, e-mail: vibroprocessing@gmail.com

Naumenko Denys — postgraduate of National University Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, e-mail: deniska-n@ukr.net.

ІНЕРЦІЙНА ВИБИВНА РЕШІТКА З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ НА БАЗІ ГІТ ПІДВИЩЕНОЇ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто спосіб підвищення продуктивності роботи інерційних вибивних решіток для вибивки виливок. Запропоновано використання гідроімпульсного приводу для інерційної вибивної решітки на базі генератора імпульсів тиску підвищеної пропускної здатності.

Ключові слова: *виливок, привід, вибивна решітка, форма, генератор імпульсів тиску (ГІТ).*

Вступ

Однією з найскладніших операцій у ливарному виробництві є процес вибивання виливок із форм, а форм — з опок. Через велику різноманітність форм, що підлягають вибиванню, в ливарних цехах застосовують різні типи вібраційного обладнання. Це обладнання представлено як експериментальними зразками, так і серійними промисловими машинами. Одним із ключових напрямів удосконалення техніки є підвищення продуктивності технологічного обладнання. Зокрема, для інерційних вибивних решіток актуальним є завдання інтенсифікації процесу вибивання виливок із піщаних форм і розширення функціональних можливостей цих машин за рахунок застосування гідроімпульсного приводу, що дозволяє збільшити діапазон вібраційних навантажень.

У зв'язку з цим постає потреба в модернізації наявного обладнання, а також у розробці та створенні нових технологічних засобів для ливарного виробництва. Одним із таких засобів є вибивні решітки, здатні забезпечити високі експлуатаційні характеристики.

Результати дослідження

Практика засвідчує, що для машин вібраційного типу найбільш доцільним є використання гідравлічного приводу, який має низку переваг [1,2,3]. Серед них — висока питома потужність завдяки використанню рідини під значним робочим тиском (10–30 МПа), компактність і невелика маса на одиницю потужності, а також можливість плавного та незалежного регулювання частоти й амплітуди вібрації робочого столу в широкому діапазоні (0–100 Гц). Це дозволяє підбирати оптимальний режим роботи відповідно до вимог технологічного процесу. Крім того, гідропривод забезпечує високу швидкодію з миттєвим виходом на робочий режим, має високу надійність, дозволяє програмне керування режимами роботи, легко інтегрується з робочими органами вібротехніки, характеризується зниженим рівнем шуму та достатньо високим коефіцієнтом корисної дії.

Одним із перспективних напрямів розвитку гідравлічних вібробудувачів є використання гідроімпульсного приводу. На (рис. 1) представлено конструктивну схему однокаскадного генератора імпульсів тиску [4], розробленого у ВНТУ, який може бути застосований у вібробудувачах для інерційних вибивних решіток. Запропонована схема має низку переваг: висока пропускна здатність однокаскадного генератора, яка наближає його характеристики до складніших і габаритніших двокаскадних аналогів, що дозволяє зменшити загальні розміри пристрою, скоротивши кількість елементів та довжину прорізної пружини. Серед інших переваг — простота монтажу та обслуговування, відсутність компонентів із низькою надійністю або коротким терміном служби в умовах вібраційного навантаження (таких як підшипники кочення, кривошипно-шатунні механізми тощо), здатність створювати значне робоче зусилля на виконавчому елементі, а також широкі технічні можливості, включаючи великий діапазон вібронанавтаження й високу мобільність.

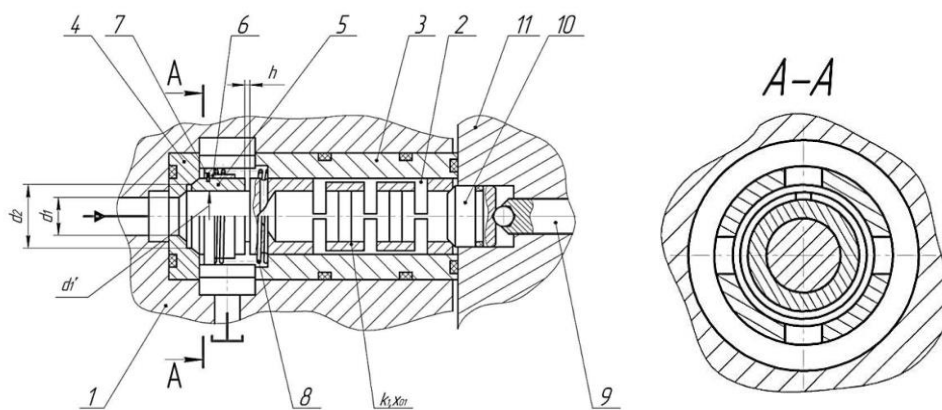


Рисунок 1 – Однокаскадний генератор імпульсів тиску підвищеної пропускної здатності
 1 – корпус; 2 – запірний елемент; 3 – гільза; 4 – сідли; 5 – втулка-клапан; 6 – ступінчаста втулка; 7 – стопорне кільце 8 – пружина; 9 – регулювальний гвинт; 10 – плунжер; 11 – кришка

Викладений матеріал є частиною дисертаційного дослідження автора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ланець О. С. Основи розрахунку та конструювання вібраційних машин (Книга 1. Теорія та практика створення вібраційних машин з гармонійним рухом робочого органу): навч. посібник. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. 2008. – 600 с.
2. Вірник М. М. Вібраційні та віброударні процеси і машини у ливарному виробництві : монографія / М. М. Вірник, Р. Д. Іскович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2007. – 198 с.
3. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій: монографія . -Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2011
4. Параметричні однокаскадні генератори імпульсів тиску підвищеної пропускної здатності / Обертюх Р. Р., Слабкий А. В., Андрухов С. Р., Кудраш В. О. // Вісник машинобудування та транспорту – №1, 2019. – С. 40 – 48.

Кудраш Віталій Олександрович – асистент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: lisovoy844@gmail.com.

Науковий керівник

Поліщук Леонід Клавдійович, д. т. н., проф., зав. кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leo.polishchuk@vntu.edu.ua.

INERTIAL KNOCKOUT GRATE WITH HYDRO-IMPULSE DRIVE BASED ON A HIGH-THROUGHPUT PPG

Abstract

A method for improving the performance of inertial knockout grates used for removing castings has been considered. The use of a hydro-impulse drive for the inertial knockout grate based on a high-throughput pressure pulse generator is proposed.

Key words: Casting, drive, knockout grate, mould, pressure pulse generator (PPG).

Kudrash Vitaly Oleksandrovyich - assistant of the Department of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: lisovoy844@gmail.com.

Scientific advisor

Polishchuk Leonid Klavdiyovych, EngD., prof., head Department of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leo.polishchuk@vntu.edu.ua.

РОЗШИРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАСТОСУВАННЯМ БАГАТОСТАДІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Національний університет водного господарства та природокористування

Анотація

В статті розглянуто процес багатостадійної вібраційної обробки деталей машин вільним абразивом та багатокамерну вібраційну установку для реалізації пропонованої обробки.

Ключові слова: абразивна обробка, деталі машин, вільний абразив, багатостадійна обробка, багатокамерна установка.

Сучасні процеси обробки деталей машин зазвичай включають як фінішну операцію абразивну обробку. При цьому для простих формою деталей зазвичай застосовуються методи обробки закріпленим абразивом, а для деталей складної форми - вільними абразивами. Такі методи дозволяють поєднувати високу продуктивність обробки з гарною якістю обробленої поверхні деталей складної конфігурації з різних матеріалів при простому конструкції обладнанні.

Досвід експлуатації вібраційного обладнання показує високу ефективність впливу абразивного матеріалу на поверхню деталей. З цієї метою при розробці технологічного процесу обробки вибирають відповідне обладнання, абразивні наповнювачі, технологічні рідини, амплітуду і частоту коливань.

Пошук шляхів підвищення інтенсифікації процесу і розширення технологічних можливостей вібраційної обробки деталей здійснюється за різними напрямками, в тому числі шляхом створення її нових різновидів, які можна реалізувати використанням фізичних ефектів, отриманих при комбінуванні різних схем енергетичного впливу на робоче середовище і деталі. При цьому класична вібраційна обробка часто служить основою для розробки цілого ряду її різновидів – шляхом поєднання енергетичних впливів на робоче середовище і деталі. Наприклад, коли обробку проводять при одночасній дії відцентрових і вібраційних сил - при цьому забезпечується рівномірний і стабільний контакт гранул робочого середовища з оброблюваною поверхнею будь-якої складності.

Одним із шляхів розширення технологічних можливостей вібраційної обробки є застосування багатостадійної обробки, що дозволяє отримати високу якість обробленої поверхні деталей.

Зазвичай на першій стадії обробки інтенсивно видаляють основну частину припуску, а на наступних - забезпечують високу якість поверхні за рахунок зміни зернистості робочого середовища. Це дозволяє істотно скоротити час обробки деталей, тобто підвищити її продуктивність, забезпечує необхідну якість деталей, дозволяє поліпшити їх експлуатаційні характеристики. Для багатьох випадків багатостадійна обробка вільними абразивами є єдиною можливістю отримання заданої шорсткості поверхні. Однак проектування багатостадійних технологічних процесів обробки деталей вільними абразивами ускладнене відсутністю як теоретичних моделей такої обробки, так і відповідного устаткування. Тому розробка устаткування для реалізації процесу багатостадійної обробки, наразі є актуальною задачею.

Критеріями застосування багатостадійної обробки можуть бути неможливість отримання заданого показника якості поверхні за одну стадію обробки або занадто великий, економічно недоцільний час одностадійної обробки.

Одним із варіантів реалізації процесу багатостадійної обробки вільним абразивом є використання багатокамерної установки [1]. На станині установки встановлений на пружних опорах робочий контейнер з вібратором, причому робочий контейнер розділений вертикальними

перегородками на секції, оснащені транспортувальними вібротками-сепараторами та перевантажувальними вібротками, орієнтованими вздовж осі робочого контейнера. Транспортувальні вібротки-сепаратори оснащені приводами з програмним управлінням. Виконання робочого контейнера багатосекційним з механізмами перевантаження до кожної наступної секції забезпечує безперервне проведення складного технологічного процесу з використанням трьох і більше робочих середовищ в одному пристрої.

Установка працює наступним чином. Кожна секція робочого контейнера завантажується робочим середовищем з різними характеристиками – абразиви, сталі кульки, органічні речовини тощо. Деталі завантажують у першу секцію, після чого протягом певного часу виконується вібраційна обробка деталей. Після закінчення обробки за допомогою програмно-керованого приводу транспортувальний віброток-сепаратор першої секції встановлюється в горизонтальне положення і по ньому починають переміщатися деталі разом з робочим середовищем. Інгредиенты робочого середовища відділяються через перфоровану поверхню транспортувального вібротка-сепаратора і повертаються у відповідну секцію робочого контейнера. А деталі перевантажуються з вібротка-сепаратора через перевантажувальний віброток у наступну секцію робочого контейнера. Після вивантаження деталей з першої секції транспортувальний віброток-сепаратор керованим програмним приводом повертається у вертикальне положення.

Послідовність дій повторюється у кожній секції робочого контейнера, крім останньої. Після вивантаження деталей з першої секції робочого контейнера до неї можна завантажити нову партію деталей. А з останньої секції робочого контейнера деталі, які пройшли увесь цикл обробки, розвантажуються транспортувальним вібротком-сепаратором у тару.

При дослідженнях запропонованої установки для багатостадійної вібраційної обробки деталей вільним абразивом організовано технологічний процес вібраційної обробки деталей у трьох робочих середовищах – абразив природній «Байкаліт» (перша стадія), абразив формований ПТС-8 (друга стадія) та бій абразивних кругів, які попередньо галтувалися (третя стадія). Це дозволило скоротити тривалість технологічного процесу у порівнянні з почерговою обробкою аналогічних зразків в однокамерній установці і підвищити якість обробки.

Запропоновані технічні рішення захищені патентом України на корисну модель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пристрій для вібраційної обробки деталей вільним абразивом: пат. 98836 Україна: МПК В24В 31/06. № u201412357; заявл. 17.11.2014; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9. 3 с.

Пікула Микола Веніамінович, старший викладач кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університет водного господарства та природокористування, м.Рівне, m.v.pikula@nuwm.edu.ua

EXPANDED TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF VIBRATION MACHINING OF PARTS STOCK OF RICH-STAGE TECHNOLOGY

Abstract

The article examines the process of multi-stage vibration processing of machine parts with high abrasive and a multi-chamber vibration installation for the implementation of the repeated processing.

Keywords: abrasive processing, machine parts, high-grade abrasive, multi-stage processing, multi-chamber installation

Mykola Pikula, Senior Lecturer, Department of Automobiles and Automotive Engineering, National University Of Water And Environmental Engineering, Rivne, m.v.pikula@nuwm.edu.ua

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СПОСОБУ ЗБУДЖЕННЯ РЕЗОНАНСНИХ ВІБРАЦІЙ

Центральноукраїнський національний технічний університет

Анотація

У дослідженні експериментально вивчено ефективність методу збудження резонансних коливань за допомогою пасивних автобалансирів для одномасової вібраційної машини з поступальним прямолінійним рухом віброплатформи.

Ключові слова: резонанс, вібрація, вібросито, вібростіл, автобалансир, ефект Зоммерфельда.

Вступ

Серед вібраційних машин, таких як вібросити та вібростоли, найефективнішими з енергетичної точки зору є резонансні конструкції [1]. Вони дають змогу досягати значних вібрацій платформи при використанні віброзбудників з невеликою масою та потужністю. Це зумовлює актуальність загального завдання з розробки нових резонансних вібраційних машин. Одним із способів збудження резонансних коливань є застосування пасивних автобалансирів — кульових, роликів або маятникових типів [2]. Ефективність цього підходу для одномасових систем була досліджена теоретично та підтверджена за допомогою комп'ютерного 3D-моделювання [3].

Метою роботи є експериментальне дослідження динамічних характеристик дослідного зразка універсальної будівельної резонансної машини, в якій збудження вібрацій здійснюється за допомогою кульового пасивного автобалансиру.

Результати дослідження

Запроектовано вібраційну машину з розмірами платформи 1000×600 мм, у якій як віброзбудник застосовано кульовий пасивний автобалансир.

Машина здатна працювати у двох режимах: перший — як вібраційне сито, другий — як вібраційний стіл. Режими відрізняються між собою амплітудою та частотою коливань робочої поверхні.

Відповідно до технічних рекомендацій у САПР SolidWorks із використанням додаткового модуля Cosmos Motion була створена 3D-модель одномасової вібраційної машини з віброзбудником у вигляді кульового автобалансира. Після перевірки працездатності моделі були визначені оптимальні параметри конструкції, на основі яких виготовлено промисловий зразок вібромашини, що є точною копією створеної 3D-моделі.

Перед початком експериментальних досліджень проводиться динамічне балансування вала з автобалансиром у зібраному вигляді (без куль) у власних опорах. Для цього використовується пристрій "Балком 4", а балансування здійснюється у двох площинах корекції: перша — в зоні корпусу автобалансиру, друга — в області шківів. Датчики вібрації встановлюються у місцях кріплення опор вала. Для визначення частоти обертання вала застосовується цифровий оптичний тахометр Venetech HS2234.

На основі отриманих даних визначаються величини коригувальних мас та їхні місця встановлення. Завершальним етапом є проведення контрольного виміру рівня вібрацій для перевірки ефективності балансування.

Після перевірки якості балансування було проведено дослідження прямолінійності руху платформи. Для цього кулі з автобалансиру були вилучені, а на робочу поверхню платформи нанесено чотири контрольні точки. Електродвигун запускався з частотою обертання 25 Гц, піс-

ля чого в кожній контрольній точці одночасно проводилися вимірювання значень віброшвидкості за допомогою приладу «Балком 4».

За результатами вимірювань було встановлено, що відмінність значень віброшвидкості в різних точках не перевищує 25 %, що свідчить про прямолінійність руху всієї робочої поверхні платформи та, відповідно, встановлених на ній решіт.

Наступним етапом було тестування стенда в режимі роботи вібростола. Кулі були вилучені, а на корпусі автобалансиру змінювалась маса дебалансу. Платформа залишалась незавантаженою. Двигун запускали з частотою обертання 50 Гц, а вимірювання переміщення робочої поверхні проводили за допомогою віброметра «Walcom» WM6360.

Після цього здійснювався добір такої дебалансної маси, за якої амплітуда коливань платформи відповідає типовим параметрам промислових вібростолів. Далі проводилося завантаження платформи вантажами масою 25 кг і 55 кг з повторенням експерименту для кожного навантаження.

Також було проведено вимірювання рівня вібрацій з використанням акселерометричних датчиків MMA6231Q 2AX 4. У режимі спектрального аналізу на екран комп'ютера виводився графік спектра коливань. На частоті 50 Гц було зафіксовано чітко виражений піковий сигнал, що свідчить про наявність однієї домінуючої складової вібрацій, спричиненої дебалансною масою, встановленою на корпусі автобалансира.

Тестування стенда в режимі вібростита. Для цього дебалансна маса була вилучена, натомість змінювали кількість і масу куль у системі автобалансиру. Платформа залишалась незавантаженою. Електродвигун запускався з частотою обертання 25 Гц.

Вимірювання переміщень здійснювалося за допомогою кулькової ручки, закріпленої на платформі. Під час роботи установки до ручки підводився аркуш паперу, на якому фіксувалася рівна лінія — результат переміщення платформи. Довжина цієї лінії вимірювалася штангенциркулем і відповідає амплітуді коливань.

На основі отриманих даних підбирали таку кількість і масу куль, за яких амплітуда коливань відповідає нормативним значенням для промислових вібростит. Потім платформа завантажувалася вантажами масою 25 кг і 55 кг, після чого експеримент повторювався.

Також було виконано вимір рівня вібрацій із застосуванням акселерометричних датчиків MMA6231Q 2AX 4. У режимі спектрального аналізатора на екран комп'ютера виводився графік спектра коливань, на якому на частоті 10 Гц спостерігався чітко виражений пік. Це свідчить про присутність однієї домінуючої складової вібрацій, спричиненої дебалансною масою на корпусі автобалансира.

Далі було проведено оцінку енергоефективності запропонованої конструкції віброзбудника. Вимірювали споживання електричної енергії при різних частотах обертання вала та з різними типами віброзбудників.

В результаті проведених досліджень встановлено, що запропонований метод збудження вібрацій є суттєво енергоефективнішим за традиційний класичний спосіб. Також було виявлено, що збільшення маси кулі майже не впливає на енергоспоживання, натомість збільшення дебалансу на корпусі призводить до суттєвого зростання витрат електроенергії, особливо під час пуску двигуна.

Практично можлива одночасна робота машини на двох частотах, що сприятиме підвищенню продуктивності за рахунок інтенсифікації технологічних процесів (утворення киплячого шару) та самоочищенню решета.

Висновки

Експериментальні дослідження показали, що у порівнянні зі звичайною інерційною вібромашиною нова конструкція має продуктивність вищу на 15–25% при зниженому на 10–40% споживанні електроенергії. При цьому дебалансні маси у новому віброзбуднику менші у 4–6 разів порівняно з традиційним інерційним віброзбудником. У подальшому планується модернізація конструкції з переходом на двомасову систему, що дозволить зменшити негативний вплив вібрацій на оператора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ланець, О. С. Високоєфективні міжрезонансні вібраційні машини з електромагнітним приводом (Теоретичні основи та практика створення): монографія / О. С. Ланець. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», – 2008. – 324 с.
2. Filimonikhin, G. B., Yatsun, V. V. (2015). Method of excitation of dual frequency vibrations by passive autobalancers. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 4(7(76)), 9–14. doi: 10.15587/1729-4061.2015.47116. 2. Majumder, P., Maity, S. (2022). A critical review of different works on marine propellers over the last three decades. *Ships and Offshore Structures*, 18(3), 391–413. <https://doi.org/10.1080/17445302.2022.2058767>
3. Filimonikhin G., Yatsun V., Lichuk M., Filimonikhina I. (2016) Research by a 3D modelling of the screen box flat translatory vibrations excited by a ball auto-balancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Vol. 6, N 7 (84). – P. 16–22. DOI: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.854604>. Oli-jnichenko, L., Filimonikhin, G., Nevdakha, A., Pirogov, V. (2018). Patterns in change and balancing of aerodynamic imbalance of the low-pressure axial fan impeller. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 3(7(93)), 71–81. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133105>

Яцун Володимир Володимирович — доктор. техн. наук, доцент, доцент кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва, Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький,
e-mail: yvkr@i.ua

Experimental study of a method for exciting resonant vibrations

Abstract

The study experimentally studied the effectiveness of the method of exciting resonant oscillations using passive self-balancers for a single-mass vibrating machine with translational rectilinear motion of the vibrating platform.

Keywords: resonance, vibration, vibrating screen, vibrating table, autobalancer, Sommerfeld effect..

Yatsun Volodymyr V. — Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of Road Cars and Building, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi,
e-mail: yvkr@i.ua

CREATION OF INNOVATIVE SELF-OSCILLATING WORKING PROCESSES FOR PROCESSING GRANULAR MATERIALS IN DRUM-TYPE TECHNOLOGICAL MACHINES

¹Rivne Technical Vocational College of the
National University of Water and Environmental Engineering
²National University of Water and Environmental Engineering

Abstract

The report presents an innovative approach to increasing the efficiency of the working processes of drum-type machines when implementing various technological processes for processing granular materials: granulation, reactive process, mixing, grinding, washing, classification, rolling, drying and heat treatment. The results obtained from the application of the established hydrodynamic effect of self-excitation of auto-oscillations of the granular filling of the rotating drum chamber demonstrate the intensification, increase in productivity and reduction in energy consumption of processes by increasing dilatancy and activating the passive part of the filling. This paves the way for a new generation of drum-type machine workflows.

Keywords: drum-type machines, granular material, workflow, rotating drum, intrachamber filling, self-excitation of auto-oscillations

Drum-type machines are a fairly common type of technological equipment and constitute a wide class of multi-purpose machines. The widespread use of drum machines is due to a number of advantages: high unit productivity, reliability, ease of operation, versatility, and cost-effectiveness.

Based on the International Patent Classification, 9 classes of patents for inventions can be distinguished, corresponding to 9 main types of drum-type machines: B01J 2/12 Processes or devices for granulating materials in rotating drums; B01J 8/10, B01J 19/28 Chemical, physical or physicochemical processes moved by rotary drums; B01F 29/60 Drum mixers; B02C 17/00 Disintegrating by tumbling mills; B03B 5/56 Drum classifiers; B07B 1/22 Sieving, screening, sifting, or sorting solid materials using revolving drums; B24B 31/02 Machines or devices designed for polishing or abrading surfaces on work by means of tumbling apparatus. Rotary barrels; F26B 11/04 Machines or apparatus for drying solid materials rotating about a horizontal or slightly-inclined axis; F27B 7/00 Rotary-drum furnaces. The most energy-intensive and common type of such machines are tumbling mills.

The main disadvantage of drum machines is low energy efficiency. It is believed that the mechanical efficiency of such processes is very low and is about 0.1-0.001%. This is caused by significant dissipation, absorption and conversion into heat, of mechanical energy due to internal friction of the granular chamber load. The mass fraction of the active part of the internal chamber filling is only 30-45%.

A paradoxical feature of drum machines is the combination of extreme simplicity of design, on the one hand, and extremely high complexity in describing the behavior of the processed medium, on the other. The latter is caused by the effect on the working environment of both the vertical gravitational and distorted centrifugal inertial force fields of rotation around the horizontal axis.

An innovative direction for dramatically improving the relatively low energy efficiency is the use of the self-oscillating recycling process in drum-type machines of traditional design solutions with a smooth chamber surface. Self-excitation of auto-oscillations allows to bring into periodic pulsating motion and activate the passive part of the intra-chamber filling and significantly increase the intensity of interaction of particles of the processed medium with the working bodies and the surrounding environment.

The first video recording of the self-oscillating mode of motion of a polygranular loading of a rotating drum (Fig. 1) was made in [1]. In [2], a mechanism for implementing the self-oscillating mode of the chamber loading flow was discovered when the stability of the dynamic system of the mill movement was lost [3]. Based on the numerical data visualization method, the effects of the degree of filling of the chamber [4,5], the content of the crushed material in the load [6], and their simultaneous variation [7] on the parameters of the self-oscillating action and grinding characteristics were evaluated.

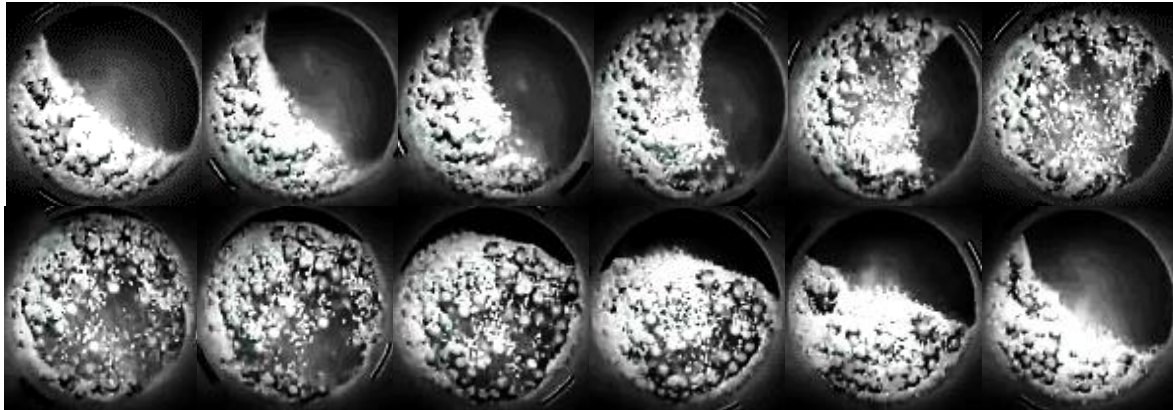


Fig. 1. Sequential pictures of the self-oscillating mode of motion of the intra-chamber filling of a laboratory ball mill for one oscillation period (according to [1])

A general dynamic effect of self-excitation of auto-oscillations of the granular loading of the rotating drum chamber was revealed: a decrease in the particle size and activation of the passive part, an increase in the fraction of the shear layer near the free surface, increased liquefaction of the layer, increased dispersion (dilatation), an increase in the velocity gradient between individual layers and an increase in the intensity of mutual intersection of the trajectories of particle motion, an increase in the frequency of mutual collisions of particles, a significant increase in the surface area of particle contact, improved contact between the solid, which is in a suspended pulsating state, and the gaseous or liquid phases, and prevention of the formation of a central core of particle size segregation.

Based on the results obtained, 9 self-oscillating processes for processing granular materials in drum machines were patented [8-16].

In the future, it is advisable to clarify the influence of different modes of self-excitation of auto-oscillations of the intra-chamber loading due to the loss of stability of motion on the efficiency of the implementation of processes for processing granular materials in drum-type machines.

REFERENCES

1. Both H.-U. Mahlkörperbewegungen in der Kugelmühle [Motions of Grinding Elements in a Ball Mill]. 1966. IWF (Göttingen). [Video]. (06m:43s–07m:11s) YouTube. URL: <https://doi.org/10.3203/TWF/C-921> (date of access: 27.05.2025)
2. Deineka K., Naumenko Yu. Revealing the mechanism of stability loss of a two-fraction granular flow in a rotating drum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 4. Issue 1(118). P. 34–46. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263097> (date of access: 27.05.2025)
3. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. The tumbling mill rotation stability. *Naukovyi Visnyk Nationalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018. Issue 1(163). P. 60–68. URL: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/10> (date of access: 27.05.2025)
4. Deineka K., Naumenko Yu. Revealing the effect of decreased energy intensity of grinding in a tumbling mill during self-excitation of auto-oscillating of the intrachamber fill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1. Issue 1(97). P. 6–15. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155461> (date of access: 27.05.2025)
5. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of decrease in power intensity of self-oscillation grinding in a tumbling mill with decrease of intrachamber fill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6. Issue 7(102). P. 43–52. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183291> (date of access: 27.05.2025)
6. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of decreased power intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill when the crushed material content in the intra-chamber fill is reduced. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 4. Issue 1(106). P. 39–48. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209050> (date of access: 27.05.2025)
7. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of simultaneous reduction in the filling load inside a chamber and in the content of the crushed material on the energy intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 1. Issue 1(109). P. 77–87. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224948> (date of access: 27.05.2025)

8. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 154570 UA. Sposib hranuliuvannia zernystoho materialu v barabani [A method for granulating granular material in a drum]. MKP B01J 2/12. No. u20230234; declared: 17.05.2023; published: 22.11.2023, Bul. No. 47, 2023. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1772317/> (date of access: 27.05.2025)
9. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 154571 UA. Sposib zmishuvannia zernystykh materialiv v barabani [A method for mixing granular materials in a drum]. MKP B01F 29/60. No. u202302393; declared: 17.05.2023; published: 22.11.2023, Bul. No. 47, 2023. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1772392/> (date of access: 27.05.2025)
10. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 154576 UA. Sposib promyvannia zernystoho materialu v barabani [A method for washing granular material in a drum]. B03B 5/56. No. u202302490; declared: 24.05.2023; published: 22.11.2023, Bul. No. 47, 2023. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1772369/> (date of access: 27.05.2025)
11. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 155100 UA. Sposib klasyfikatsii zernystoho materialu v barabani [A method for classifying granular material in a drum]. MKP B07B 1/22. No. u202302425; declared: 22.05.2023; published: 17.01.2024, Bul. No. 3, 2024. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1780373/> (date of access: 27.05.2025)
12. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 155101 UA. Sposib teplovoi obrobky zernystoho materialu v barabani [A method for heat treatment of granular material in a drum]. MKP F27B 7/00. No. u202302507; declared: 25.05.2023; published: 17.01.2024, Bul. No. 3, 2024. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1780416/> (date of access: 27.05.2025)
13. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V., Zhabchuk S. V. Pat. No. 157163 UA. Sposib haltuvannia detalei v barabani [A method for filleting parts in a drum]. MKP B24B 31/02. No. u202400950; declared: 25.02.2024; published: 11.08.2024, Bul. No. 37, 2024. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1817657/> (date of access: 27.05.2025)
14. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 157220 UA. Sposib sushinnia zernystoho materialu v barabani [A method for drying granular material in a drum]. MKP F26B 11/04. No. u202400966; declared: 26.02.2024; published: 18.09.2024, Bul. No. 38, 2024. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1818458/> (date of access: 27.05.2025)
15. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 157608 UA. Sposib provedennia heterohehnoho protsesu z zernystym materialom v barabannomu reaktori [A method for conducting a heterogeneous process with granular material in a drum]. MKP F26B 11/04. No. u202400954; declared: 26.02.2024; published: 06.11.2024, Bul. No. 45, 2024. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1826073/> (date of access: 27.05.2025)
16. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 157646 UA. Sposib podribnennia v barabannomu mlyni iz avtokolyvnyim vnutrishnokamernym zavantazhenniam [A method for grinding in a drum mill with self-oscillating intra-chamber loading]. MKP B02C 17/00. No. u202403236; declared: 19.06.2024; published: 06.11.2024, Bul. No. 45, 2024. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1826100/> (date of access: 27.05.2025)

Deineka Katerina, Candidate of Technical Sciences, Higher category lecturer, Rivne Technical Vocational College of the National University of Water and Environmental Engineering, k.yu.deineka@nuwm.edu.ua

Naumenko Yuriy, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Civil Engineering, Road and Reclamation Machines, National University of Water and Environmental Engineering, y.v.naumenko@nuwm.edu.ua

Zhabchuk Serhii, 4th year student, Basic Science Mechanical Institute, National University of Water and Environmental Engineering, zhabchuk_m21@nuwm.edu.ua

Створення інноваційних автоколивних робочих процесів обробки зернистих матеріалів в технологічних машинах барабанного типу

Анотація

У доповіді представлено інноваційний підхід до підвищення ефективності робочих процесів машин барабанного типу при реалізації різноманітних технологічних процесів обробки зернистих матеріалів: гранулювання, проведення реактивного процесу, змішування, подрібнення, промивання, класифікації, галтування, сушіння та теплової обробки. Отримані результати застосування встановленого гідродинамічного ефекту самозбудження автоколивань зернистого завантаження камери обертового барабана демонструють інтенсифікацію, підвищення продуктивності та зниження енергоємності процесів шляхом посилення дилатансії та активізації пасивної частини завантаження. Це відкриває шлях до створення нового покоління робочих процесів машин барабанного типу.

Ключові слова: машини барабанного типу, зернистий матеріал, робочий процес, обертовий барабан, внутрішньокамерне завантаження, самозбудження автоколивань

Deineka Katerina Yuriyivna, кандидат технічних наук, викладач вищої категорії, Рівненський технічний фаховий коледж Національного університету водного господарства та природокористування, k.yu.deineka@nuwm.edu.ua

Naumenko Yuriy Vasylivich, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин, Національний університет водного господарства та природокористування, y.v.naumenko@nuwm.edu.ua

Zhabchuk Serhii Viktorovich, студент 4 курсу, Навчально-науковий механічний інститут, Національний університет водного господарства та природокористування, zhabchuk_m21@nuwm.edu.ua

ВІБРОУДАРНИЙ ГІДРОІМПУЛЬСНИЙ ВІБРАТОР – ГІДРОЦИЛІНДР НА БАЗІ ПРОРІЗНИХ ПРУЖИН

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено нову конструкцію віброударного гідроімпульсного вібратора – гідроциліндра силова ланка якого виконана у вигляді ударного плунжера, навантаженого потужною прорізною пружиною, що разом з ударним плунжером є гідромеханічним акумулятором, який накопичує потенціальну енергію за рахунок деформації ПП для віброударного режиму роботи, реалізація якого здійснюється параметричним однокаскадним клапанним генератором імпульсів тиску енергоносія, перший і другий ступені герметизації якого суміщені в одній конструкції з другою прорізною пружиною. Силова ланка – гідромеханічний акумулятор і генератор імпульсів тиску об'єднані в одній конструкції, створеного за результатами схемного пошуку та аналізу принципових і конструктивних схем вібраторів з різними типами приводів.

Ключові слова: вібратор, гідроциліндр, прорізна пружина.

В різних галузях промисловості та народного господарства широко використовуються вібраційні технології, які реалізуються за допомогою технологічних вібраційних (ВМ) та віброударних (ВУМ) машин і пристроїв з механічним, пневматичним, гідравлічним, гідроімпульсним, електромагнітним і комбінованим приводами [1 - 3]. Серед відмічених типів приводів, як показує аналіз їх переваг і недоліків, позитивно виділяється гідроімпульсний привод (ГПП), який забезпечує високі робочі зусилля (до 320 кН та більше) і широкий діапазон регулювання параметрів вібрації (частоти – 1...100 Гц, амплітуди – $(0,1...10)10^{-3}$ м) на виконавчій ланці ВМ і ВУМ [1]. Пріоритет у розробленні та дослідженні ГПП має наукова школа ГПП ВНТУ, яка функціонує на кафедрі Галузевого машинобудування (ГМ) цього університету. Співробітниками кафедри ГМ Р. ОБЕРТЮХОМ і А. СЛАБКІМ активно розвивається новий напрямок розроблення та дослідження ГПП та пристроїв на його основі – використання в силових (гідроциліндри (ГЦ) і розподільних (генератори імпульсів тиску (ГІТ) [2] робочої рідини (енергоносія) ланках ГПП пружних елементів високої жорсткості (ПЕВЖ) [3] типу прорізних (ПП), тарілчастих (ТП) і кільцевих (КП) пружин.

В межах дослідно-конструкторських робіт (ДКР) за новим напрямком розвитку ГПП розроблено конструкцію віброударного гідроімпульсного вібратора – гідроциліндра (ВГВ – ГЦ), силова ланка якого виконана у вигляді ударного плунжера, навантаженого потужною прорізною пружиною (ПП), що разом з ударним плунжером є гідромеханічним акумулятором, який накопичує потенціальну енергію за рахунок деформації ПП для віброударного режиму роботи, реалізація якого здійснюється параметричним однокаскадним клапанним ГІТ енергоносія, перший і другий ступені герметизації якого суміщені в одній конструкції з другою ПП (див. рис. 1). Силова ланка – гідромеханічний акумулятор і ГІТ об'єднані в одній конструкції ВГВ – ГЦ, створеного за результатами схемного пошуку та аналізу принципових і конструктивних схем вібраторів з різними типами приводів.

З метою створення науково обґрунтованої методики проектного розрахунку ВГВ – ГЦ, розроблено його динамічну модель, на основі якої та обґрунтованих припущень побудовано та проаналізовано математичну модель вібратора. За результатами цього аналізу розроблена методика проектного розрахунку ВГВ – ГЦ, за відносно простими формулами якої визначені основні енергетичні, силові та геометричні параметри вібратора, на основі яких виконано складальний кресленик дослідного зразка ВГВ – ГЦ.

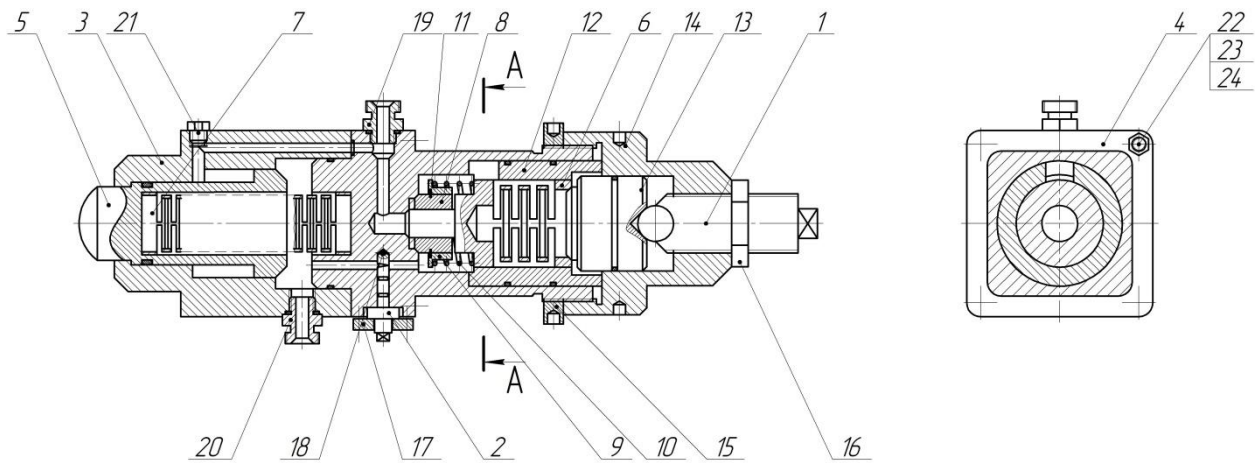


Рисунок 1 – Конструктивна схема віброударного гідроімпульсного вібратора-гідроциліндра на базі прорізних пружин

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іскович-Лотоцький Р. Д. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій : монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, І. В. Севостьянов – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця 2006. – 291 с.
2. Іскович-Лотоцький Р. Д. Генератори імпульсів тиску для керування гідроімпульсними приводами вібраційних та віброударних технологічних машин : монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, М. Р. Архипчук – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця 2008. – 171 с.
3. Обертюх Р. Р. Пристрої для віброточіння на базі гідроімпульсного привода : монографія / Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 164 с.

Обертюх Роман Романович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: obertyuh557@gmail.com

Костинюк Іван Вікторович — магістрант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

VIBRATION-IMPACT HYDRO-PULSE VIBRATOR - HYDRAULIC CYLINDER BASED ON SLOTTED SPRINGS

Abstract

A new design of a vibro-impact hydro-impulse vibrator has been developed - a hydraulic cylinder, the power link of which is made in the form of an impact plunger loaded with a powerful slotted spring, which together with the impact plunger is a hydromechanical accumulator, which accumulates potential energy due to the deformation of the PP for vibration-impact operation, which is implemented by a parametric single-stage valve generator of energy carrier pressure pulses, the first and second sealing stages of which are combined in one structure with the second slot spring. The power link - a hydromechanical accumulator and a pressure pulse generator - are combined in one structure, created based on the results of a schematic search and analysis of the fundamental and design schemes of vibrators with different types of drives.

Translated with DeepL.com (free version) **Keywords:** vibrator, hydraulic cylinder, slotted spring.

Obertyukh Roman Romanovych - PhD in Engineering, Associate Professor, Professor of the Department of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. E-mail: obertyuh557@gmail.com.

Kostyniuk Ivan V. - Master's student of the Department of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ВИЗНАЧЕННЯ НАЯВНОСТІ ПОШКОДЖЕННЯ РЕГУЛЯРНИХ СИСТЕМ ЧЕРЕЗ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЇХ КОЛИВАНЬ

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України

Анотація

Представлено результати розрахунково-експериментальних досліджень з визначення закономірностей впливу параметрів експлуатаційного пошкодження на формування резонансних коливань камертонного зразка та його складових, як найпростішої регулярної системи. Показано, що як діагностичний параметр наявності пошкодження можна використовувати параметр зв'язаності форм коливань, що збуджуються.

Ключові слова: камертонний зразок, коливання, пошкодження

Вступ

Актуальною проблемою при розробці нових та доводці існуючих турбомашин, в першу чергу авіаційних газотурбінних двигунів, залишається задача аналізу закономірностей коливань їх однотипних елементів, якими є робочі лопатки компресорів і турбін, як необхідної умови для підвищення їх вібраційної надійності та ефективності. Аналіз коливань лопаткових вінців в більшості випадків проводиться в припущенні, що вони володіють циклічною симетрією, тобто коли всі лопатки мають однакові геометричні та механічні властивості. В цьому випадку аналіз зводиться до розгляду періоду вінця з відповідними граничними умовами. Проте на практиці існує певний розкид конструктивно-технологічних параметрів лопаткових вінців, який обумовлений виробничими допусками та експлуатаційними умовами, що неминуче призводить до порушення конструктивної поворотної симетрії.

При експлуатації двигунів виникають різноманітні їх пошкодження – забоїни від сторонніх предметів, тріщини втоми тощо. У визначенні впливу таких пошкоджень на коливання як окремих лопаток, так і їх систем (пакетів і вінців), проводяться інтенсивні розрахунково-експериментальні дослідження.

Враховуючи вищевикладене, для аналізу коливань систем з порушеною поворотною симетрією, великий інтерес становлять закономірності коливань регулярної системи, що складається з двох підсистем, а саме вплив наявності пошкодження в одній з них на параметр зв'язаності їх парних форм коливань, що і є метою даної роботи.

Результати дослідження

У відповідності до постановки задачі, об'єктом дослідження було обрано камертонний зразок з двома призматичними стрижнями, довжиною робочої частини 175 мм і прямокутним поперечним перерізом висотою 15 мм і шириною 6 мм. Загальний вид зразка показано на рис. 1, а.

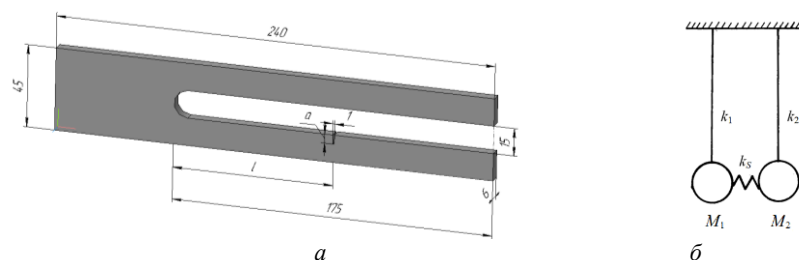


Рис. 1. Загальний вид камертонного зразка, вибраного для дослідження (а) та його дискретна модель (б)

Пошкодження одного з стрижнів моделювалось у вигляді паза шириною 1 мм та глибиною a , який знаходився на відстані l від кореневого перерізу зразка.

По аналогії з моделлю парних форм, для опису коливань об'єкта досліджень використаємо коефіцієнт розщеплення частот збуджуваних форм коливань, що визначається різницею відносних частот синфазної ($\bar{p}^{(I)}$) та антифазної ($\bar{p}^{(II)}$) форм коливань:

$$r = \left| \bar{p}^{(I)} - \bar{p}^{(II)} \right| \times 100\%$$

На рис. 2, *a* приведено залежності коефіцієнта розщеплення частот збуджуваних форм коливань від параметра пошкодження $\alpha = (k - k_0)/k$ для обраних значень коефіцієнта пружного зв'язку γ . Аналіз представлених даних розрахунків показує, що їх якісний характер не залежить від причини порушення регулярності системи. Також підтверджується той факт, що найбільша відмінність у величині коефіцієнта розщеплення спостерігається для системи з суворою регулярністю. При зростанні порушення її регулярності значення коефіцієнта розщеплення зближаються.

Для пояснення отриманих закономірностей формування резонансних коливань досліджуваної регулярної системи також використаємо параметр зв'язаності S парних форм коливань, який визначається за формулою:

$$S = r/h,$$

де δ – дисипативна характеристика системи, яка відповідає заданій формі коливань.

В роботі в якості дисипативної характеристики системи вибрано коефіцієнт демпфірування коливань в діапазоні зміни його значень від 0.0008 c^{-1} до 0.0032 c^{-1} .

Для обраних значень коефіцієнта пружного зв'язку γ та демпфірування коливань h були визначені залежності параметра зв'язаності S від параметра пошкодження α , які наведені на рис.2, *б*. Їх аналіз показує, що зі зменшенням коефіцієнта γ і збільшенням коефіцієнта демпфірування коливань h величина параметру зв'язаності S парних форм коливань знижується.

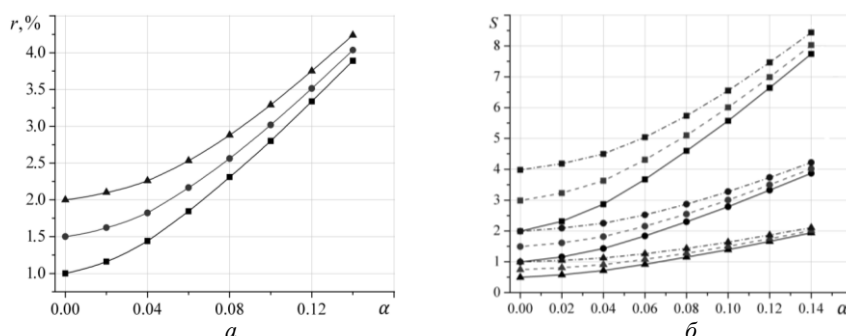


Рис. 2. - Залежності коефіцієнта розщеплення резонансних частот збуджуваних форм коливань (*a*) дискретної моделі досліджуваної регулярної системи для значень коефіцієнта пружного зв'язку γ , рівних 0.01 (■), 0.015 (●) і 0.02 (▲) та параметра зв'язаності збуджуваних форм коливань (*б*) для значень коефіцієнта демпфірування h , рівних 0.0008 c^{-1} (■), 0.0016 c^{-1} (●) і 0.0032 c^{-1} (▲), при значеннях коефіцієнта пружного зв'язку γ , рівних 0.01 (суцільні лінії), 0.015 (штрихові) і 0.02 (штрихпунктирні) від параметра пошкодження α

Висновки

Підсумовуючи вищесказане, можна зробити висновок, що в обраному діапазоні зміни параметра пошкодження α найменше значення параметра зв'язаності парних форм коливань характерне для системи, яка має найменшу величину коефіцієнта пружного зв'язку та найбільший коефіцієнт демпфірування коливань. Це означає, що на формування резонансних коливань такої системи найбільший вплив має взаємозв'язок збуджуваних їх форм, що може бути використано при виборі параметрів діагностування наявності досліджуваних пошкоджень.

Круц Вадим Олексійович — канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу коливань та вібраційної надійності, Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ.

Савченко Кирило Валентинович — канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу коливань та вібраційної надійності, Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ, e-mail: savchenko@ipp.kiev.ua

Identifying damage in regular systems via vibration parameter analysis

Abstract

This paper presents the results of computational and experimental studies aimed at identifying how operational damage parameters influence the formation of resonant vibrations in a tuning fork sample - considered a simple regular system. The findings demonstrate that the parameter of coupling of the excited modes of vibrations can serve as a reliable diagnostic indicator for detecting the presence of damage.

Keywords: tuning fork, vibration, damage.

Kruts Vadym O. — Cand. Sc. (Eng), Senior Researcher of Department of Oscillation and Vibration Reliability, G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv.

Savchenko Kyrylo V. — Cand. Sc. (Eng), Senior Researcher of Department of Oscillation and Vibration Reliability, G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: savchenko@ipp.kiev.ua

АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ СИНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ «УЛЬТРАЗВУКОВИЙ АПАРАТ – ТЕХНОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ»

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. Ультразвукові кавітаційні технології набули використання для обробки рідинних та рідинно-дисперсних технологічних середовищ. Основою ефективного протікання процесу обробки матеріалів ультразвуковою кавітацією є встановлення оптимального рівня енергії та передача її від кавітаційного апарату до оброблювального матеріалу. В роботі досліджена енергетика спільної системи «ультразвуковий апарат – технологічне середовище» на всіх стадіях протікання кавітаційного процесу. Прийнятий в роботі такий підхід та результати досліджень став основою реалізації ідеї створення синергетичної системи, як способу отримання максимальної енергії в кавітуючому об'ємі бульбашок на стадії їхнього сплескування.

Ключові слова: кавітація, ультразвук, технологічні середовища, енергія, синергія, режими, параметри.

Викладення основного матеріалу. Ультразвукові технології реалізуються у формі просторової дискретності акустичної енергії у формі коротких імпульсів [1]. При цьому більшість в режимі розвиненої кавітації у рідині, що полягає в утворенні значної кількості високоенергетичних центрів у вигляді мікроскопічних бульбашок, рівномірно розподілених у технологічному середовищі. Дія на фізико-хімічні процеси пов'язана з комплексом явищ (акустичні течії, мікропотоки, акустична кавітація, акустичний флотаційний ефект, пандеромоторні сили, радіаційний тиск), які носять нелінійний характер. Величина дії на технологічне середовище визначається параметрами ультразвуку (частота, амплітуда, інтенсивність і об'ємна щільність енергії введених ультразвукових коливань) [2]. Ультразвукові технології дозволяють інтенсифікувати технологічні процеси, підвищити ступінь використання сировини, змінити вихідні властивості матеріалу, створити нові речовини і середовища, забезпечити екологічність та безпечність виробництва. Дослідження та визначення акустичних параметрів руху кавітаційної бульбашки в рідинному середовищі за дискретною та континуальною моделями [3-5] надав можливість розкрити сутність та закономірність протікання технологічного процесу обробки ряду технологічних середовищ. При цьому враховано, що ультразвукова технологічна система складається із наступних підсистем: електричний генератор; перетворювач електричних коливань в акустичні; випромінювач; пристрій, де знаходиться об'єкт обробки – технологічне середовище.

Прийнятий в роботі підхід представлення акустичної системи кавітатора та технологічного середовища, як єдиної системи, став основою визначення збільшення ступеня концентрації енергії в газових бульбашках з максимальною їх кількістю сплескування в кавітуючому об'ємі. Підвищення ефективності процесу полягає у врахуванні множинного перетворення енергії ультразвукових коливань, що ґрунтується на поетапному визначенні якісної та кількісної картини утворення енергії в зоні контакту кавітаційного апарату і технологічного середовища та умов передачі енергії до технологічного середовища. При цьому реалізована мета інтенсифікації, яка полягає в створенні такого процесу, коли максимальна передача енергії здійснюється безпосередньо в середовищі на стадії сплескування бульбашок. Саме в цьому полягає ідея реалізації створення синергетичної системи, як можливості здатності спрямовувати максимальну енергію на протікання кавітаційного процесу обробки максимального об'єму технологічного середовища. Визначення конструктивних та технологічних параметрів ультразвукової технологічної системи здійснено саме на такому підході. Отже, ключовою вихідною умовою створення синергетичних систем «ультразвукова установка – технологічне середовище» є виконання співвідношення:

$$k_c = E_c/E_{n,x} \rightarrow \max,$$

де k_c - коефіцієнт синергії системи (коефіцієнт кавітаційного використання акустичної енергії); E_c - енергія на сплескування бульбашок (енергія, що витрачається на утворення кавітації в одиниці об'єму середовища); $E_{n,x}$ – щільність підведеної енергії первинної хвилі.

Очевидно, що не вся енергія $E_{n,x}$ витрачається на утворення кавітації, тобто $k_c < 1$. Енергія, що виділяється при сплескуванні кавітаційних бульбашок, залежить не тільки від потужності акустичного випромінювання, а і від об'ємної щільності акустичної енергії. Окрім енергетичного показника необхідно враховувати інформацію про внутрішню структуру об'єму технологічного середовища: щільність, реологічні властивості, кількості кавітаційних бульбашок та усереднений розмір бульбашок, бажаний об'єм кавітуючих бульбашок, як складової продуктивності. Зміна цих параметрів на всіх етапах протікання кавітаційного процесу є необхідною умовою визначення оптимальних режимів та параметрів.

Висновок. Підвищення ефективності кавітаційної обробки технологічних середовищ полягає у створенні умов максимального спрямування потоків енергії власне на протікання процесу. Швидкість обробки визначається енергією сплескування кавітаційних бульбашок. Створення синергетичних систем «ультразвуковий апарат – технологічне середовище» базується на оцінці енергетичного показника за врахування структурно-механічних та реологічних властивостей технологічного середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Beryk I. Investigation of the processes of the acoustic apparatus with the processing technological environment power interaction. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2018. Т. 1. №82. С. 72–80. DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2521-1943.2018.82.127128>.
2. Beryk I., Luhovskyi O., Nazarenko I. Research staff process of interaction and technological environment in developed cavitation. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Серія машинобудування. 2016. Вип. 1 (76). С. 12–19.
3. Nazarenko, I., Luhovskyi, O., Beryk, I., & SviderskyA. Research of the influence of low-frequency and high-frequency actions on processing of technological environments. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2018. (1), 73-86. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00566>
4. Beryk I. Theoretical aspects of the formation and development of cavitation processes in technological environment. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2017. Vol. 19. № 3. P. 5–13.
5. Берник І.М., Назаренко І.І., Луговський О.Ф. Дослідження та визначення акустичних параметрів руху кавітаційної бульбашки в рідинному середовищі за дискретною та континуальною моделями. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2022. Vol. 6. № 2. P. 195–202. DOI: 10.20535/2521-1943.2022.6.2.269921.

Берник Ірина Миколаївна, д.т.н., професор кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК Національного університету біоресурсів і природокористування України, м. Київ, i.bernyk@nubip.edu.ua.

ASPECTS OF CREATION OF SYNERGETIC SYSTEMS “ULTRASOUND APPLIANCE - TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT”

Abstract. Ultrasonic cavitation technologies are widely used for the processing of liquid and liquid-dispersed process media. The basis for the efficient flow of the material processing process by ultrasonic cavitation is the establishment of the optimal energy level and its transfer from the cavitation device to the processed material. In this work, the energy of the joint system “ultrasonicator - process medium” is studied at all stages of the cavitation process. The approach adopted in this work and the results of the research became the basis for the realization of the idea of creating a synergistic system as a way to obtain maximum energy in the cavitating volume of bubbles at the stage of their bursting.

Keywords: cavitation, ultrasound, technological media, energy, synergy, modes, parameters.

Beryk Iryna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor Department of Processes and Equipment of Agricultural Production Processing National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, i.bernyk@nubip.edu.ua.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХВИЛЬОВИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ УЩІЛЬНЕННІ ЛЕГКОБЕТОННИХ РОЗЧИНІВ

¹ Київський національний університет будівництва та архітектури

² Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Анотація. У роботі досліджено хвильові процеси, що виникають при ущільненні легкобетонних розчинів під дією імпульсних та періодичних навантажень. Зокрема, розглянуто особливості деформування арболітових і полістиролбетонних сумішей, які проявляють в'язкопружні властивості та передають збурення у вигляді затухаючих хвильових фронтів. Побудовано математичну модель на основі рівняння руху з урахуванням локального прискорення та змінного тиску, що описує поширення імпульсу в середовищі як хвильовий процес. Запропоновано граничні та початкові умови для моделювання процесу ущільнення в реальних формах. Показано, що внаслідок інтерференції прямих і відбитих хвиль виникають локальні зони ущільнення, форма і розподіл яких суттєво залежать від фазової швидкості та коефіцієнта затухання. Результати дослідження можуть бути використані для оптимізації режимів ущільнення легких бетонів і вдосконалення конструкцій вібраційного обладнання.

Ключові слова: вібрація; легкобетонні суміші; хвильовий процес; в'язкопружне середовище; імпульсне ущільнення; хвильове рівняння; затухання; локальне ущільнення; динамічне навантаження.

Вступ. Вібраційна дія на ущільнюючу суміш має велике практичне значення лежить в основі всієї сучасної технології ущільнення сумішей. Сутність вібраційної дії полягає в тому, що при коливаннях суміш отримує властивості текучості внаслідок порушення зв'язків між частинками. Частинки, що отримують підвищену рухливість, переміщуються і під дією сил ваги прагнуть зайняти більш стійке положення. При цьому повітря, що знаходиться між частинками, витискується вгору і суміш, врешті, значно ущільнюється. Процес віброущільнення суміші має складний характер і проходить у кілька стадій: переукладання компонентів з інтенсивним витискуванням повітря, зближенням частинок і завершальним витискуванням повітря, а також можливим доущільненням за рахунок деякого додаткового, наприклад статичного, тиску [1]. Означена стадія має назву компресійного тиску і може здійснюватись як під час вібрування суміші, так і по завершенні процесу вібраційної дії. У першому випадку позитивний ефект підвищення густини і міцності бетону досягається невеликим статичним тиском впродовж кількох хвилин. У другому випадку той самий ефект можна отримати лише завдяки значному питомому тиску у кілька мегапаскалей. В обох випадках ефект досягається внаслідок часткового тиску і більш рівномірного розподілу порової води, а також ущільнення контактів між зернами заповнювачів.

Викладення основного матеріалу. Процеси ущільнення легкобетонних сумішей, зокрема арболітових і полістиролбетонних, супроводжуються складними хвильовими явищами, обумовленими впливом імпульсних та періодичних навантажень [2]. Для адекватного опису механізму передачі імпульсу через середовище легкого бетону необхідно розглядати деформацію середовища як хвильовий процес у в'язкопружному тілі.

Побудова математичної моделі базується на записі рівнянь руху елемента об'єму ΔV під дією імпульсу. Припускаючи, що швидкість переміщення частинок значно менша за швидкість звуку, повне прискорення можна замінити локальним:

$$\xi = \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (1)$$

Де $\zeta(x, t)$ переміщення частинок у момент часу t вточці x

Рівняння балансу сил для елемента ΔV із урахуванням змінного тиску і локального прискорення набуває вигляду:

$$\rho a l \Delta x \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = -a l \Delta x \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(E \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} \right) + k_0 \frac{\partial \zeta}{\partial t} \right) \quad (2)$$

що, після скорочення на $a l \Delta x$, перетворюється на:

$$\rho \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = E \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + k_0 \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (3)$$

або у канонічній формі

$$\frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \frac{k_0}{\rho} \frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} \quad (4)$$

Таким чином, ущільнювана суміш поводитья як в'язкопружне хвильове середовище, що передає імпульси із затуханням амплітуди внаслідок внутрішнього тертя.

Спрощений випадок без затухання

У разі нехтування ефектами затухання (тобто $k_0 = 0$) хвильовий процес описується класичним хвильовим рівнянням:

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} \quad (5)$$

Де $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ – фазова швидкість поширення збурення у бетонній суміші.

Граничні та початкові умови:

Для практичного розгляду задачі ущільнення вводяться наступні початкові та граничні умови.

Початково: частинки середовища перебувають у стані спокою: $\zeta(x, 0) = 0$, (при $t = 0$ зміщення ζ в будь-якій точці x дорівнює нулю, тобто початково система знаходиться без деформацій).

$$\frac{\partial \zeta(x, 0)}{\partial t} = 0 \quad (6)$$

(система починає рух без початкового імпульсу без початкової швидкості).

На вільній поверхні ($x = H$):

$$\frac{\partial \zeta(H, t)}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

На робочій поверхні ($x = 0$), де діє імпульсне навантаження:

$$\zeta(0, t) = \mu(t) \quad (8)$$

де $\mu(t)$ описує форму та тривалість імпульсу.

Розв'язання рівняння хвиль при заданих умовах отримується методом поширення хвиль. Загальне рішення для часу до першого відбиття хвилі записується у вигляді:

$$\zeta(x, t) = \mu\left(t - \frac{x}{c}\right) \quad (9)$$

При подальшому врахуванні відбиття хвиль від вільної поверхні (в точці $x = H$) рішення ускладнюється і має форму суми кількох хвильових фронтів

Для випадку з урахуванням затухання хвильовий процес описується рівнянням:

$$\zeta(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \left[\begin{array}{l} \mu\left(t - \frac{x + 2nH}{c}\right) e^{-\beta^*(x+2nH)} - \\ - \mu\left(t + \frac{x - 2nH}{c}\right) e^{-\beta^*(x-2nH)} \end{array} \right] (-1)^n + \mu\left(t - \frac{x}{c}\right) e^{-\beta^*x} \quad (10)$$

де β^* — коефіцієнт затухання в середовищі.

Рішенням отриманих залежностей здійснені розрахунки параметрів імпульсного ущільнення легкобетонних сумішей.

Висновки

1. Отримані аналітичні залежності описують процеси інтерференції прямих і відбитих хвиль, локальні зони ущільнення легкобетонних сумішей.

2. Ущільнення легкобетонних сумішей під дією імпульсного навантаження супроводжується виникненням серій хвиль переміщення, що інтенсивно взаємодіють у середовищі через відбиття від вільних та закріплених меж форми. Інтерференція прямих і відбитих хвиль призводить до локального ущільнення, яке розповсюджується у вигляді хвильових фронтів.

3. Особливості в'язкопружної поведінки легких бетонів, таких як арболіт і полістиролбетон, обумовлюють необхідність врахування затухання, щоб правильно оцінити глибину та рівномірність ущільнення матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Назаренко І. І., Дяченко О. С. Експериментальні дослідження робочого процесу вібраційної установки для ущільнення бетонних сумішей зі змінним режимом роботи // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2019. – № 92. – С. 24–31. <https://doi.org/10.31493/gbdmm1892.0301>
2. Маслов О. Г., Нестеренко М. П., Скляренко Т. О. Аналітичні дослідження коливань вібраційної установки для формування бетонних виробів для дорожнього будівництва у режимі холостого ходу // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – Вип. 4 (34). – С. 249–254.

Назаренко Іван Іванович — д.т.н., професор завідувач кафедри машин і обладнання технологічних процесів, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, e-mail: ii_nazar@ukr.net

Нестеренко Микола Миколайович — канд. техн. наук, доцент кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» e-mail: nesterenkonikola@gmail.com

Ведмідь Василь Васильович – аспірант, кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Нестеренко Тетяна Миколаївна — канд. техн. наук, доцент кафедри нафтогазової інженерії та технологій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

INVESTIGATION OF WAVE PROCESSES ARISING DURING THE COMPACTION OF LIGHTWEIGHT CONCRETE MIXTURES

Abstract. *The study investigates wave processes that arise during the compaction of lightweight concrete mixtures under the influence of impulse and periodic loads. In particular, it examines the deformation behavior of arbolite and polystyrene concrete mixtures, which exhibit viscoelastic properties and transmit disturbances in the form of attenuating wave fronts. A mathematical model was developed based on the motion equation that incorporates local acceleration and variable pressure, describing impulse propagation in the medium as a wave process. Boundary and initial conditions were proposed for modeling the compaction process in real molds. It is shown that the interference of incident and reflected waves results in the formation of local compaction zones, the shape and distribution of which significantly depend on the phase velocity and attenuation coefficient. The findings of the study can be used to optimize compaction regimes for lightweight concretes and to improve the design of vibration equipment.*

Key words: *lightweight concrete mixtures; wave process; viscoelastic medium; impulse compaction; wave equation; attenuation; local compaction; dynamic loading.*

Ivan Nazarenko— Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Machinery and Equipment of Technological Processes, Kyiv National University of Construction and Architecture. Kyiv, Ukraine. e-mail: ii_nazar@ukr.net

Mykola Nesterenko— PhD, Associate Professor, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine, e-mail: nesterenkonikola@gmail.com

Vasyl Vedmid — postgraduate, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

Tetiana Nesterenko — PhD, Associate Professor, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

Система позиціонування акустичних сенсорів

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова¹

Анотація. У роботі представлено результати дослідження і розробки роботизованої системи позиціонування спрямованих акустичних сенсорів на джерела сигналу. Прикладний характер роботи визначається застосуванням цієї системи у процесі керування подрібненням матеріалів у кульовому млині, де точність оцінювання гранулометричного складу звукометричним методом безпосередньо пов'язана з якістю акустичних сигналів. Запропонований підхід підвищує точність, надійність і адаптивність акустичного контролю, що робить його перспективним для впровадження в різноманітні автоматизовані технологічні процеси.

Ключові слова: акустичні сенсори, цифрова обробка сигналів, позиціонування, електричний привод, подрібнення матеріалів, система керування.

Акустичні сенсори знаходять широке застосування у таких сферах, як моніторинг технічного стану обладнання, мехатроніка, робототехніка, автономна навігація, інтелектуальні системи безпеки та багатьох інших. Інформативність акустичних сигналів значною мірою залежить від коректного розміщення спрямованих сенсорів у просторі, що забезпечує максимальну якість прийому, зниження рівня шумів та підвищення чутливості за корисним сигналом. У багатьох застосуваннях, де джерела шуму можуть бути рухомими, положення сенсорів повинно також змінюватися в реальному часі, тобто ставиться задача створення автоматичної слідуючої системи. Позиціонування спрямованих акустичних сенсорів на джерелі сигналу дозволяє забезпечити просторову селективність та покращити результати подальшої обробки сигналів. В умовах використання автоматизованих або роботизованих систем це є ключовим чинником підвищення ефективності систем «машинного слуху». Таким чином, розробка ефективних методів і систем керування позиціонуванням акустичних сенсорів є важливою задачею, яка безпосередньо впливає на якість, точність і надійність сучасних акустичних вимірювальних та діагностичних систем.

Метою дослідження є синтез комп'ютерно-інтегрованої системи керування позиціонуванням спрямованих акустичних сенсорів при акустичному методі визначення гранулометричного складу подрібненого матеріалу в кульовому млині в умовах невизначеності технологічного середовища. Запропонована система забезпечує автоматичне налаштування просторового положення сенсорів для підвищення стабільності акустичних характеристик, що корелюють із розміром часток матеріалу. Це дозволяє отримувати інформативні параметри процесу подрібнення, необхідні для прийняття керуючих технологічних рішень у режимі реального часу.

Для досягнення поставленої мети було запропоновано експериментальну механічну конструкцію у вигляді двовісьового робота-маніпулятора, на якій закріплюються акустичні сенсори. Механізм позиціонування має два ступені свободи: обертання в горизонтальній площині (кутове позиціонування по колу) та нахил або підйом/опускання сенсорного вузла для позиціонування по вертикалі. Зворотнім зв'язком у системі позиціонування слугують сигнали з акустичних сенсорів, закріплених на кінцевій ланці роботизованої платформи. Кожна ступінь руху приводиться в дію окремим керованим кроковим мотор-редуктором. Вибір крокових двигунів зумовлений можливістю керування їх швидкістю, що значно покращує динаміку та точність позиціонування.

В роботі проведено аналіз існуючих кінематичних схем роботів, та було прийнято рішення, що двовісьова схема, що працює у полярній системі координат, є достатньою для вирішення поставленої задачі. При цьому враховувались не тільки критерії якості позиціонування сенсорів у просторі, а й масо-габаритні та економічні показники. Використання кінематичних схем з

трьома та більше вісями принципово не покращує якість позиціонування акустичних сенсорів, однак значно ускладнює систему керування рухом.

Акустична система включає три мікрофони із суперкардіоїдною діаграмою спрямованості, які розташовуються безпосередньо біля корпусу млина. Різниця потужності сигналів, попарно отримана з мікрофонів, дозволяє позиціонувати сенсорний модуль у двох площинах. Акустичні сигнали, отримані від сенсорів, дозволяють непрямим методом оцінити гранулометричний склад матеріалу, що подрібнюється. Система позиціонування забезпечує збір даних з різних точок для підвищення точності оцінювання. Це дозволяє реалізувати зворотний зв'язок у системі автоматичного керування, адаптуючи параметри подрібнення в реальному часі.

Система керування позиціонуванням акустичних сенсорів побудована на базі портативного комп'ютера, який виконує функції керування, обробки та зберігання інформації. Для взаємодії з виконавчими механізмами використовується модуль введення/виведення дискретних сигналів, що з'єднується з генераторами імпульсів і драйверами крокових двигунів.

Запропонована система керування має можливість інтеграції в сучасні комп'ютерно-інтегровані виробничі середовища, наприклад в SCADA-системи. Її використання дозволяє підвищити якість контролю, зменшити людський фактор та забезпечити адаптивність до умов невизначеності, що особливо актуально в умовах складних або слабо формалізованих технологічних процесів.

У результаті проведеного дослідження було розроблено комп'ютерно-інтегровану систему позиціонування акустичних сенсорів, що забезпечує точне просторове керування положенням сенсорних елементів для підвищення якості збору акустичної інформації. Система може бути ефективно застосована для моніторингу процесу подрібнення матеріалів у кульовому млині, де акустичні параметри слугують інформативними ознаками поточного стану. Запропонований підхід має потенціал до розширення та впровадження в інші галузі акустичного контролю.

Рябушко Андрій Валерійович, старший викладач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, Andrii.Riabushko@kname.edu.ua

Кулаєнко Олег Олександрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, oleh.kulaienko@kname.edu.ua

Блажко Володимир Володимирович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, blazhko.vladimir@kname.edu.ua

Acoustic Sensor Positioning System

***Abstract.** The paper presents the results of research and development of a robotic system for positioning directional acoustic sensors toward signal sources. The applied nature of the work is determined by the use of this system in controlling the material grinding process in a ball mill, where the accuracy of granulometric composition estimation by acoustic methods is directly dependent on the quality of the acoustic signals. The proposed approach enhances the accuracy, reliability, and adaptability of acoustic monitoring, making it a promising solution for implementation in various automated technological processes.*

***Keywords:** acoustic sensors, digital signal processing, positioning, electric drive, material grinding, control system.*

Andrii Riabushko, Senior Lecturer at the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Andrii.Riabushko@kname.edu.ua

Oleh Kulaienko, PhD in Technical Sciences, Associate Professor. at the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, oleh.kulaienko@kname.edu.ua

Volodymyr Blazhko, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, blazhko.vladimir@kname.edu.ua

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ФІБРОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ В РОБОЧОМУ ПРОСТОРИ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Анотація

У роботі розглянуто динаміку процесу осадження частинок фібрових елементів з поліпропілену на внутрішній поверхні перфорованого циліндра установки запропонованої конструкції. Такий процес є характерним для виробництва циліндричних полімерних виробів армованої структури. Метою дослідження є побудова математичної моделі руху фібрових частинок у повітряному потоці з наступним утворенням ущільненого шару, що слугує армувальним елементом майбутнього виробу.

Ключові слова: фібра, осадження, перфорований циліндр, повітряний потік, математичне моделювання, армування, полімерні вироби

Виробництво полімерних виробів, зокрема на основі поліпропілену, є однією з технологій, що стрімко розвиваються у багатьох галузях включаючи машинобудівну. Для підвищення механічної міцності, зносостійкості та довговічності таких виробів активно впроваджуються методи фібрового армування, зокрема за допомогою пропіленових волокон.

Забезпечення рівномірного осадження фібри на внутрішню або зовнішню поверхню форми за допомогою аеродинамічного або відцентрового перенесення є технічно складним процесом, який потребує точного контролю умов формування. У зв'язку з цим актуальним є створення математичних моделей, що описують динаміку осадження фібрових частинок у потоці повітря в умовах дії елементів робочого органу, що сприяють утворенню складного багатоконтурного руху повітряного потоку характерного для установки, конструкція якої є частиною даного дослідження.

Конструкція установки, що представлено на рисунку 1, передбачає наявність ротора з лопатями, який обертається з певною швидкістю та створює високо інтенсивний внутрішній повітряний потік турбулентного характеру. Частинки фібри, які подаються до камери установки, захоплюються потоком повітря і переміщуються спочатку в осьовому напрямку до робочої зони установки, а потім поступово переходять в обертальний рух за рахунок дії відцентрових сил та спрямовуються до стінки циліндру на поверхні якої є отвори. Після осадження фібри на поверхні циліндру відбувається їх часткове ущільнення.

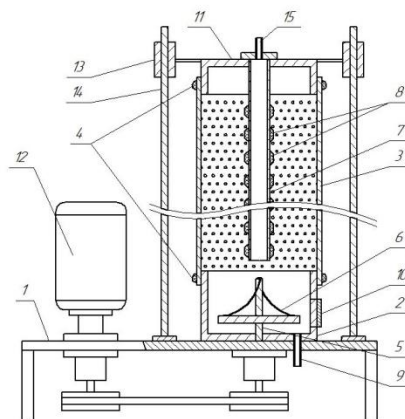


Рисунок 1 – Установка формування фібро-полімерних труб

Циліндр – перфорована оболонка яка виконує функцію фільтруючого елемента, через який відводиться повітря, що забезпечує формування щільного та рівномірного армувального шару. Геометрія лопатей ротора, швидкість його обертання, а також характеристики повітряного потоку відіграють ключову роль у забезпеченні керованості процесу.

Запропонована модель враховує вплив тангенціального, осевого та радіального компонентів швидкості потоку повітря, сили опору фібри з урахуванням її геометрії, обертання ротора з лопатями, що створюють направлений турбулентний рух, міжчастинкової взаємодії у вигляді ефективного коефіцієнта дифузії.

Математична модель базується на рівняннях механіки руху частинок у газовому середовищі, а також на аналітичному описі розподілу швидкості у турбулентному потоці. Особливу увагу приділено визначенню граничної швидкості осадження фібрових елементів залежно від конструктивних параметрів установки та властивостей середовища.

Результатом розробки моделі є можливість розрахувати зони найінтенсивнішого осадження фібрових частинок, прогнозувати густину та однорідність формованого шару, оптимізувати конструктивні параметри установки (діаметр ротора, частоту обертання, кут нахилу лопатей, щільність перфорації), задати режими, за яких забезпечується формування рівномірного армувального шару без втрат фібри в повітряному потоці.

Володимир Володимирович Блашко, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри, доцент кафедри Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків. Blazhko.vladimir@kname.edu.ua

Анна Ігорівна Аніщенко, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків. Anna.Anishchenko@kname.edu.ua

Кулаєнко Олег Олександрович кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків. Oleh.Kulaienko@kname.edu.ua

Рябушко Андрій Валерійович, старший викладач кафедри Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків. Andrii.Riabushko@kname.edu.ua

MODELING THE BEHAVIOR OF FIBROUS ELEMENTS IN THE WORKING SPACE OF A FORMING UNIT

Abstract

The study considers the dynamics of polypropylene fiber particle deposition on the inner surface of a perforated cylinder within a custom-designed forming unit. This process is typical for the production of cylindrical polymer products with a reinforced structure. The aim of the research is to develop a mathematical model of fiber particle motion in an air stream, which leads to the formation of a compacted layer that acts as a reinforcing element in the final product.

Keywords: fiber, deposition, perforated cylinder, air flow, mathematical modeling, reinforcement, polymer products

Vladimir Blazko, PhD, Associate Professor; Head of Department, Associate Professor; Department of Automation of Computer-Integrated Technologies i O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv. Blazhko.vladimir@kname.edu.ua

Anna Anishchenko, PhD, Associate Professor; Associate Professor; Department of Automation of Computer-Integrated Technologies O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv. Anna.Anishchenko@kname.edu.ua

Kulaienko Oleh Oleksandrovych, PhD, Associate Professor; Associate Professor; Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Kharkiv National University of Urban Economy named after O. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine Oleh.Kulaienko@kname.edu.ua

Riabushko Andrii Valeriiovych, Senior Lecturer of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Kharkiv National University of Urban Economy named after O. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine Andrii.Riabushko@kname.edu.ua

ВІБРАЦІЙНА ДІАГНОСТИКА ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ МАШИН

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто роль вібраційної діагностики як ефективного інструменту підвищення надійності машин. Проаналізовано методи аналізу вібрацій, сучасні тенденції розвитку технологій контролю, а також доведено практичну ефективність впровадження вібромоніторингу для своєчасного виявлення дефектів та продовження ресурсу техніки.

Ключові слова вібраційна діагностика, надійність машин, спектральний аналіз, технічне обслуговування, вібромоніторинг.

Вступ

Надійність машин є критичним фактором у промисловості, а понад 60% відмов пов'язані з надмірними вібраціями. Це робить вібраційну діагностику важливим інструментом для раннього виявлення несправностей і забезпечення безпечної експлуатації. У сучасних умовах автоматизації виникає потреба у точному моніторингу технічного стану. Традиційні методи не завжди дозволяють виявити початкові стадії дефектів, на відміну від вібраційної діагностики, яка працює динамічно.

Результати дослідження

Розглянемо деякі приклади застосування вібраційної діагностики. Дослідження складних збірних систем на резонанс є критичним етапом у забезпеченні надійності машин і конструкцій. У сучасній інженерній практиці для виявлення резонансних частот використовують модальний аналіз рис 1, частотний спектральний аналіз рис. 2, вібраційні випробування та комп'ютерне моделювання.

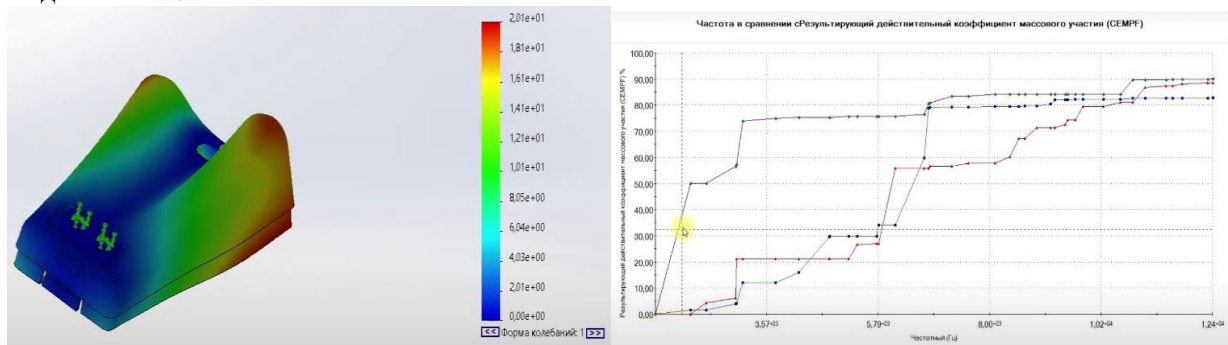


Рисунок 1 – Модальний аналіз CEMPF (Component Effective Modal Participation Factor).

Для спектрального аналізу вібраційний сигнал можна описати двома способами — у часовій та частотній областях. Вимірювання в певному частотному діапазоні дозволяє раніше виявити несправності, ніж аналіз загального рівня вібрації. Для спектрального аналізу використовують послідовні фільтри, зовнішні смугові фільтри або застосовують перетворення Фур'є.

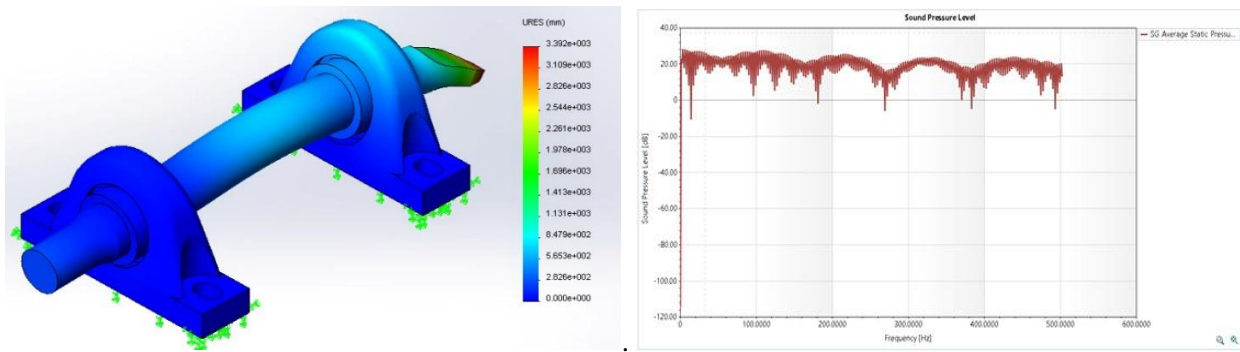


Рисунок 2 – Спектральний аналіз FFT (Fast Fourier Transform).

Аналіз здійснюється в частотних діапазонах двох типів: з постійною відносною шириною смуги (ПОШП), де ширина смуги є сталою на логарифмічній шкалі (наприклад, октавна або її частина), та з постійною абсолютною шириною смуги (ПАШП), при цьому використовуються смуги шириною 0,25; 0,75; 1,0; 2,5; 5,0; 7,5 і 25,0 Гц.

Задачі спектрального аналізу можуть бути розв'язані за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), яке дає змогу визначити внесок окремих гармонік у загальний спектр вібраційного сигналу. Сигнал вібрації, заданий у часовій області як функція амплітуди — $x(t)$, може бути представлений у частотній області у вигляді спектрального розкладу $x(\omega)$:

$$x(\omega) = a_0/2 + a_1 \cos(\omega t) + a_2 \cos(2\omega t) + \dots + a_n \cos(n\omega t) + \dots + b_1 \sin(\omega t) + b_2 \sin(2\omega t) + \dots + b_n \sin(n\omega t)$$

Частотну структуру сигналів визначають шляхом обчислення оцінок спектральної щільності потужності (СЩП). Основними завданнями такого аналізу є виявлення гармонійних компонент у досліджуваному сигналі та оцінювання їх характеристик.

Висновки

Вібраційна діагностика — це потужний інструмент сучасного технічного обслуговування, який дозволяє виявляти приховані дефекти на ранніх стадіях. Завдяки аналізу вібрацій можна точно визначити такі проблеми, як дисбаланс, знос підшипників, тріщини вала, резонансні явища, неефективну роботу демпфуючих механізмів та розцентрування. Це стосується як окремих обертових вузлів, так і складних збірних систем. Завчасне виявлення несправностей допомагає уникнути аварій, мінімізувати простой, зменшити витрати на ремонт і підвищити загальну надійність обладнання. В результаті підприємство отримує стабільну роботу техніки, економію ресурсів та безпечні умови експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вібраційна діагностика машин, проектування, виготовлення, експлуатація: монографія / В. Д. Мигаль, Щ. В. Аргун – Харків : Мачулін, 2024, – 441 с.
2. Вібраційна діагностика технічного стану редукторів верстатів-гойдалок / Б. В. Копей, Л. М. Заміховський, О. В. Євчук [та ін.] // Нафтогазова енергетика. - 2008. - № 1. - С. 60-64.
3. ДСТУ EN 12096:2005. Вібрація. Вимоги до контролю технічного стану машин.
4. <https://www.javelin-tech.com/blog/2023/06/defining-fft-plot-in-solidworks-flow-simulation/>

Кудраш Віталій Олександрович – асистент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: lisofoy844@gmail.com.

Піпа Ярослав Андрійович – студент групи ІГМ-236, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: yaripipa@gmail.com

VIBRATION DIAGNOSTICS AS A TOOL FOR INCREASING MACHINE RELIABILITY

Abstract

The role of vibration diagnostics as an effective tool for increasing machine reliability is examined. Methods of vibration analysis, current trends in control technology development, and the proven practical effectiveness of implementing vibration monitoring for timely defect detection and extending equipment lifespan are analyzed.

Key words: *vibration diagnostics, machine reliability, spectral analysis, maintenance, vibration monitoring.*

Kudrash Vitaly Oleksandrovykh - assistant of the Department of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: lisovoy844@gmail.com.

Pipa Yaroslav Andriyovych – student of group 1ГМ-236, Department of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: yaripipa@gmail.com

КОРПОРАТИВНА СОЦІАЛЬНА ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ (CSR) ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглядається роль корпоративної соціальної відповідальності (CSR) у підвищенні рівня охорони праці. CSR аналізується як стратегічний інструмент забезпечення безпечного робочого середовища, зменшення професійних ризиків і формування позитивного бренду роботодавця. Запропоновано маркетинговий підхід до інтеграції CSR у систему управління охороною праці.

Ключові слова: корпоративна соціальна відповідальність, охорона праці, маркетинг, безпека, бренд роботодавця.

У сучасних умовах динамічного розвитку економіки та трансформації ринку праці питання безпеки працівників і забезпечення належних умов праці набувають особливої ваги. Водночас підвищується інтерес до соціально відповідального ведення бізнесу, де головну роль відіграє корпоративна соціальна відповідальність (від англ. Corporate Social Responsibility (CSR)). Успішні компанії все частіше усвідомлюють, що довгостроковий розвиток неможливий без турботи про людський капітал, безпеки виробничого процесу та формування етичної корпоративної культури. У цьому контексті CSR виступає не лише як морально-етичний підхід, а й як стратегічний інструмент, що здатний істотно підвищити рівень охорони праці, покращити мікроклімат в колективі, зменшити ризики професійних захворювань та травматизму [1].

Актуальність дослідження корпоративної соціальної відповідальності в контексті охорони праці зумовлена зростаючим усвідомленням ролі безпеки людини в системі соціально-економічного розвитку. В умовах глобалізації, цифрової трансформації виробництва та загострення соціальних проблем компанії дедалі частіше стикаються з необхідністю перегляду своїх підходів до управління персоналом.

Охорона праці є однією з основних категорій, що визначає не лише безпеку робочого середовища, а й загальний рівень соціальної відповідальності компанії. Підвищення рівня безпеки праці, впровадження профілактичних заходів, навчання персоналу та створення комфортного мікроклімату на робочому місці є маркерами зрілості організації. У цьому розрізі CSR слугує платформою, що дозволяє інтегрувати цінності безпеки, гідності, поваги до працівника у внутрішню політику компанії [2].

Маркетинговий підхід до аналізу CSR у сфері охорони праці дозволяє виявити численні переваги такої інтеграції. Репутація компанії сьогодні формується не лише через її продукти чи цінову політику, а й через ті цінності, які вона демонструє суспільству. Безпечне робоче середовище, низький рівень травматизму, ефективна система мотивації персоналу на основі здоров'я і добробуту – усе це є частиною бренду роботодавця. У цьому випадку CSR виступає як нематеріальний актив, що генерує додану вартість бренду та забезпечує стратегічну перевагу на ринку [3].

Інтеграція CSR у систему охорони праці дозволяє компаніям виходити за межі формальних приписів законодавства і розглядати безпеку праці як об'єкт інновацій [4].

Ефективна реалізація принципів CSR у сфері охорони праці передбачає багаторівневу комунікацію. Значну роль відіграє й те, що CSR дозволяє перетворити працівників з об'єкта управління на активних учасників змін. Коли компанія залучає персонал до розробки політик охорони праці, заохочує ініціативи зниження виробничих ризиків, підтримує програми

психологічної допомоги чи профілактичної медицини, вона формує середовище співпраці, довіри та взаємоповаги. Це, у свою чергу, посилює корпоративну згуртованість, сприяє утриманню цінних кадрів, стимулює творчість і підвищує якість продукції чи послуг.

Важливим є і те, що CSR у сфері охорони праці сприяє зміцненню національного та міжнародного іміджу компанії. Для підприємств, що працюють на експорт або залучають іноземних інвесторів, відповідність міжнародним стандартам безпеки праці (наприклад, ISO 45001) є необхідною умовою доступу до глобальних ринків. CSR дозволяє не просто відповідати цим стандартам, а інтегрувати їх у стратегію розвитку, демонструючи глибоке розуміння сучасних вимог та готовність до партнерства на засадах відповідальності та прозорості [4].

Отже, можна стверджувати, що корпоративна соціальна відповідальність у сфері охорони праці є не просто модним трендом, а основним чинником формування конкурентних переваг сучасного бізнесу. Вона забезпечує не лише правовий і етичний фундамент функціонування компанії, але й відкриває нові горизонти для маркетингу, HR-менеджменту, PR і стратегічного управління. Для студентів спеціальності «Маркетинг», які вивчають дисципліну «Безпека життєдіяльності та основи охорони праці», розуміння CSR як багатофункціонального інструменту є надзвичайно важливим. Це дозволяє формувати комплексний підхід до управління брендом, побудований на цінностях, відповідальності та повазі до людини як до головного ресурсу бізнесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Станасюк Н. С., Пасінович І. І., Томашевська А. Р. Сучасні підходи до оцінювання корпоративної соціальної відповідальності підприємств // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Проблеми економіки та управління.* – 2021. – № 5(2). – С. 109–120. – Режим доступу: <https://doi.org/10.23939/semi2021.02.109> (дата звернення: 13.04.2025).

2. Міжнародний стандарт ISO 26000. Настанова по соціальній відповідальності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/lmksfr> (дата звернення: 13.04.2025).

3. Бурдюк О. В., Галатов Б. М. Корпоративна соціальна відповідальність як інструмент бізнес-стратегії розвитку підприємств // *Економічний вісник Дніпровського державного технічного університету.* – 2023. – № 1(6). – С. 49–57. – Режим доступу: [https://doi.org/10.31319/2709-2879.2023iss1\(6\).282985pp49-57](https://doi.org/10.31319/2709-2879.2023iss1(6).282985pp49-57) (дата звернення: 13.04.2025).

4. Райко Д. В., Порез О. І. Соціальна відповідальність як інструмент управління сталим розвитком промислового підприємства // *Проблеми економіки.* – 2020. – № 1(43). – С. 173–189. – Режим доступу: https://www.problecon.com/export_pdf/problems-of-economy-2020-1_0-pages-173_189.pdf (дата звернення: 13.04.2025).

Віштак Інна Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua

Скидан Крістіна Богданівна – студентка групи МР-226, факультет менеджмент інформаційної безпеки та технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: skidankristinka11@gmail.com

CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY (CSR) AS A TOOL FOR IMPROVING LABOR PROTECTION

Abstract

This thesis examines the role of corporate social responsibility (CSR) in improving occupational safety. CSR is analyzed as a strategic tool for creating a safe working environment, reducing professional risks, and building a positive employer brand. A marketing approach to integrating CSR into occupational safety management is proposed.

Keywords: corporate social responsibility, occupational safety, marketing, security, employer brand.

Vishtak Inna. V. – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department Safety of Life and Pedagogical Safety, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: vishtakiv@vntu.edu.ua

Skydan Kristina B. – Student of Department of Management and Information Security, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: skidankristinka11@gmail.com

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДІВНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ ПЕРЕХОДУ ДО СТАЛОГО ЕКОНОМІЧНОГО ЗРОСТАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Матеріали присвячено аналізу та дослідженням питань стану та перспектив розвитку машинобудівного сектору України в контексті переходу до сталого економічного зростання.

Ключові слова: машинобудування, сталий розвиток, економіка, зростання, ефективність.

Сьогодні питання стану вітчизняного машинобудування в контексті сталого економічного розвитку є досить складним. Машинобудівна промисловість традиційно була однією із ключових галузей в українській економіці, проте з початку 1990-х років вона переживає глибоку трансформацію, котра супроводжується складними структурними змінами та багатьма кризовими явищами [1, 2]. Відповідно машинобудування України наразі перебуває у складному, але водночас перспективному становищі. Не зважаючи на свою значущість, дана галузь в останні роки переживає також серйозні виклики через військову агресію РФ, руйнування інфраструктури, втрату виробничих потужностей, логістичні труднощі та скорочення інвестицій.

Основними проблемами машинобудування сьогодні пов'язані із руйнуванням підприємств, котрі опинилися в зоні бойових дій [3]. Також на сьогодні втрачено значні ринки збуту, а вітчизняна продукція не витримує конкуренції на західних ринках.

Нестача інвестицій не дає можливість вчасно та в повній мірі модернізувати обладнання, що в свою чергу заважає конкурувати з іноземними виробниками. Сьогодні доступ до кредитів та інвестицій, особливо іноземних, досить обмежений. Державна підтримка інновацій у галузі є низькою. Потенційні інвестори побоюються вкладати свої ресурси через політичну нестабільність.

Більшість підприємств машинобудування використовують морально та фізично застарілі технології з низькою енергоефективністю виробництва. Обладнання має високий рівень морального та фізичного зношення (часто понад 70%) [4].

Також суттєво відчувається кадровий голод – брак кваліфікованих інженерів та технічних працівників, що пов'язано із їх відтоком, невідповідністю освітніх програм сучасним потребам ринку, старінням персоналу та недостатньою підготовкою молодих фахівців.

Крім того, сьогодні на вітчизняних машинобудівних підприємствах в стратегію діяльності недостатньо інтегровані принципи сталого розвитку [5]. Слабкими також є довгострокове планування та екологічні ініціативи на вітчизняних підприємствах та недостатній рівень цифровізації виробництва.

Відповідно перспективи вітчизняного машинобудування в умовах сталого економічного розвитку України визначаються такими ключовими факторами:

- Інновації та технологічні переходи. Сталий розвиток машинобудівної галузі потребує активного впровадження інноваційних технологій. Це включає: цифровізацію виробничих процесів (наприклад, використання 3D-друку, інтелектуальних систем управління); автоматизацію та роботизацію, що знижує витрати та покращує ефективність виробництва; інвестиції в дослідження і розробки для створення нових продуктів, орієнтованих на майбутні потреби ринку, такі як електричні та автономні транспортні засоби, «зелені» технології.

- Зелені технології та екологічні стандарти. Підвищена увага до екологічних стандартів та сталого розвитку змусить підприємства машинобудування інвестувати в енергоефективні та екологічно чисті

технології: перехід на використання відновлювальних джерел енергії (сонце, вітер); розвиток екологічно чистого транспорту (електричні автомобілі, водень, електробуси); політика замкненого циклу виробництва (підвищення рівня переробки матеріалів).

- Експортний потенціал та інтеграція в глобальні ланцюги постачання. Українські машинобудівні підприємства можуть успішно розвивати експорт, зокрема в рамках інтеграції в Європейський Союз та інші міжнародні ринки. Складова частина цього розвитку – участь у міжнародних проектах із модернізації інфраструктури, що допоможе покращити конкурентоспроможність українських підприємств.

- Підвищення кваліфікації кадрів та розвиток інфраструктури. Важливим аспектом для сталого розвитку є забезпечення машинобудівної галузі висококваліфікованими кадрами, а також модернізація інфраструктури (нові виробничі потужності, удосконалення логістики).

Таким чином, перспективи розвитку вітчизняного машинобудування в умовах сталого економічного розвитку України зумовлені цілою низкою факторів, що взаємодіють на рівні технологій, економічних тенденцій, екологічних вимог і політики держави. Українська машинобудівна галузь має значний потенціал для перетворення на високотехнологічну, екологічно орієнтовану та конкурентоспроможну на міжнародному рівні. Тому важливою умовою розвитку є ефективна підтримка з боку держави, яка має забезпечити сприятливі умови для інвесторів через податкові пільги, фінансування досліджень та інновацій, а також активну участь у міжнародних програмах. Якщо Україна зможе реалізувати ці пріоритети, створити сприятливе економічне та інвестиційне середовище, то вітчизняне машинобудування зможе не лише забезпечити сталий економічний розвиток, а й зміцнити свою позицію на світовому ринку, зробивши вагомий внесок у сталий розвиток національної економіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кубатко О. В., Ковальов Б. Л., Семенова І. А., Терещенко М. В. Сталий розвиток та ресурсна безпека: від проривних технологій до цифрової трансформації економіки України : наук. доп. Суми : СумДУ, 2021. 184 с.

2. Ляховська О. В. Регіональна структура машинобудування в Україні: сучасні тенденції змін // Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України. 2021. № 1(145). С. 256–260.

3. Національний інститут стратегічних досліджень. Напрями розбудови машинобудування в Україні як драйвера економічного розвитку під час війни та у повоєнний період : аналіт. доп. Київ : НІСД, 2023. 62 с.

4. Сокол Є. І., Посохов І. М., Данько Т. В. та ін. Міжнародні економічні відносини. Сталий розвиток України в умовах глобалізації та Європейської економічної інтеграції: проблеми, перспективи, ефективність : матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Київ : ФЕНІКС, 2024. 145 с.

5. Марценюк, С. М. Сталий розвиток машинобудування України: концептуальні підходи і практичні рішення / С. М. Марценюк. Київ : Вид-во НАН України, 2024. 320 с.

Адлер Оксана Олександрівна доцент, к.т.н., доцент кафедри економіки підприємства та виробничого менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Oksana_adler1983@ukr.net.

STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE MACHINE-BUILDING SECTOR OF UKRAINE IN THE CONTEXT OF TRANSITION TO SUSTAINABLE ECONOMIC GROWTH

Abstract

The materials are devoted to the analysis and research of the state and prospects for the development of the machine-building sector of Ukraine in the context of the transition to sustainable economic growth.

Keywords: mechanical engineering, sustainable development, economy, growth, efficiency.

Adler Oksana, Associate Professor, Ph.D., Associate Professor of the Department of Enterprise Economics and Production Management, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, Oksana_adler1983@ukr.net.

СПІВПРАЦЯ З ВИРОБНИЦТВОМ ЯК ЗАПОРУКА ЯКІСНОЇ ПІДГОТОВКИ ДОКТОРІВ ФІЛОСОФІЇ У ГАЛУЗІ МАШИНОБУДУВАННЯ: УКРАЇНСЬКИЙ ТА МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Співпраця з виробництвом - ключовий чинник якісної підготовки PhD у машинобудуванні. Аналіз українського та міжнародного досвіду виявив ефективні моделі: індустріальні PhD-програми, спільні дослідження, стажування, дуальна освіта. Переваги: практичні навички, працевлаштування, оновлення освітніх програм, доступ до ресурсів, інновації. Проблеми в Україні: фрагментарність співпраці, недостатнє фінансування, застаріла база, відсутність механізмів розподілу IP, слабка інтеграція з Industry 4.0. Впровадження міжнародних практик, державно-приватне партнерство та модернізація програм забезпечать якість підготовки й інноваційний розвиток галузі.

Ключові слова: доктор філософії, машинобудування, співпраця з виробництвом, дуальна освіта, інновації, освітньо-наукові програми, інтеграція освіти і науки, науково-виробничі лабораторії

Підготовка докторів філософії у машинобудуванні ключова для розвитку інновацій та конкурентоспроможності країни. Інтеграція академічної підготовки з потребами промисловості, особливо в умовах цифровізації, забезпечує якість PhD-програм. Міжнародний досвід підтверджує: співпраця університетів із виробництвом стимулює інновації, трансфер технологій та комерціалізацію наукових розробок [1].

В Україні машинобудування є основною галуззю економіки, що визначає технологічний рівень і експортний потенціал держави. Однак підготовка докторів філософії у цій сфері стикається з проблемами: слабкою інтеграцією з виробництвом, недостатнім фінансуванням, застарілою матеріальною базою та низькою участю приватного сектору. Аналіз міжнародного досвіду допомагає визначити шляхи вдосконалення національної системи й оптимальні механізми взаємодії науки і промисловості. [2].

Міжнародна практика пропонує різні моделі поєднання академічної й виробничої підготовки докторів філософії. Найпоширеніша - «індустріальна докторантура», коли дисертація виконується на підприємстві або у співпраці з виробництвом. У країнах ЄС (Велика Британія, Швеція, Данія, Німеччина) діють спеціальні центри підготовки докторів, що фінансуються державою та промисловістю й орієнтовані на вирішення актуальних технологічних завдань. [3].

У Канаді програма Mitacs Accelerate фінансує стажування PhD-студентів і спільні проекти університетів з компаніями. У США діє подібна ініціатива NSF GOALI для підтримки досліджень у машинобудуванні. В Японії та Південній Кореї аспіранти працюють у корпоративних лабораторіях, впроваджуючи інновації у виробництво [4].

В Україні співпраця університетів із виробництвом у підготовці PhD здебільшого має локальний характер і обмежується окремими проектами чи практикою. Водночас у провідних технічних університетах створюють науково-виробничі лабораторії, інженерні центри та спільні освітньо-наукові програми з підприємствами машинобудування. [5].

Інтеграція академічної підготовки з виробничою практикою корисна для докторантів, університетів і підприємств. Співпраця з виробництвом робить дослідження практично орієнтованими, підвищує якість дисертацій і сприяє розвитку інженерного мислення. Випускники індустріальних PhD-програм працевлаштовуються у високотехнологічних компаніях на 30–40% частіше, ніж ті, хто навчався лише академічно [6].

Тісна взаємодія з виробництвом розширює професійні контакти докторантів, полегшує адаптацію до сучасної індустрії, формує навички командної роботи й управління проектами. У країнах ЄС і Північної Америки ці компетентності є ключовими для лідерів інноваційних проектів та менеджерів з R&D [7,8].

Співпраця з виробництвом дає доступ до сучасного обладнання, технологій і фінансових ресурсів. Часто саме промислові партнери фінансують дослідження, надають матеріали, організують стажування та оплачують участь у конференціях. Наприклад, у програмі EPSRC Centre for Doctoral Training до 50% бюджету забезпечують промислові партнери. [6]. Для університетів співпраця з виробництвом підвищує якість освітніх програм, оновлює зміст дисциплін і зміцнює наукову репутацію через спільні публікації та впровадження інновацій. Для підприємств це дає змогу залучати молодих дослідників до вирішення виробничих завдань, оновлювати кадровий потенціал і підвищувати інноваційність та конкурентоспроможність на ринку. [6,8].

Університети США, Канади, Великої Британії, Німеччини та Скандинавських країн використовують різні моделі інтеграції PhD-програм із виробництвом. Наприклад, у США здобувачі працюють у лабораторіях під керівництвом викладачів, які отримують фінансування від Національного наукового фонду за співпрацю з промисловістю. Це дозволяє здобувачі розвивати власні дослідження, набувати командного досвіду та готуватися до кар'єри в промисловості або академії [9,10].

У Канаді програма Mitacs Accelerate фінансує стажування аспірантів у компаніях, де вони працюють над реальними виробничими завданнями, сприяючи інноваціям і трансферу технологій. Дослідження показують, що підприємства, які співпрацюють із Mitacs, мають вищі темпи зростання та інноваційності порівняно з тими, що не беруть участі в програмі [11]. У Великій Британії та країнах ЄС створюються центри підготовки докторів філософії, що поєднують міждисциплінарну освіту, дослідження й стажування на виробництві. Більшість проектів реалізується з участю десятків промислових компаній, що забезпечує актуальність досліджень і швидке впровадження результатів у виробництво [6].

Міжнародні програми значну увагу приділяють розвитку «м'яких навичок» - міжкультурної комунікації, управління проектами, лідерства, критичного мислення. Наприклад, аспіранти Університету Ватерлоо (Канада) та Кеттерінгського університету (США) проходять міжнародні стажування й беруть участь у спільних інженерних проектах, що формує глобальне бачення та адаптацію до мультикультурного середовища [8].

В Україні співпраця науковців із виробництвом у підготовці докторів філософії з машинобудування залишається фрагментарною: у деяких провідних технічних університетах створено науково-виробничі лабораторії та інженерні центри, аспіранти залучаються до спільних проектів із підприємствами, але така взаємодія здебільшого епізодична й залежить від ініціативи окремих кафедр, не будучи системною частиною PhD-програм. Основними проблемами є недостатнє фінансування досліджень з боку промисловості, застаріла матеріально-технічна база, нечіткі механізми розподілу прав на інтелектуальну власність і слабка інтеграція освітньої та наукової складових із потребами ринку праці [12-14].

Попри фрагментарність співпраці, окремі позитивні приклади свідчать про потенціал її розвитку. Зокрема, спільні проекти з «Мотор Січ», «Антонов» і «АрселорМіттал Кривий Ріг» дають аспірантам доступ до сучасного обладнання, участь у розробці нових технологій і впровадженні результатів у виробництво. Такі кейси доводять, що за умови розвитку державно-приватного партнерства й інноваційної активності українська система підготовки PhD може наблизитися до міжнародних стандартів [15-17].

Порівняння української та міжнародної практики підготовки докторів філософії у машинобудуванні показує значні відмінності в організації та результативності співпраці науки й виробництва. У країнах ЄС, США та Канади така співпраця є стратегічним пріоритетом державної політики, що закріплено у програмах фінансування, законодавстві та інституційних механізмах [1,4]. У Великій Британії, Німеччині, Швеції діють програми підтримки індустріальних PhD із спільним фінансуванням держави та бізнесу, чітким розподілом прав на результати досліджень і обов'язковим стажуванням аспірантів на виробництві. У США NSF GOALI стимулює створення міждисциплінарних академічно-промислових груп, а в Канаді програма Mitacs Accelerate фінансує як стажування, так і спільні наукові проекти для трансферу технологій і комерціалізації розробок [1]. В Україні співпраця університетів із промисловістю часто не є системною,

обмежується окремими договорами чи проектами, а фінансування з боку бізнесу мінімальне. Відсутність чітких механізмів розподілу інтелектуальної власності, недостатня мотивація підприємств інвестувати в науку й низький рівень довіри між академічним і виробничим секторами гальмують ефективні партнерства [5,12].

Серед ключових проблем, що стримують розвиток співпраці між наукою і виробництвом в Україні, можна виділити: недостатнє фінансування з боку бізнесу: підприємства рідко інвестують у довгострокові дослідження через економічні ризики, нестабільність ринку та відсутність податкових стимулів. Для вирішення цієї проблеми доцільно впровадити державні програми співфінансування, податкові пільги для компаній, що інвестують у підготовку PhD, і механізми державно-приватного партнерства [18]; багато технічних університетів України не мають сучасного обладнання для актуальних досліджень у машинобудуванні. Вирішити це можна шляхом створення спільних лабораторій, технопарків, центрів колективного користування та залучення міжнародних грантів і інвестицій [5]. Відсутність механізмів розподілу прав на інтелектуальну власність ускладнює патентування, комерціалізацію розробок і розподіл доходів між університетом, аспірантом та підприємством. Вирішення можливе через типові договори й модель «shared ownership» (50/50), як у країнах ЄС [19].

Недостатня інтеграція освіти й науки з ринком проявляється у відриві PhD-програм від сучасних технологічних трендів і вимог Industry 4.0, цифровізації, автоматизації та штучного інтелекту. Необхідно оновлювати зміст програм, залучати бізнес до розробки навчальних планів і впроваджувати курси з інновацій, цифрових технологій та проектного менеджменту [5,20].

Для підвищення ефективності співпраці між університетами та виробництвом у підготовці докторів філософії у машинобудуванні доцільно: створити національні інженерні центри за зразком EPSRC (Велика Британія) для міждисциплінарних досліджень з участю університетів, підприємств і наукових установ; запровадити державні програми співфінансування проектів і стажувань, податкові пільги для бізнесу, що інвестує в PhD; упровадити типові договори для чіткого розподілу прав на інтелектуальну власність, комерціалізацію розробок і відповідальності сторін; оновити PhD-програми відповідно до трендів (цифрові технології, інноваційний менеджмент) із залученням представників промисловості; розвивати спільну інфраструктуру (лабораторії, технопарки, центри трансферу технологій) для ефективного використання ресурсів та прискорення інновацій.

Співпраця з виробництвом є визначальною для якісної підготовки докторів філософії у машинобудуванні, що підтверджується міжнародним і українським досвідом. Інтеграція академічної освіти з потребами промисловості забезпечує практичну спрямованість досліджень, підвищує працевлаштування випускників і сприяє інноваційному розвитку країни. Україні важливо врахувати світовий досвід, адаптувати його до національних умов, розвивати механізми співпраці, стимулювати інвестиції бізнесу в науку й освіту та оновлювати освітні програми відповідно до вимог сучасної індустрії

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Boost innovation with research-based internships - mitacs accelerate. *Mitacs*. URL: <https://www.mitacs.ca/our-programs/accelerate/> (date of access: 07.05.2025).
2. Катерина Т. Україна: машинобудування. *BVE*. URL: <https://vue.gov.ua/Україна: машинобудування> (дата звернення: 07.05.2025).
3. Salimi N., Bekkers R., Frenken K. Does working with industry come at a price? A study of doctoral candidates' performance in collaborative vs. non-collaborative ph.d. projects. *Technovation*. 2015. Vol. 41-42. P. 51–61. URL: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2015.03.007> (date of access: 07.05.2025).
4. Grant opportunities for academic liaison with industry (GOALI). *NSF - National Science Foundation*. URL: <https://www.nsf.gov/funding/opportunities/goali-grant-opportunities-academic-liaison-industry/504699/nsf12-513> (date of access: 07.05.2025).
5. Рада молодих учених при М-ві освіти і науки України. ЗВІТ річний з 01.01.2023 р. по 31.12.2023 р. <https://mon.gov.ua>. URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/nauka/rada%20molodich%20uchenich/2023/31.12.2023/RMU.zvit.richnyy.01.01.2023-31.12.2023.pdf> (date of access: 07.05.2025).
6. Centres for doctoral training (cdts). *The University of Sheffield*. URL: <https://www.sheffield.ac.uk/mac/phd/doctoral-training-centres> (date of access: 07.05.2025).
7. 7 phd types destined to get hired in 2021 (& 3 types certain to fail) -. *Cheeky Scientist*. URL: <https://cheekyscientist.com/7-phd-types-destined-to-get-hired-in-2021-3-types-certain-to-fail/> (date of access: 07.05.2025).

8. Hatakeyama K. International cooperation in engineering education. *Academia.edu - Find Research Papers, Topics, Researchers*. URL: https://www.academia.edu/23407515/International_Cooperation_in_Engineering_Education (date of access: 07.05.2025).
9. Mechanical and industrial engineering. *Mechanical and Industrial Engineering | University of Illinois Chicago*. URL: <https://mie.uic.edu/graduate/phd-programs/> (date of access: 07.05.2025).
10. Mechanical and industrial engineering ph.d. | RIT. *RIT*. URL: <https://www.rit.edu/study/mechanical-and-industrial-engineering-phd> (date of access: 07.05.2025).
11. *Mitacs: Bringing Innovation Into Reach - Mitacs*. URL: <https://www.mitacs.ca/wp-content/uploads/2023/10/Impact-Report-22-23-EN.pdf> (дата звернення: 07.05.2025).
12. ОБГОВОРЕННЯ ПИТАНЬ ЗАПОЧАТКУВАННЯ ОСВІТНЬО-НАУКОВОЇ ПРОГРАМИ «ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ» ТРЕТЬОГО РІВНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ «ДОКТОР ФІЛОСОФІЇ» З ПРОВІДНИМИ ФАХІВЦЯМИ ТОВ «ЛІТМА» - Хмельницький національний університет. *Хмельницький національний університет* -. URL: <https://khmnu.edu.ua/en/obgovorennya-pytan-zapochatkuvannya-osvitno-naukovoyi-programy-galuzeve-mashynobuduvannya-tretogo-rivnya-vyshhoyi-osvity-doktor-filosofiyi-z-providnyimi-fahivczyamy-tov-li/> (дата звернення: 07.05.2025).
13. ХНАДУ: галузеве машинобудування. *ХНАДУ: Механічний факультет*. URL: <https://mf.khadi.kharkov.ua/departments/budivelnikh-i-dorozhnikh-mashin/pidgotovka-doktoriv-filosofiji-phd/> (дата звернення: 07.05.2025).
14. Всеукраїнський фаховий семінар із забезпечення якості вищої освіти з економіки та менеджменту - МНТУ. *МНТУ*. URL: <https://istu.edu.ua/всеукраїнський-фаховий-семінар-із-з/> (дата звернення: 07.05.2025).
15. Балушок К. Б. Співпраця "Мотор Січ" з установами НАН України на сучасному етапі. *Вісник Національної академії наук України*. 2024. № 5. С. 35-38. URL: <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0001489732>
16. Інститут механічної інженерії та транспорту започатковує співпрацю з Державним підприємством «Антонов» | Національний університет «Львівська політехніка». | *Національний університет «Львівська політехніка»*. URL: <https://lpnu.ua/news/institut-mekhanichnoi-inzhenerii-ta-transportu-zapochatkovuie-spiivratsiu-z-derzhavnym> (дата звернення: 07.05.2025).
17. Співпраця з відділом підбору персоналу та розвитку молодіжних проєктів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» набуває нових проявів :: криворізький національний університет. *Криворізький національний університет*. URL: <https://www.knu.edu.ua/novini/spivprasya-z-viddilom-pidboru-personalu-ta-rozvytku-molodizhnyh-proyektiv-pat-arselormittal-kryvyi-rih-nabuvaye-novyh-proyaviv> (дата звернення: 07.05.2025).
18. Efficiency in university-industry collaboration: an analysis of UK higher education institutions - Scientometrics. *SpringerLink*. URL: <https://doi.org/10.1007/s11192-021-04076-w> (date of access: 07.05.2025).
19. Universities of science and technology advancing the Clean Industrial Deal. *CESAER*. URL: <https://www.cesaer.org/news/universities-of-science-and-technology-advancing-the-clean-industrial-deal-1950/> (date of access: 07.05.2025).
20. Вища освіта назустріч четвертій промисловій революції: кейси з європейського та українського досвіду Монографія. Дніпро. «Поліграфічна акцидентна фірма», 2021. - 68 с.

Поліщук Олександр Васильович – к.т.н., доц. кафедри БЖДПБ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: polischuk@vntu.edu.ua.

Загнітко Ярослав Віталійович – аспірант кафедри «Галузеве машинобудування», Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: yaroslavzagnitko94@gmail.com.

Abstract

Cooperation with industry is a key factor in the quality of PhD training in mechanical engineering. An analysis of Ukrainian and international experience has revealed effective models: industrial PhD programs, joint research, internships, and dual education. Advantages: practical skills, employment, updating of educational programs, access to resources, innovations. Challenges in Ukraine: fragmented cooperation, insufficient funding, outdated facilities, lack of IP distribution mechanisms, poor integration with Industry 4.0. Implementation of international practices, public-private partnerships, and modernization of programs will ensure the quality of training and innovative development of the industry.

Keywords: Doctor of Philosophy, mechanical engineering, cooperation with industry, dual education, innovations, educational and research programmes, integration of education and science, research laboratories

Polishchuk Oleksandr V. - PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: polischuk@vntu.edu.ua.

Zahnitko Yaroslav V. - Postgraduate student of the Department of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine. e-mail: yaroslavzagnitko94@gmail.com.

ОЦІНКА ЯКІСНОГО СТАНУ КИТАЙСЬКИХ КОВБАС МАТЕМАТИЧНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ МЕТОДОМ ФАКТОРНИХ ПЛОЩ

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація

Об'єктом досліджень у даній науковій роботі стали характеристики овочевої китайської ковбаси, а саме, вміст натрієвої солі, жиру, холестерину, нітритів, сірки та хлору. Проведення математичного моделювання ґрунтувалось на гіпотезі, що обрані оціночні параметри продукції, представлені у безрозмірних одиницях, створюють відповідні факторні простори, які можна обчислити за площами геометричних фігур. Отримані математичні алгоритми та їх геометрична візуалізація дозволили ефективно оцінити якість відповідного зразка продукції.

Ключові слова: моделі якості; зразки овочевої ковбаси; якісні та нормативні параметри; вміст шкідливих речовин та вітамінів.

Вступ

Китайські ковбаси є зручністю у зберіганні та використанні; відзначаються широтою асортименту, що включає сосиски з гладким м'ясом, ковбаси тривалого зберігання, пісні ковбаси з сильними смаковими приправами та солоні, тверді та м'які та багато інших [1]. Такі властивості визначають дані продукти як важливі елементи харчування як у домашніх умовах, так і в закладах громадського харчування. Овочеві ковбаси, зразки яких досліджувались у роботі, поєднують у структурі овочі та м'ясну сировину; що надають споживачам більший вибір асортименту, створюють нові перспективні напрями розробки збалансованих харчових продуктів, які мають широке науково-дослідне значення та ринкову перспективу [2].

Разом із цим, характерним для китайських ковбасах є порівняно високий вміст натрієвої солі, жиру, холестерину, нітритів, сірки та хлору. Високий вміст жиру та холестерин, відсутність водорозчинних вітамінів та мінералів, споживання більшої кількості свинячих ковбас може легко призвести до таких захворювань, як гіпертонія та атеросклероз [1, 2]. Тривале споживання занадто великої кількості натрію може призвести до підвищення ризику високого кров'яного тиску та серцево-судинних захворювань. Нітрити можуть окислювати гемоглобін з низьким вмістом заліза до метабемоглобіну, що може призвести до нівелювання здатності переносити кисень, викликаючи гіпоксію тканин. Наявність білку у ковбасах може бути алергеном для деяких людей, що залежить від індивідуальної алергії та чутливості.

Розробка нових сортів ковбасної та іншої харчової продукції має тенденцію до сталого розвитку, що покращує комфортність життя людей, але й вимагає вирішення оздоровчих, соціальних та екологічних аспектів. Безпечно вимагають розвитку методів та оснащення для контролю якості харчової продукції. Тому безсумнівно *актуальним* є розробка та використання нових ефективних методів оцінки якісного стану харчової продукції для забезпечення безпечного харчування, вживання екологічно чистих продуктів, планування здорового образу життя.

Метою роботи є розробка ефективної оцінки якісного стану харчових продуктів шляхом використання результатів експериментального аналізу властивостей овочевих китайських ковбас, математичного моделювання методом «факторних площ».

Результати дослідження

Відповідно до експериментальних даних для овочевої ковбаси провели перерахунок основних показників якості у безрозмірні комплекси для побудови відповідних математичних моделей. Отримані параметри R_i відклали у полярних координатах послідовно через кут, що дорівнює $360/n$, де n – кількість оціночних характеристик. Кожний із даних параметрів оцінювався при порівнянні з даними технічних та технологічних умов або нормативних характеристик, що дорівнював умовній одиниці. У результаті геометрична візуалізація отриманої математичної моделі якісного стану складалась із правильного та неправильного n -кутника.

Для реалізації розробленого методу математичного моделювання висунули наукову *гіпотезу*, згідно

із якою відповідні площі неправильних багатокутників чисельно відображають якісний стан продукції, що можна порівняти із нормативним факторним простором, який описується площею правильного багатокутника. Для 6-факторної оцінки зразка китайської овочевої ковбаси отримали наступний математичний алгоритм для визначення площі неправильного 6-кутника [3]:

$$S_{06} = 0,5 \sin 60 \cdot [R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_3 \cdot R_4 + R_4 \cdot R_5 + R_5 \cdot R_6 + R_6 \cdot R_1] \quad (1)$$

де $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ – поточні оціночні параметри в умовних одиницях, які показують вміст відповідно натрієвої солі, жиру, холестерину, нітритів, сірки та хлору.

Величини даних параметрів дозволили побудувати математичну модель якісного стану зразка овочевої китайської ковбаси за вмістом шкідливих речовин (рис.1).

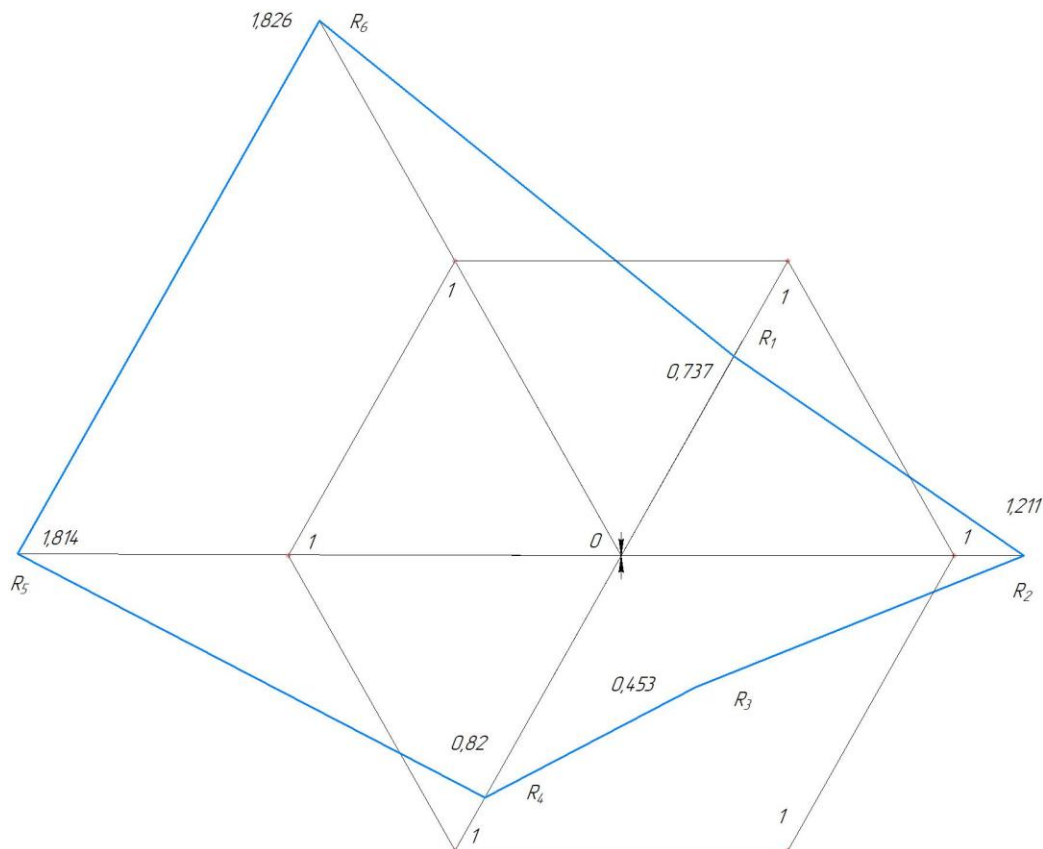


Рис.1. Математична модель якісного стану зразка овочевої китайської ковбаси за вмістом шкідливих речовин (синім кольором показана модель за поточними параметрами зразка, а чорним – за нормативними)

Аналіз геометричних моделей на рис.1 свідчить, що зразок овочевої ковбаси перевищує нормативні значення за вмістом сірки та хлору відповідно на 81,4 та 82,6 %. У цілому за всіма негативними параметрами має місце перевищення нормативу в 1,32 рази.

Далі провели оцінку якості даного зразка за вмістом 7 різновидів вітамінів, а саме, $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_9$. Для 7-факторної оцінки зразка китайської овочевої ковбаси отримали наступний математичний алгоритм для визначення площі неправильного 7-кутника [4]:

$$S_{07} = 0,5 \sin 60 \cdot [R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_3 \cdot R_4 + R_4 \cdot R_5 + R_5 \cdot R_6 + R_6 \cdot R_7 + R_7 \cdot R_1] \quad (2)$$

де $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ – поточні оціночні параметри в умовних одиницях, які показують вміст відповідно вітамінів $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_9$.

Аналогічно попередній методиці за величинами вмісту використаних вітамінів побудували математичну модель якісного стану зразка овочевої китайської ковбаси за вмістом вітамінів (рис.2).

Аналіз геометричних моделей на рис.2 свідчить, що зразок №2 китайської овочевої ковбаси значно перевищує нормативні значення за вмістом вітаміну B_1 (thiamine) у 3,61 раза, вітаміну B_3 (niacin) – у 2,8 раза, вітаміну B_6 – у 2,76 раза, вітамінів B_9 (Folic Acid) та B_2 (riboflavin) – у 2 рази, вітаміну B_4 (choline) – на 39,4 %. Лише вміст вітаміну B_5 (pantothenic acid) склав 32,3 % від нормативного показника. У цілому за всіма оціночними параметрами має місце перевищення нормативу в 4,34 рази, що свідчить про високий вміст у овочевій ковбасі вітамінів.

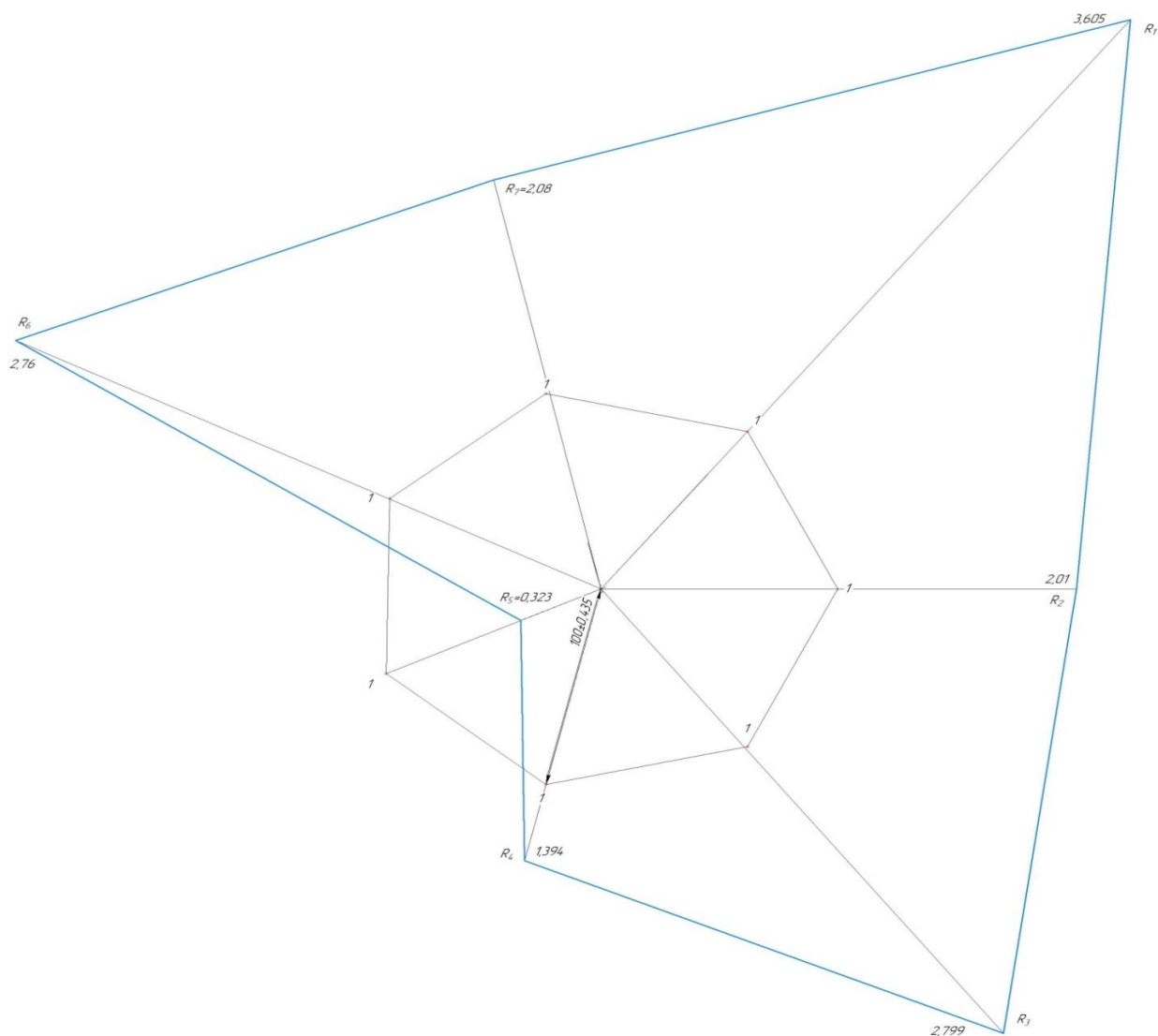


Рис.2. Математична модель якісного стану зразка овочевої китайської ковбаси за вмістом вітамінів (синім кольором показана модель за поточними параметрами зразка, а чорним – за нормативними)

Висновки

1. Розроблений метод математичного моделювання базується на чисельних параметрах оцінки, які є необмеженими за кількістю, що дозволяє здійснити ефективну об'єктивну оцінку якісного стану досліджуваних зразків продукції.
2. Оцінка зразка овочевої ковбаси за вмістом шкідливих речовин виявила, що факторна площа поточних параметрів перевищила нормативну на 32,8%, спостерігалось перевищення за нормативні на 80% лише двох якісних характеристик із шести.
3. За результатами оцінки якісних властивостей ковбас за вмістом вітамінів найкращі характеристики виявились у ковбаси овочевої із решти досліджуваних китайських ковбас: у 4,342 разів були перевищені середні нормативні показники та у 1,388 рази у середньому розрахунку були перевищені граничні нормативні характеристики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zhou Feibai, Sun Weizheng, Zhao Mouming. Formation mechanism of volatile flavor compounds in Cantonese sausage and the effects of storage and cooking [J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(3): 17-22. <http://dx.doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2012.03.023>.
2. Haiyan W. Development and nutritional evaluation of new vegetable and meat compound sausage products [J]. Journal of Rational Clinical Medication. 2011, 4 (16): 108-109. <http://dx.doi.org/10.15887/j.cnki.13-1389/r.2011.16.001>.
3. Palamarchuk, Igor P., Adamchuk, Leonora, Palamarchuk, Vladyslav I., ... T., Hutsol, Taras, O., Bezalychna, Olena. Assessment of the Ecological Safety of Honey with the Help of "Factor Area" Models. Sustainability (Switzerland), 2024. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208018791>

4. Palamarchuk, I., Mushtruk, M., Piddubny, V., Tkachenko H.,...Modeling of the qualitative state of oilseeds from soybean seeds by multifactorial analysis of factor areas. Scifood, vol.19, 2025. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208018791>

Паламарчук Ігор Павлович — професор Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ, e-mail: vibroprocessing@gmail.com.

Yuanxia Fu — аспірантка Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ, e-mail: fuyuanxia81@gmail.com.

Assessment of the quality of Chinese sausages by mathematical modeling using the factorial area method

Abstract

The object of research in this scientific work was the characteristics of vegetable Chinese sausage, namely, the content of sodium salt, fat, cholesterol, nitrites, sulfur and chlorine. The mathematical modeling was based on the hypothesis that the selected estimated product parameters, presented in dimensionless units, create the corresponding factor spaces, which can be calculated by the areas of geometric figures. The obtained mathematical algorithms and their geometric visualization allowed to effectively assess the quality of the corresponding product sample.

Key words: quality models; vegetable sausage samples; quality and regulatory parameters; content of harmful substances and vitamins.

Igor Palamarchuk P. — Professor of National University Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, e-mail: vibroprocessing@gmail.com

Yuanxia Fu — postgraduate of National University Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, e-mail: fuyuanxia81@gmail.com

ПОКРАЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТОКАРНО-КАРУСЕЛЬНОГО ВЕРСТАТА

Вінницький національний технічний університет

Анотація.

В доповіді наведено шляхи розв'язку проблеми обробки крупногабаритних деталей на токарно-револьверному верстаті для випарної установки, що виготовляється на ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод». Для покращення функціональних можливостей верстата виконана заміна стола зі значно збільшеним діаметром та удосконалення приводу його механізму повороту.

Ключові слова: токарно-карусельний верстат, стіл, привід, механізм повороту, дошка трубна.

Для випуску згущеного незбираного і знежиреного молока на Тернопільському молокозаводі компанії «Молокія», що реалізує свою продукцію не лише в Україні, але і в Німеччину, Голландію, Латвію, США, Грузію, Марокко, використовуються вакуум-випарні установки, які виготовляються на ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод», відомим на теренах України виробником продукції для харчової та переробної промисловості.

Однією з важливих складових конструкції колони вакуум-випарної установки є дошка трубна, за допомогою якої здійснюється орієнтація пучка великої кількості труб-теплообмінників в середині колони. Труби-теплообмінники встановлюються у отвори, які виконані в дошці трубній, що має діаметральний розмір $d = 1598$ мм. Виготовити таку деталь можна на токарно-карусельному верстаті 1516, який є універсальним верстатом та призначений для обробки різноманітних виробів з чорних та кольорових металів в умовах дрібносерійного та серійного виробництва. Проте розмір стола у цьому токарно-карусельному верстаті не дозволяє виконати базування та закріплення цієї деталі для обробки на верстаті. Такого типу верстати не виготовляються на верстатобудівних підприємствах України. Закуповувати новий верстат закордоном з необхідними розмірами стола є економічно недоречним, адже вартість такого сучасного верстата, наприклад, фірми TOS SKIQ 16 – ID 15535, що оснащений системою керування виробництва фірми SIMENS, становить 10 млн 570 тис грн. Виконані економічні розрахунки довели доцільність проведення покращення функціональних можливостей існуючого токарно-карусельного верстата 1516 шляхом улаштування в приводі механізму повороту стола електродвигуна з тиристорною системою регулювання частоти обертання вихідного вала та заміною самого стола зі збільшеним діаметральним розміром.

В результаті удосконалення базової моделі токарно-карусельного верстата 1516 замінено стіл з діаметральним розміром 2500 мм, основні поверхні якого виготовленні з листової сталі товщиною 30 мм і містить 18 ребр жорсткості. Улаштовано тиристорний привід в механізмі повороту, що дозволило спростити кінематичну схему і замінити ступінчасте регулювання з 18 частотами обертання на безступінчасте, розширити діапазон частоти обертання до 0...300 об/хв, зменшити число елементів приводу з 36 до 10. В конструкції стола збережено приєднувальний розмір спряжених поверхонь планшайби та корпусу, який становить $\varnothing 1200$ Н9, що забезпечить улаштування його на існуючі базові поверхні токарно-карусельного верстата 1516.

Використання зміненої конструкції стола механізму повороту та удосконалення кінематичної схеми шляхом введення електроприводів виконавчих ланок з тиристорним перетворювачем дозволяє покращити функціональні можливості токарно-карусельного верстата 1516, підвищити його техніко-економічні показники шляхом зміни габаритних розмірів стола, безступеневого регулювання його частоти обертання та зекономити на необхідності придбання нового вартісного верстата закордонного виробництва. Також це дозволить зменшити суму витрат на виготовлення комплектуючих деталей вакуум-випарної установки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Поліщук Л.К., Адлер О.О. Проблеми інноваційного розвитку машинобудування / XVI Міжнародна науково-технічна конференція «Вібрації в техніці та технологіях», збірник тез доповідей. 26-27 жовтня. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – С. 39.

2. Кузнецов Ю.М. Сучасний стан, перспективи розвитку і виробництва металорізальних верстатів в Україні. Вісті академії інженерних наук України, 2011, 1: 41

Поліщук Леонід Клавдійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри галузевого машинобудування Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com

Сивак Роман Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: sivak_r_i@ukr.net

Колчин Максим Андрійович – магістр галузевого машинобудування, начальник механічного цеху ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод», Калинівка, Вінницької області, e-mail: kolcinmaksim@gmail.com

Чубур Сергій Олександрович – студент гр.1ГМ-226 факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: serhichubur15@gmail.com

IMPROVEMENT OF THE FUNCTIONAL CAPABILITIES OF A TURBINE-TURRET LATHE

Abstract.

The report presents ways to solve the problem of processing large-sized parts on a turret lathe for an evaporation plant manufactured at the Kalinovsky Machine-Building Plant. To improve the functional capabilities of the machine, the table was replaced with a significantly larger diameter and the drive of its turning mechanism was improved.

Keywords: turret lathe, table, drive, turning mechanism, pipe board.

Polishchuk Leonid Klavdiyovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial Mechanical Engineering of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com

Syvak Roman Ivanovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: sivak_r_i@ukr.net

Kolchyn Maksym Andriyovych – Master of Industrial Mechanical Engineering, Head of the Mechanical Shop of PrJSC “Kalynivka Machine-Building Plant”, Kalynivka, Vinnytsia region, e-mail: kolcinmaksim@gmail.com

Chubur Serhiy Oleksandrovyich – Student of Gr.1GM-22b, Faculty of Mechanical Engineering and Transport of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: serhichubur15@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЛАНЦЮГОВОЇ ЛІНІЇ, ЯК СИМУЛЯТОРА ЗРІВНОВАЖЕНИХ СТАТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

*Поліський національний університет, **Державний університет «Житомирська політехніка»

Анотація

Розглянуто основні передумови створення моделі-симулятора для дослідження механізмів трансформації плоских геометричних контурів інженерних споруд та технічних об'єктів, описуваних формою ланцюгової лінії та її конформними відображеннями. Наведено окремі результати експериментальних досліджень розробленої моделі симулятора спрямовані на оптимізацію геометричних параметрів деяких робочих процесів та технічних об'єктів.

Ключові слова: ланцюгова лінія, катенарія, конформні відображення, модель симулятор.

Узагальнення визначальних ознак широкого спектру різних інженерних споруд та технічних об'єктів свідчить, що плоскі статично зрівноважені контури значної кількості таких об'єктів геометрично можуть бути описані лінією, форма якої є формою гнучкої однорідної нерозтяжної нитки або ланцюга з закріпленими кінцями в однорідному полі гравітаційних сил. Як приклади, таких контурів інженерних споруд та технічних об'єктів, описуваних ланцюговою лінією (катенарією) або її конформними відображеннями, можна навести: гнучкі робочі органи ґрунтообробних знарядь (рис.1-а) та інших технічних засобів, робочий процес яких характеризується процесом різання «гнучкою струною»; будівельні споруди з архітектурними формами у вигляді арок склепінь (рис.1-б); конструкції підвісних мостів (рис.1-в); утворення статичних арок склепінь в масиві сипкого матеріалу, який рухається в порожнині хопера в полі гравітаційних сил (рис.1-г) [1].



Рис.1. Приклади зрівноважених контурів, описуваних ланцюговою лінією, або її конформним відображенням: а – гнучкий робочий орган ґрунтопоглиблювача до плуга ПЛН-5-35; б – “аркада Гауді”, як конформне відображення катенарії; в – конструкція підвісного мосту; г – статичне арокне склепіння, утворене в рухомому масиві сипкого матеріалу в полі гравітаційних сил

Рівняння ланцюгової лінії в прямокутних координатах може бути представленим як:

$$y = a \cosh \frac{x}{a} = \frac{a}{2} \left(e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}} \right), \quad (1)$$

де саме параметр a в рівнянні (1) визначає не лише ознаки кривизни (рис.2) ланцюгової лінії, але і ті ознаки, які пов'язані з координатами точок підвісу віртуальної нитки або ланцюга та координатами екстремума в точці перегину кривої. Зважаючи на вищезазначене аналітичні дослідження механізмів трансформації зрівноважених статичних об'єктів технічних систем та інженерних споруд є досить складними, а в окремих випадках і взагалі неможливими [2].

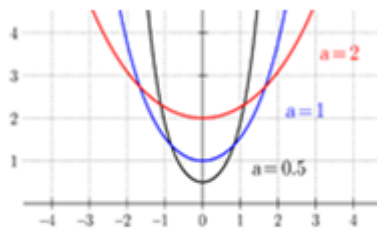


Рис.2. Контури ланцюгової лінії визначені параметром a

Саме з метою реалізації таких досліджень була запропонована методика симуляційних досліджень трансформації форми ланцюгової лінії та її конформних відображень з використанням спеціально розробленої та перевіреної на адекватність моделі-симулятора. На рис.3 представлено варіант комп'ютерної візуалізації симуляційних досліджень моделі стохастично утвореного статичного арочного склепіння в масиві сипкого матеріалу, який рухається в полі гравітаційних сил.

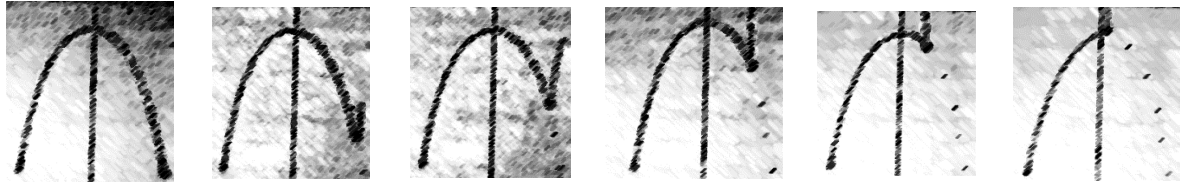


Рис.3. Комп'ютерна візуалізація симуляції твірної стохастично утвореного статичного арочного склепіння в рухомому масиві сипкого матеріалу

Висновок. Запропонована модель-симулятор для дослідження зрівноважених статичних об'єктів може бути використана при оптимізації геометричних ознак широко спектру інженерних споруд, технічних об'єктів та з метою стабілізації робочих і технологічних процесів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Б.А.Шелудченко, Р.І.Сивак, О.Б.Плужніков Динаміка формозміни в умовах складного напружено-деформованого стану. - LAP LAMBERT Academic Publishing, ISBN 978-3-659-64465-8 - 2024. – 138 с.
2. Ляшко І.І., Смельянов В.Ф., Боярчук О.К. Математичний аналіз. Частина 2. – К. : Вища школа, 1993. – 375 с. – ISBN 5-11-003758-2.

Шелудченко Богдан Анатолійович к.т.н., професор, професор кафедри механічної інженерії та технології машинобудування, Поліський національний університет, м. Житомир, sheludchenkobogdan@ukr.net

Плужніков Олег Борисович ст.викладач кафедри механічної інженерії та технології машинобудування, Поліський національний університет, м. Житомир, torrent_17@ukr.net

Яновський Валерій Анатолійович доцент, доцент кафедри механічної інженерії, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, tmkts_yava@ztu.edu.ua

RESEARCH OF CHAIN LINE TRANSFORMATION MECHANISMS AS A SIMULATOR OF BALANCED STATIC OBJECTS

Abstract

The main prerequisites for creating a simulator model for studying the mechanisms of transformation of flat geometric contours of engineering structures and technical objects described by the shape of a chain line and its conformal mappings are considered. Some results of experimental studies of the developed simulator model are presented, aimed at optimizing the geometric parameters of some work processes and technical objects.

Keywords: catenary, catenary, conformal mappings, simulator model.

Sheludchenko Bohdan Anatoliyovych, Ph.D., Professor, Professor of the Department of Mechanical Engineering and Machine Building Technology, Polissya National University, Zhytomyr, sheludchenkobogdan@ukr.net

Pluzhnikov Oleg Borisovich, Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering and Machine Building Technology, Polissya National University, Zhytomyr, torrent_17@ukr.net

Yanovsky Valeriy Anatoliyovych Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, tmkts_yava@ztu.edu.ua

ТЕХНІЧНИЙ ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ: ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В доповіді розглянуто особливості процесу технічного захисту інформації. З'ясовано, що цей процес має: відповідати державній політиці у сфері ТЗІ (з пріоритетом національних інтересів); бути скоординованим та розмежованим згідно компетенцій суб'єктів системи технічного захисту інформації; стати основою для розвитку сучасних інформаційних технологій, державних інформаційних ресурсів, технологічного переозброєння промисловості України. Результати дослідження можуть бути використанні для подальшого теоретичного та практичного процесу технічного захисту інформації, насамперед, застосовуючи трансдисциплінарний та міждисциплінарний підходи.

Ключові слова: технічний захист інформації, класифікація джерел загроз інформації, вразливості інформаційної безпеки.

Abstract

The report examines the features of the process of technical protection of information. It is established that this process should: correspond to the state policy in the field of technical protection of information (TPI, with the priority of national interests); be coordinated and delimited in accordance with the competencies of the subjects of the system of technical protection of information; become the basis for the development of modern information technologies, state information resources, technological re-equipment of the industry of Ukraine. The results of the study can be used for further theoretical and practical process of technical protection of information, primarily using transdisciplinary and interdisciplinary approaches.

Keywords: technical protection of information, classification of sources of information threat, vulnerabilities of information security.

Вступ

В 1997 році в Україні була схвалена Концепція технічного захисту інформації. В цій Концепції передбачалося, що «технічний захист інформації – це діяльність, спрямована на забезпечення інженерно-технічними заходами порядку доступу, цілісності та доступності (унеможливлення блокування) інформації з обмеженим доступом, а також цілісності та доступності відкритої інформації, важливої для особи, суспільства і держави» [1]. Надалі, в Україні було прийнято ряд нормативно-правових актів та проведено організаційно-технічні заходи, які були спрямовані щодо покращення технічного захисту інформації.

Результати дослідження

Згідно Указу Президента від 27 вересня 1999 року N 1229/99 було затверджено Положення про технічний захист інформації в Україні. В цьому Положенні, найперше, було надано офіційне визначення засадничим для технічного захисту інформації (ТЗІ) термінам, а саме: «конфіденційність – це властивість інформації бути захищеною від несанкціонованого ознайомлення; цілісність – це властивість інформації бути захищеною від несанкціонованого спотворення, руйнування або знищення; доступність – це властивість інформації бути захищеною від несанкціонованого блокування» [2].

Особливістю забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності інформації є використання відповідних методів, насамперед, комплексних методів з обов'язковим використанням трансдисциплінарного та міждисциплінарного підходів у протистоянні загрозам безпеці інформації. Ці три принципи (тріада) є основою міжнародних стандартів (ISO, NIST) та використовуються при побудові ефективних систем технічного захисту інформації від відомих загроз. Відомі загрози інформації можна означити за джерелами загроз інформації.

Таблиця 1 – Класифікація джерел загроз інформації [3]

<i>Антропогенні джерела</i>	<i>Техногенні джерела</i>	<i>Стихійні джерела</i>
<i>Зовнішні антропогенні джерела:</i> - кримінальні структури; - потенційні злочинці та хакери; - недобросовісні партнери; - представники організацій, що взаємодіють з питань технічного забезпечення (енерго-, водо-, тепло- постачання тощо); - представники наглядових організацій та аварійних служб; - представники силових структур; - співробітники спецслужб (державних, закордонних спецслужб) та/або особи які діють за їх завданням	<i>Зовнішні техногенні джерела:</i> - засоби зв'язку; - мережа інженерних комунікацій (електро-, водо-, газо – постачання, каналізація тощо); - транспорт тощо	<i>Зовнішні стихійні джерела:</i> - пожежі; - землетруси; - повені; - урагани; - магнітні бурі; - радіоактивне випромінювання; - різноманітні непередбачені обставини та форс-мажорні обставини
<i>Внутрішні антропогенні джерела:</i> - основний персонал (користувачі, розробники, програмісти); - представники служби захисту інформації (адміністратори); - технічний персонал, який обслуговує будівлі та приміщення (електрики, сантехніки, прибиральники тощо), в яких розташовані компоненти ІКС	<i>Внутрішні техногенні джерела:</i> - неякісні технічні засоби оброблення інформації; - неякісні програмні засоби оброблення інформації; - допоміжні засоби (охоронна-, пожежна- сигналізація, телефон тощо); - інші технічні засоби, що застосовуються в організації	

Водночас, вищевказані джерела загроз інформації (наприклад, на об'єкті критичної інфраструктури) можуть стати такими лише через певні вразливості, що призводять до порушення безпеки інформації. Тобто, вразливості обумовлюються існуючими недоліками на об'єкті, а джерела загроз їх використовують як основу для порушення безпеки інформації.

Таблиця 2 – Вразливості інформаційної безпеки [3]

<i>Групи</i>	<i>Особливі примітки</i>
Об'єктивні вразливості	- випромінювання технічних засобів (електромагнітні, електричні, звукові); - закладки (апаратні, програмні); - такі, що визначаються особливостями елементів (елементи здатні до електроакустичного перетворення; елементи, що піддаються впливу електромагнітного поля); - такі, що визначаються особливостями об'єкта захисту (місцезнаходження об'єкта, організацією каналів обміну інформацією)
Суб'єктивні вразливості	- помилки/халатність (при підготовці та використанні програмного забезпечення; при експлуатації технічних засобів; некомпетентні та/або ненавмисні дії); - порушення (режиму захисту та оборони; режиму експлуатації технічних засобів та програмного забезпечення; використання інформації); - психогенні (психологічні, психічні, фізіологічні)
Випадкові вразливості	- збої та відмови (відмови у та несправності технічних засобів; старіння та розмагнічування носіїв інформації; збої програмного забезпечення; збої електроживлення)

Висновки

Специфіка процесу технічного захисту інформації, найперше, обумовлена відомими та потенційними вразливостями інформаційної безпеки. Цей процес також має: відповідати державній політиці у сфері ТЗІ (з пріоритетом національних інтересів); бути скоординованим та розмежованим згідно компетенцій суб'єктів системи технічного захисту інформації; стати основою для розвитку сучасних інформаційних технологій, державних інформаційних ресурсів, технологічного переозброєння промисловості України. Результати дослідження можуть бути використанні для подальшого теоретичного та практичного процесу технічного захисту інформації, насамперед, застосовуючи трансдисциплінарний та міждисциплінарний підходи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про затвердження Концепції технічного захисту інформації в Україні. *Постанова Кабінету Міністрів України від 08.10.1997 № 1126*. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/go/1126-97-%D0%BF> (дата звернення: 14.05.2025)

2. Про Положення про технічний захист інформації в Україні. *Указ Президента України від 27.09.1999 № 1229/99*. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/go/1229/99> (дата звернення: 14.05.2025)

3. Технічний захист інформації: теоретичні основи та організаційно-технічне забезпечення. Навч. посіб. / В.М.Богущ, В.Д.Бровко, О.С.Кобус, В.Д.Козюра. Київ : Видавництво Ліра-К, 2023. 484 с.

Майданевич Леонід Олександрович – канд. філос. наук, старший викладач кафедри захисту інформації факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Вінницького національного технічного університету, адвокат (Рада адвокатів Вінницької області), м. Вінниця, email: Imaidanevych@gmail.com

Шелепало Галина Василівна – канд. фіз-мат. наук, доцент кафедри захисту інформації факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Вінницького національного технічного університету, адвокат (Рада адвокатів Вінницької області), м. Вінниця, email: kraynichuk@ukr.net

Maidanevych Leonid – Candidate of Philosophical Sciences, Senior Lecturer, Department of Information Security, Faculty of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Lawyer, Vinnytsia Bar Council, Vinnytsia, e-mail: Imaidanevych@gmail.com

Shelepalo Halyna – PhD (Eng), Associated Professor, Department of Information Security, Faculty of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: kraynichuk@ukr.net.

ВПЛИВ ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ ГІДРОАПАРАТУРИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ГІДРОПРИВОДА БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація

Аддитивне виготовлення деталей є прогресивним процесом, що забезпечує більшу свободу дизайну порівняно з традиційними методами. АВ відкриває нові можливості для оптимізації конструкції компонентів гідроприводу, дозволяючи створювати компактніші та легші деталі.

Ключові слова: адитивне виробництво, автоматизація проектування, просторова геометрія, компоненти потоку, гідравлічні компоненти.

Аддитивне виробництво (АВ) стає перспективною альтернативою традиційним методам виготовлення гідравлічних деталей, пропонуючи можливість задоволення високих вимог до їх виробництва. Гідравлічні системи, що використовуються в будівельній та дорожній техніці, є складними у виробництві через необхідність точних виробничих процесів. Традиційні методи виготовлення, такі як фрезерування, свердління та лиття, мають обмеження у створенні складних геометрій, що призводить до громіздкості деталей та збільшення їхньої ваги. На противагу цьому, АВ дозволяє створювати складні внутрішні структури, вільні форми каналів та зменшувати кількість з'єднань між компонентами, що позитивно впливає на надійність системи [1].

Процес АВ, зокрема селективне лазерне спікання порошку (LPBF), передбачає пошарове формування деталі шляхом розплавлення металевого порошку лазерним променем. Це дозволяє виготовляти деталі зі складною геометрією, оптимізувати потік рідини та зменшувати вагу компонентів. Матеріали, що використовуються в АВ, включають алюмінієві сплави, неіржавіючі та інструментальні сталі, сплави на основі нікелю та титану.

Попри переваги АВ, існують певні недоліки, такі як анізотропія властивостей матеріалу, шорсткість поверхні та необхідність використання опорних структур для підтримки нависаючих елементів. Опорні структури, хоч і необхідні для забезпечення стабільності процесу, потребують подальшої обробки для їх видалення, що збільшує час та вартість виробництва [2].

Для ефективного впровадження АВ у виробництво гідравлічних компонентів необхідний комплексний підхід, що включає етапи від генерації концепції до валідації готової деталі. Важливим аспектом є автоматизація проектування, яка дозволяє спростити створення 3D-геометрії деталей складної форми та врахувати обмеження, пов'язані з АВ. Автоматизовані процедури САПР можуть генерувати канали потоку з урахуванням обмежень виступів, а також інтегровані опори для критичних елементів [3].

Оптимізація потоку рідини в гідравлічних системах є ключовим фактором для підвищення їхньої ефективності. АВ дозволяє зменшити напруження в матеріалі, збільшити об'ємний потік та зменшити втрати енергії. Зменшення кількості поворотів у каналах для рідини є одним із способів мінімізації втрат тиску та підвищення ефективності потоку. Дослідження показують, що виготовлені за допомогою АВ корпуси гідророзподільників мають менші втрати тиску порівняно з прототипами, виготовленими традиційними методами [4].

Висновки статті підкреслюють, що АВ є перспективним методом виготовлення деталей гідроприводу, який забезпечує більшу свободу дизайну, оптимізацію конструкції та зменшення ваги компонентів. Однак, для повної реалізації потенціалу АВ необхідні подальші дослідження та розробки в напрямку автоматизації проектування, оптимізації процесів та покращення якості виготовлених деталей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Hofmann, U., Fankhauser, M., Willen, S., Inniger, D., Klahn, C., Löffel, K., & Meboldt, M. Design of an additively manufactured hydraulic directional spool valve: an industrial case study. *Virtual and Physical Prototyping*, 18(1). 2022. <https://doi.org/10.1080/17452759.2022.2129699>
2. Matthiesen G., Merget D., Rückert M., Schmitz K., SCHLEIFENBAUM J.H. Additive manufacturing processes in fluid power—properties and opportunities demonstrated at a flow-optimized fitting. *Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics—HERVEX, Băile Govora, Romania, 2018*. Pp. 12-23. <https://www.fluidas.ro/hervex/proceedings2018/12-23.pdf>
3. Biedermann M, Beutler P, Meboldt M. Routing multiple flow channels for additive manufactured parts using iterative cable simulation. *Additive Manufacturing*. Volume 56. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.102891>.
4. Zhu, Y.; Wang, S.; Zhang, C.; Yang, H. Am-driven design of hydraulic manifolds: enhancing fluid flow and reducing weight. *Technische Universität Dresden: Dresden, Germany, 2020*. <http://doi.org/10.25368/2020.23>

Пімонов Ігор Георгійович – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, igor_lena@ukr.net

Яришко Олександр Володимирович – канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, yaryzko@gmail.com

Мощенок Василь Іванович – канд. техн. наук, професор кафедри експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, moshenok@gmail.com

Influence of additive technology application in the fabrication of hydraulic apparatus components on the performance effectiveness of hydraulic systems in construction machines

Abstract

Additive manufacturing of parts represents an advanced process that offers enhanced design freedom compared to conventional methods. AM unlocks novel opportunities for optimizing the construction of hydraulic drive components, enabling the creation of more compact and lighter elements.

Keywords: additive manufacturing, design automation, spatial geometry, flow components, hydraulic components.

Pimonov Ihor – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Operation, testing, service of construction and road vehicles Department, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkiv, igor_lena@ukr.net

Yaryzhko Oleksandr – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Operation, testing, service of construction and road vehicles Department, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkiv, yaryzko@gmail.com

Moschenok Vasyi – Professor, Operation, testing, service of construction and road vehicles Department, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkiv, moshenok@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ПЛАНУВАННІ ТА ПРОВЕДЕННІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ МАШИНОБУДУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті досліджено роль інтелектуальних інформаційних систем (ІС) в удосконаленні експериментальних досліджень у машинобудуванні. Розглянуто застосування ІС для моделювання, аналізу даних, створення цифрових двійників і підтримки прийняття рішень. Висвітлено перспективи автономних лабораторій і виклики впровадження ІС. Зазначено, що ІС сприяють підвищенню точності, ефективності та інноваційності інженерної діяльності.

Ключові слова: інтелектуальні системи, машинобудування, експеримент, моделювання, цифровий двійник, великі дані.

Експериментальні дослідження є наріжним каменем науково-технічного прогресу в машинобудуванні, забезпечуючи перевірку теоретичних розробок, оптимізацію конструкцій та технологічних процесів, а також відкриття нових матеріалів та явищ. Зростаюча складність об'єктів дослідження, вимоги до точності та ефективності експериментів, а також величезні обсяги генерованих даних зумовлюють необхідність застосування передових інформаційних технологій. Відтак ІС відіграють дедалі важливішу роль, трансформуючи традиційні підходи до планування, проведення та аналізу експериментів.

Моделювання та симуляція є невід'ємними інструментами сучасного машинобудування, що дозволяють досліджувати поведінку складних систем, конструкцій та процесів без необхідності проведення дорогих, тривалих, а іноді й небезпечних натурних експериментів [1]. ІС можуть використовуватися для створення та управління складними обчислювальними моделями та симуляціями [2]. Для розробки та перевірки теоретичних моделей широко застосовуються спеціалізовані програмні пакети, такі як Arena, AnyLogic, а також системи комп'ютерної математики MATLAB та Mathematica [3].

Застосування ІС дозволяє створювати високоточні цифрові моделі, часто звані цифровими двійниками (Digital Twins), реальних об'єктів, вузлів машин або цілих технологічних процесів у машинобудуванні. Ці віртуальні аналоги можуть бути використані для проведення широкого спектру віртуальних експериментів. Інженери та дослідники можуть варіювати параметри, досліджувати вплив різних зовнішніх умов, тестувати різні конструктивні рішення та оптимізувати технологічні процеси ще до створення фізичних прототипів або запуску реального виробництва.

На етапі планування експерименту ІС можуть надавати цінну підтримку шляхом прогнозування ймовірних результатів та оцінки потенційних ризиків [4,5]. Системи підтримки прийняття рішень можуть ефективно використовуватися для управління ризиками в складних машинобудівних системах та експериментах [6].

Після ретельного планування експерименту настає етап його проведення та аналізу отриманих результатів. Саме тут ІС розкривають значну частину свого потенціалу, забезпечуючи автоматизацію,

точність та глибину обробки експериментальних даних. Тут з'являється поняття «великі дані» (Big Data), що позначає надзвичайно великі обсяги даних, які неможливо ефективно обробити за допомогою традиційних методів та інструментів [7]. Вони генеруються в результаті складних комп'ютерних симуляцій, роботизованих експериментальних установок з численними датчиками, систем моніторингу стану обладнання в реальному часі, а також у процесі випробувань нових матеріалів та конструкцій. ІС, що інтегрують інструменти для роботи з Big Data, такі як Apache Hadoop, Spark, масштабовані хмарні сховища та спеціалізовані бази даних (NoSQL), дозволяють ефективно зберігати, структурувати, обробляти та аналізувати ці дані [8].

Важливою також є галузь штучного інтелекту, що займається взаємодією між комп'ютерами та людською мовою (обробка природної мови (Natural Language Processing, NLP)). NLP надає можливість автоматичного аналізу технічної документації, звітів, патентів та наукових статей, дозволяючи виявляти ключові зв'язки, тенденції та знання [9].

Відтак у майбутньому очікується зростання ролі ІС в автономному проведенні експериментів, більш глибока інтеграція хмарних технологій та цифрових двійників, а також поширення систем на основі машинного навчання, які здатні самостійно аналізувати дані, оновлювати моделі та планувати наступні кроки у дослідженні. Це відкриває нові горизонти для наукового пошуку в машинобудуванні та підвищує загальну ефективність інженерної діяльності.

Однак впровадження ІС супроводжується й певними викликами: питання безпеки, якості навчальних даних, інтерпретованість моделей, відсутність уніфікованих стандартів та потреба у підготовці висококваліфікованих кадрів. Вирішення цих проблем є запорукою успішної інтеграції ІС у майбутні інженерні системи.

Одним з найважливіших аспектів впровадження ІС у машинобудуванні є створення замкнутого циклу дослідження: від фізичного експерименту до віртуального аналізу, і назад. Це дозволяє не лише адаптувати дослідження в реальному часі, а й постійно вдосконалювати саму методику дослідження, використовуючи нові дані для навчання системи [4].

Також нові можливості відкриває інтеграція ІС з Інтернетом речей (IoT). Завдяки підключенню сенсорів та пристроїв у режимі реального часу, ІС можуть отримувати актуальні дані з фізичних об'єктів, аналізувати їх та оперативно реагувати на зміни. Це особливо важливо для моніторингу стану обладнання, передбачення поломок і оптимізації експлуатаційних режимів [10].

Крім того, в умовах сучасного виробництва важливим є скорочення часу виходу продукту на ринок. Завдяки ІС можливо не лише швидше проходити етапи моделювання та тестування, а й здійснювати паралельне вдосконалення конструкцій та технологій без шкоди для якості.

Ще однією перевагою використання ІС є їх здатність підтримувати міждисциплінарний підхід у дослідженнях, об'єднуючи знання з механіки, матеріалознавства, електроніки та програмної інженерії. Така інтеграція створює умови для створення більш комплексних моделей і рішень, які враховують численні аспекти функціонування системи.

Тож інтелектуальні інформаційні системи не лише трансформують окремі етапи наукового дослідження, а й формують нову філософію інженерної діяльності – орієнтовану на дані, гнучкість, передбачуваність і адаптивність [10].

Сучасна тенденція до цифровізації та автоматизації виробничих процесів стимулює підприємства до впровадження ІС не лише в науково-дослідницькій, а й у повсякденній практиці. Наприклад, використання цифрових двійників у процесі експлуатації обладнання дозволяє безперервно контролювати його стан, проводити технічне обслуговування саме тоді, коли це потрібно, а не за заздалегідь встановленим графіком.

Водночас, застосування ІС має значення і для екологічної складової виробництва. За допомогою інтелектуального аналізу даних можна виявляти джерела перевитрат енергії, викидів або інших негативних впливів на довкілля та оперативно приймати рішення для їх мінімізації[10].

У перспективі можлива поява повністю автономних лабораторій, керованих ІС. Такі системи зможуть самостійно формулювати гіпотези, планувати експерименти, аналізувати результати і формувати висновки. Це може радикально змінити роль людини в науковому процесі, змістивши фокус з виконання рутинних операцій на стратегічне управління знанням і прийняття рішень.

Так ІС є не просто допоміжним інструментом інженера чи дослідника, а повноцінним партнером у створенні нових знань, технологій і продуктів. Вони забезпечують підвищення точності, ефективності та безпеки експериментів, сприяють інтеграції знань і дозволяють вивести машинобудування на новий рівень розвитку.

Іншою важливою перевагою ІС є можливість адаптивного навчання. Системи з елементами машинного навчання здатні покращувати свої прогнози та рекомендації на основі аналізу нових даних. Це означає, що чим більше експериментів проводиться з використанням ІС, тим точніше стають наступні моделі, що створює ефект накопичення знань.

Крім того, інтеграція ІС з мобільними та веб-платформами відкриває нові можливості для дистанційного керування експериментами. Інженери та дослідники можуть отримувати доступ до системи, переглядати дані, вносити зміни до експериментального плану або запускати симуляції з будь-якої точки світу[11].

Це особливо актуально в умовах глобалізації та розвитку віддаленої науково-технічної співпраці. Проекти, що об'єднують фахівців з різних країн, можуть ефективно координувати дослідження завдяки єдиній платформі ІС з централізованим доступом до моделей, результатів і аналітики.

У підсумку, впровадження інтелектуальних інформаційних систем у машинобудівному експериментуванні є не лише сучасною технологічною вимогою, а й стратегічною інвестицією у підвищення конкурентоспроможності галузі. ІС формують основу для інноваційного прориву, сприяючи глибшому розумінню складних процесів, більш обґрунтованому прийняттю рішень та створенню продукції нового покоління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mechanical Engineering: Modeling & Simulation | UW-Madison PDC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pdc.wisc.edu/degrees/mechanical-engineering-modeling-and-simulation-ms/> .
2. Артюх О. М., Дударенко О. В., Кузьмін В. В., Сосик А. Ю., Щербина А. В. Основи САПР в автомобілебудуванні [Електронний ресурс] / Запорізька політехніка. – Режим доступу: <https://eir.zp.edu.ua/bitstreams/eab12e4c-82f8-42f1-b0ce-3f542a590188/download> .
3. Наукометричні бази даних [Електронний ресурс] // DSpace УжНУ. – Режим доступу: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/26586/1/НАУКОМЕТРИЧНІ%20БАЗИ%20ДАНИХ.pdf> .
4. Караєва Н. В., Войтко С. В., Сорокіна Л. В. Інформаційні технології в управлінні проектами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/323531417.pdf> .
5. Risk Assessment Guide [Електронний ресурс] / Axelent UK. – Режим доступу: https://www.axelent.co.uk/media/305dwmoh/en_risk-assessment-guide-1_6.pdf .
6. Decision support system for mechanical engineering [Електронний ресурс] // ResearchGate. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/263848448_Decision_support_system_for_mechanical_engineering .
7. The importance of big data in mechanical engineering [Електронний ресурс] // Item Blog. – Режим доступу: <https://blog.item24.com/en/digital-engineering-en/the-importance-of-big-data-in-mechanical-engineering/> .

8. Мудла Б. Г. Проблеми цифровізації в технічній освіті [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/46807/03-MudlaNEW.pdf?sequence=1>.

9. Обробка природної мови (NLP): як це працює, переваги та приклади з реального світу [Електронний ресурс] // Shaip. – Режим доступу: <https://uk.shaip.com/blog/what-is-nlp-how-it-works-benefits-challenges-examples/>.

10. Хмарні технології [Електронний ресурс] : методичний посібник / уклад. О. В. Сидоренко ; Житомирський державний університет імені Івана Франка. – Житомир : ЖДУ ім. І. Франка, 2020. – 45 с. – Режим доступу: http://eprints.zu.edu.ua/33187/1/Методичка_Хмарні%20технології.pdf.

11. Тренди ПоТ – Індустріальний інтернет речей [Електронний ресурс] // SmartEAM. – Режим доступу: <https://smart-eam.com/ua/news/trend-iiot/>, вільний. – Дата звернення: 14.05.2025.

Свящук Юрій Анатолійович – аспірант кафедри Галузевого машинобудування, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: y.sviashchuk@gmail.com

Поліщук Олександр Васильович – к. т. н., доц., доцент кафедри педагогіки безпеки та безпеки життєдіяльності, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: polischuk@vntu.edu.ua.

APPLICATION OF INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS IN PLANNING AND CONDUCTING SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF MECHANICAL ENGINEERING

Abstract

The article explores the role of intelligent information systems (IIS) in enhancing experimental research in mechanical engineering. It examines the use of IIS for modeling, data analysis, digital twin development, and decision support. The prospects of autonomous laboratories and the challenges of IIS implementation are highlighted. It is noted that IIS contribute to increased accuracy, efficiency, and innovation in engineering activities.

Keywords: intelligent systems, mechanical engineering, experiment, modeling, digital twin, big data.

Polishchuk Oleksandr V. – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Safety Pedagogy and Life Safety, Vinnytsia National Technical University, e-mail: polischuk@vntu.edu.ua

Sviashchuk Yurii A. – postgraduate student of the Department of Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: y.sviashchuk@gmail.com

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ДРАЖУВАННЯ НАСІННЯ

Київський національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

Проаналізовано методи обробки насіння сільськогосподарських культур та відповідне обладнання для забезпечення високої врожайності, якості продукції й стійкості до агрокліматичних умов. Існуючі підходи мають недоліки: утворення агломератів, механічне пошкодження насіння та низький коефіцієнт використання теплоти. Для їх усунення обґрунтовано нову технологію з використанням апарата з неоднорідним струменево-пульсаційним режимом псевдозрідження.

Ключові слова: грануляція, дражування, неоднорідне псевдозрідження, струменево-пульсаційний режим.

Вступ

Передпосівна хімічна обробка є ключовою для підвищення ефективності агровиробництва та продовольчої безпеки. Дражування — інноваційний метод, що покращує властивості насіння, захищає його від шкідників і хвороб, а також насичує поживними речовинами на початкових етапах росту.

Технологія псевдозрідження забезпечує ефективне зневоднення, масову кристалізацію та формування композитних шарів. Найбільш ефективним для дражування є пошаровий механізм утворення покриття із заданими фізико-механічними властивостями.

Результати дослідження

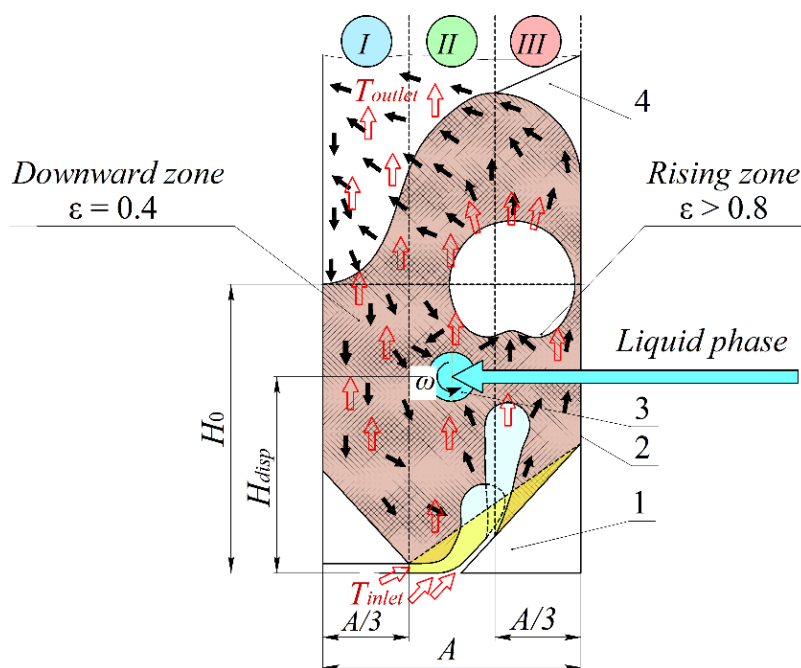
Найпоширенішими апаратами для передпосівної обробки насіння є змішувальні пристрої в різних модифікаціях, в яких рідка фаза розпилюється за допомогою диспергатора. В цих апаратах можливе механічне пошкодження насіння, порушення шару покриття та утворення агломератів. Сушіння здійснюють у барабанних або чашових грануляторах, часто в каскадних системах, що є багатостадійними з низьким коефіцієнтом тепловикористання. Компанія Petkus/Roeber [1] розробила мульти-дражиратор з обертовим днищем, однак складна конструкція не усуває ризиків травмування насіння та нерівномірного покриття через недостатню інтенсивність перемішування і низькі коефіцієнти тепло- й масоперенесення.

Особливість процесу дражування полягає у формуванні багатошарового кластера на поверхні зерна, що в 5 і більше разів перевищує початкову масу. Насіння повинно залишатися біологічно активним та здатним протидіяти несприятливим факторам. Технологія дражування передбачає багаторазове нанесення рідкої фази з поживними речовинами та стимуляторами росту з наступним випаровуванням розчинника. Формується композитна мікрошарова структура, що вимагає ефективною циркуляції насіння між зонами зрошення та сушіння без механічного травмування.

Процес необхідно здійснювати при температурі 40 °С шляхом підведення теплоти від нагрітого теплоносія. Через обмежене значення коефіцієнта тепловіддачі α підвищення ефективності досягається збільшенням площі теплопередачі F , тобто максимізацією αF . Для цього важливе постійне оновлення поверхні взаємодії фаз у зонах зрошення та сушіння. Такі умови реалізуються в апараті з псевдозрідженим шаром, де газ виконує функції зріджуючого агента, теплоносія та вологоносія. ККД тепловикористання перевищує 50 %, а при струменево-пульсаційному псевдозрідженні — в 1,5–2 рази вищі коефіцієнти перенесення теплоти і маси [2–4].

У такому апараті (рис. 1) насіння завантажується в камеру гранулятора 2 у формі паралелепіпеда з щільним газорозподільним пристроєм (ГРП) 1. Нагрітий теплоносій через ГРП вводиться асиметрично, створюючи струменево-пульсаційний режим. Рідка фаза розпилюється

механічним диспергатором 3, розташованим в зоні II, через яку відбувається двостороннє переміщення маси зернистого матеріалу. Дана технологія апробована для зневоднення гетерогенних систем із органічними та мінеральними компонентами, забезпечуючи утворення добрив сферичної форми з пошаровою структурою. Коефіцієнт грануляції $\Psi \geq 88\%$, а питомий вологовміст удвічі вищий, ніж при однорідному псевдозрідженні.



1 – газорозподільний пристрій, 2 – камера гранулятора, 3 – механічний диспергатор, 4 – направляючий розподільник

Рис. 1. Схема апарату для проведення процесу дражування та гранулювання при неоднорідному псевдозрідженні

Висновки

Така інноваційна технологія дозволяє формувати пошарове покриття за індивідуальною рецептурою, адаптованою до місцевих умов. Вона має високий тепловий ККД ($>50\%$), знижує вуглецевий слід і є достатньо універсальною, оскільки підходить також для процесів сушіння, протруювання, інкрустації та калібрування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технології дражування насіння Petkus/Roebeg [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.petkus.com/products/coating/batch-treater>.
2. Корнієнко Я. М. Процес одержання модифікованих гранульованих гуміново-мінеральних добрив: монографія / Я. М. Корнієнко, А. М. Любека, С. С. Гайдай – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 206 с.
3. Korniyenko B. Conditions of Non-uniform Fluidization in an Auto-oscillating Mode / B. Korniyenko, Y. Korniyenko, S. Haidai, A. Liubeka, S. Hulienko // Advances in Computer Science for Engineering and Manufacturing. Lecture Notes in Networks and Systems. – Springer, 2022. – Vol. 463. – P. 14–27.
4. Korniyenko Y. Kinetic laws of the process of obtaining complex humic-organic-mineral fertilizers in the fluidized bed granulator / Y. Korniyenko, S. Hayday, A. Liubeka, O. Martynyuk // Ukrainian Food Journal. – 2016. – Vol. 5. – Issue 1. – P. 144–154.

Корнієнко Ярослав Микитович — докт. техн. наук, професор кафедри Машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Київський національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», e-mail: yuk@kpi.ua

Гайдай Сергій Сергійович — канд. техн. наук, доцент кафедри Машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Київський національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», e-mail: SSGaidai@gmail.com

Семененко Дмитро Станіславович — аспірант кафедри Машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Київський національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», e-mail: dimasemhaha@gmail.com

INNOVATIVE APPROACHES TO SEED PELLETING

Abstract

The methods of crop seed treatment and the relevant equipment to ensure high yields, product quality and resistance to agroclimatic conditions are analyzed. Existing approaches have disadvantages: the formation of agglomerates, mechanical damage to seeds and low heat utilization. To eliminate them, a new technology using an apparatus with a heterogeneous jet-pulsation mode of fluidization is substantiated..

Keywords: granulation, pelleting, heterogeneous fluidization, jet-pulsation mode

Kornienko Yaroslav M. — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Machines and Apparatuses of Chemical and Oil Refining Industries of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», e-mail: ynk@kpi.ua

Haidai Serhii S. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machines and Apparatuses of Chemical and Oil Refining Industries of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», SSGaidai@gmail.com

Semenenko Dmytro S. — graduate student of the Department of Machines and Apparatuses of Chemical and Oil Refining Industries of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», e-mail: dimasemhaha@gmail.com

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ СПІВПРАЦІ З ТРАНСПОРТНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ У ПІДГОТОВЦІ ВИКЛАДАЧІВ ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ

Криворізький державний педагогічний університет

Анотація. Обґрунтовано доцільність використання цифрових технологій у процесі підготовки викладачів професійної освіти з урахуванням потреб транспортної галузі. Проаналізовано форми взаємодії педагогічних університетів із транспортними підприємствами, охарактеризовано цифрові інструменти, що використовуються у професійній підготовці майбутніх педагогів.

Ключові слова: цифрові технології, транспортна логістика, професійна освіта, підготовка викладачів, співпраця освіти і бізнесу, інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ), віртуальні симулятори, моделювання логістичних процесів, практикоорієнтоване навчання.

Сучасний ринок транспортних послуг характеризується високими темпами цифрової трансформації бізнес-процесів, автоматизацією логістичних операцій, а також широким впровадженням інтелектуальних систем управління вантажо- та пасажиропотоками. Ці тенденції зумовлюють необхідність трансформації підходів до професійної підготовки викладачів закладів професійної (професійно-технічної) освіти, зокрема в частині формування компетентностей, релевантних запитам сучасного ринку праці у сфері транспортної логістики.

У цьому контексті педагогічні заклади вищої освіти, що здійснюють підготовку майбутніх викладачів професійної освіти, активізують співпрацю з транспортними підприємствами, які виступають не лише базами для проходження виробничої практики, а й партнерами у спільному розробленні та вдосконаленні змісту освітніх програм. Потреби бізнес-середовища обумовлюють необхідність цілеспрямованої інтеграції сучасних цифрових технологій у навчальний процес, оскільки такі технології є невід'ємним компонентом логістичної інфраструктури та інструментом забезпечення відповідності освітньої підготовки потребам галузі [1].

Для підготовки викладачів професійної (професійно-технічної) освіти у сфері транспортної логістики доцільно виокремити програму FlexSim як ефективний інструмент цифрового моделювання логістичних процесів [2].

FlexSim – це потужне програмне середовище для тривимірного моделювання, візуалізації й аналізу складних логістичних систем і бізнес-процесів. Основне призначення цієї платформи – створення віртуальних симуляцій, які точно відображають структуру, динаміку і взаємозв'язки елементів у логістичних і виробничих системах.

Програма дає змогу моделювати роботу складів, транспортних вузлів, перевантажувальних терміналів, логістичних ланцюгів і сценарії взаємодії різних типів ресурсів. За допомогою вбудованих інструментів студенти можуть проектувати логістичні об'єкти з нуля; задавати параметри руху вантажів і транспорту; аналізувати часові затримки, вузькі місця в системі, продуктивність і навантаження; проводити експерименти за змінних умов – наприклад, зміни обсягів перевезень або маршрутів; оптимізувати логістичні процеси, базуючись на результатах симуляції.

FlexSim підтримує візуальне програмування, що робить його доступним для студентів без глибокої підготовки з ІТ, а також дозволяє створювати зрозумілі моделі для подальшого обговорення під час навчального процесу.

Для викладача професійної освіти володіння FlexSim не тільки розширює власні професійні компетентності у сфері цифрових технологій, а й забезпечує можливість підготовки кваліфікованих робітників і техніків, які вже на етапі навчання знайомляться з реаліями цифровізованої логістики.

Наведемо приклад застосування зазначеного програмного забезпечення в освітньому процесі. У рамках навчального кейсу «Моделювання логістичного центру в FlexSim» студенти моделюють роботу логістичного центру з приймання, сортування та відправлення вантажів. Модель включає ключові елементи логістичної інфраструктури: вхідні ворота, зони розвантаження, склади, сортувальні лінії, транспортні одиниці та персонал [2].

Під час симуляції налаштовуються параметри, такі як інтенсивність прибуття транспорту, обсяги вантажів, швидкість обробки, режими роботи персоналу. Отримані результати – середній час обробки вантажу, завантаженість ресурсів, ідентифікація «вузьких місць» – дають змогу здійснити аналіз ефективності логістичних процесів. Студенти вивчають сценарії оптимізації: зміну графіків, кількості працівників, конфігурації логістичних ланцюгів.

Такий підхід дозволяє реалізувати принцип практикоорієнтованого навчання, забезпечити візуалізацію складних процесів, розвивати навички прийняття рішень в умовах змінної логістичної кон'юнктури. Отриманий досвід має подвійну цінність: з одного боку – як зміст професійної підготовки, з іншого – як методика для подальшого викладання логістичних дисциплін у системі професійно-технічної освіти.

Таким чином, цифрові моделі на базі FlexSim стають не лише інструментом формування компетентностей, а й засобом реалізації запитів галузі на підготовку педагогів, здатних працювати з сучасними логістичними технологіями.

У контексті формування цифрових компетентностей майбутніх викладачів професійної освіти, зокрема у сфері транспортної логістики, а також для організації освітнього процесу з використанням змішаного або дистанційного формату, доцільним є застосування інтерактивної платформи MIRO як інструменту візуального мислення та дистанційної колаборації. Цей інструмент забезпечує можливість спільного проектування логістичних схем, обговорення маршрутів, аналізу ланцюгів постачання в режимі реального часу [3].

Завдяки використанню віртуальних дошок MIRO, студенти моделюють етапи логістичних операцій, розробляють інформаційно-логістичні діаграми, будують схемні карти взаємодії підприємств, транспортних засобів і складських потужностей. У ході групової роботи на платформі реалізуються принципи проектно-орієнтованого навчання, розвиваються навички презентації, критичного аналізу та прийняття рішень.

Крім того, MIRO сприяє налагодженню взаємодії з представниками бізнесу, які можуть брати участь у спільних сесіях: надавати зворотний зв'язок щодо навчальних проєктів, пропонувати реальні кейси для вирішення, оцінювати результати моделювання. Таким чином, платформа виступає не лише засобом цифрової взаємодії, а й інструментом партнерства між освітою і транспортними підприємствами, що відповідає сучасним вимогам до змісту педагогічної підготовки.

У підсумку, цифрові технології в сучасному освітньому просторі виступають не лише як інструмент оновлення змістово-методичного наповнення професійної підготовки, а й як каталізатор трансформації взаємодії між педагогічними закладами та представниками транспортного бізнесу. Їхнє цілеспрямоване впровадження забезпечує підвищення релевантності освітніх програм до реальних потреб роботодавців, сприяє формуванню у здобувачів освіти ключових цифрових компетентностей, адаптованих до умов високотехнологічного логістичного середовища, та створює підґрунтя для стійкої моделі партнерства освіти і бізнесу в контексті підготовки педагогічних кадрів нового покоління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Засоби та технології цифрового навчання: теоретичний та практичний аспекти : монографія / Ольга Гулай, Віталій Кабак, Галина Герасимчук. – Луцьк : Вежа-Друк, 2025. – 160 с.
2. Гуржій Н., Гавран В., Сапотницька Н. (2023). Цифрові технології та їхній вплив на управління логістичними процесами підприємств / Н. Гуржій, В. Гавран, Н. Сапотницька // Економіка та суспільство. – 2023. – Вип. 55. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-20>
3. Рожкова А. Цифрові технології як інструмент формування професійної самоорганізації у майбутніх викладачів / А. Ю. Рожкова // Підготовка майстра виробничого навчання, викладача професійного навчання до впровадження в освітній процес інноваційних технологій: матеріали VIII Всеукраїнського науково-методичного семінару (8 листопада 2024 р.). - Глухів: Глухівський НПУ ім. О. Довженка, 2024. С. 182-183.

Созонюк Ольга Сергіївна – доктор філософії з професійної освіти, старший викладач кафедри технологічної та професійної освіти, Криворізький державний педагогічний університет, м. Кривий Ріг, olhahrushnik25@gmail.com

DIGITAL TECHNOLOGIES AS A TOOL FOR COOPERATION WITH TRANSPORT ENTERPRISES IN THE TRAINING OF PROFESSIONAL EDUCATION TEACHERS

Abstract

The article substantiates the expediency of using digital technologies in the process of training vocational teachers, taking into account the needs of the transport industry. The forms of interaction between pedagogical universities and transport enterprises are analysed, digital tools used in the professional training of future teachers are described.

Keywords: digital technologies, transport logistics, vocational education, teacher training, cooperation between education and business, information and communication technologies (ICT), virtual simulators, modelling of logistics processes, practice-oriented learning.

Sozoniuk Olha S. - Doctor of Philosophy in Professional Education, Senior Lecturer at the Department of Technological and Professional Education, Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, olhahrushnik25@gmail.com

РОЗВИТОК ЛІДЕРСЬКОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРАКТИВНОГО КУРСУ «АКАДЕМІЯ ЛІДЕРСТВА «DREAM. ACTION. REALITY» (DAR)»»

Вінницький державний центр естетичного виховання учнів професійно-технічних навчальних закладів

Анотація

У статті висвітлено питання розвитку лідерського потенціалу у майбутніх фахівців, висвітлено базові принципи лідерства, розкрито мету, завдання, описано технології інтерактивного курсу «Академія лідерства».

Ключові слова: лідерство, здобувачі освіти, інтерактивний курс Академія лідерства, Академія лідерства «Dream. Action. Reality» (DAR).

Сучасні реалії формування майбутніх фахівців технічних спеціальностей переживають період суттєвих змін та інноваційних пошуків які спрямовані на створення конкурентоспроможного працівника з яскраво вираженими лідерськими якостями, тобто, створення лідера нової формації. Тому, одним із провідних завдань вищої освіти є створення сприятливих умов для особистісного розвитку студента, його самовдосконалення та самореалізації у майбутній професії. Питання лідерства, його проявів та провідного значення у професійній діяльності досліджуються такими зарубіжними та вітчизняними науковцями як Р. Бенніс, В. Білик, М. Вебер, З. Ковальчук, Т. Кочубей, К. Левін, О. Романовський, Р. Сопівник, В. Татенко та ін. Конкурентоспроможність майбутнього фахівця визначається рівнем розвитку *hard skills* («жорсткі» навички – те, що можна вивчити та протестувати, тобто, будь-яку навичку оцінити об'єктивно) та *soft skills* («м'які» навички – універсальні компетенції, якими не опікуються у вищій школі, а виміряти їх доволі складно). Лідерські якості особистості відносять до «м'яких» навичок, формування яких, у процесі здобування освіти у вищій школі, потребують окремого ретельного підходу з продуманими на високому рівні освітніми методами та технологіями.

У зарубіжних публікаціях, серед важливих навичок, акцентується увага на лідерство, яке спрямоване на здатність особистості ефективно розподіляти команду, надихати людей, мати гарні організаційні навички, вміти стимулювати проявляти здібності краще інших людей [1]

У підготовці майбутніх лідерів виокремлюють такі базові принципи: кожний керівник має бути лідером; формування лідерів має здійснюватися у просторі традицій, культури та стратегії компанії; процес формування лідерів має бути прогнозованим і базуватися на визначеній моделі компетенцій лідера (у складі професійних знань та умінь, а також ділових і особистих якостей); процес формування має бути керованим та інтенсивним у часі, різномірним щодо методів підготовки [2].

Серед технологій, що дозволяють реалізувати цілі формування лідерського потенціалу студентів та розвитку їхніх лідерських якостей використовують коучмент, тьюторство, тренінгові технології, майстер-класи, ігрові технології тощо.

Для результативного формування лідерського потенціалу, на нашу думку, усі технології мають бути структуровані, послідовні та складати єдину систему, що залежить від потреб

здобувачів освіти. Тому, нами було розроблено курс Академія лідерства «Dream. Action. Reality» (DAR) («Мрія. Дія. Реальність»). Місія Академії лідерства полягає у формуванні генерації нового покоління лідерів, які будуть здатні мріяти сміливо, діяти рішуче і втілювати свої мрії в реальність. Основна мета Академії включає: розвиток лідерських якостей (навчання молоді ефективному лідерству, розвитку командної роботи та навичок ухвалення рішень); підтримка ініціатив та проєктів (надання здобувачам освіти знань і ресурсів для реалізації власних проєктів та ініціатив, що мають позитивний вплив на суспільство); персональний розвиток (підтримка особистісного розвитку молодих людей, включаючи розвиток критичного мислення, креативності та самосвідомості).

Академія лідерства «Dream. Action. Reality» (DAR) («Мрія. Дія. Реальність») має на меті створити середовище, яке сприяє розвитку особистісних і професійних якостей майбутніх лідерів; допомагає здобувачам освіти розкрити свій потенціал, усвідомити свої цілі та навчитися ефективно керувати командою, а також здобути навички, необхідні для успішного кар'єрного та особистісного зростання. Учасникам Академії пропонується комплексна програма навчання, яка складається з інтерактивних лекцій, тренінгів і майстер-класів, які проводяться щомісяця. Молоді люди отримують виняткову можливість навчатися в успішних бізнесменів, лідерів галузей та визнаних експертів. Програма спрямована на всебічний розвиток лідерських якостей і готує молодь до успішної кар'єри та життя. Академія Лідерства відкрита для здобувачів освіти, які прагнуть розвинути свої лідерські навички, знайти своє призначення та підготуватися до успішної кар'єри. Відбір учасників здійснюється на добровільній основі, без будь-якого примусу. Кандидати, які бажають взяти участь, подають мотиваційний лист. У ньому вони висвітлюють свої особисті та професійні цілі, обґрунтовують мотивацію до участі в проєкті, а також описують, яким чином вони планують застосовувати набуті знання та навички для особистісного розвитку та розвитку своєї громади в майбутньому. Після успішного завершення навчання в Академії лідерства учасники отримують сертифікат.

Такий комплексний підхід допомагає розвитку лідерського потенціалу, надає можливість ознайомитися з досвідом провідних фахівців у потрібній професійній сфері та створити мотиваційну атмосферу у здобутті професійної освіти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Robles M. M. Executive perceptions of the top 10 soft skills needed in today's workplace. *Business and Professional Communication Quarterly*. 2012. Vol. 75. No. 4. P. 453-465. Режим доступу: <https://doi.org/10.1177/1080569912460400> ‘

2. Богашко О. Л. Підготовка конкурентоспроможних фахівців в умовах глобалізації світового ринку праці / О. Л. Богашко // *Сучасна освіта – доступність, якість, визнання: збірник наукових праць міжнародної науково-методичної конференції, 14–15 листопада 2018 року, м. Краматорськ / під заг. ред. д-ра техн. наук., проф. С. В. Ковалевського. – Краматорськ : ДДМА, 2018. – С. 27–30.*

Атаманенко Олена Дмитрівна – заступник директора з методичної роботи, Вінницький державний центр естетичного виховання учнів професійно-технічних навчальних закладів. e-mail: arnika557@meta.ua

DEVELOPMENT OF LEADERSHIP POTENTIAL OF STUDENTS USING THE INTERACTIVE COURSE LEADERSHIP «ACADEMY «DREAM. ACTION. REALITY» (DAR)»»

Abstract

The article highlights the issue of developing leadership potential in future specialists, highlights the basic principles of leadership, reveals the goal, objectives, describes the technologies of the interactive course «Leadership Academy».

Keywords: leadership, students, interactive course Leadership Academy, Leadership Academy «Dream. Action. Reality» (DAR).

Atamanenko Olena - – Deputy Director for Methodological Work, Vinnytsia State Center for Aesthetic Education of Vocational Education and Training. e-mail: arnika557@meta.ua

«ПАСТКИ ВЛАДИ» У ДІЯЛЬНОСТІ ВИКЛАДАЧА ЗВО

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Стаття розкриває питання феномену влади в освітньому процесі у взаємодії викладача та студента. Розкриваються психологічні підходи до стилів викладання та прояви влади як необхідної складової освітнього процесу. На основі досліджень американських психологів, наводяться приклади «пасток влади», у які може потрапити викладач, описано їх наслідки та проаналізовано варіанти виходу із них.

Ключові слова: освітній процес, влада, «пастки влади», міжособистісна взаємодія викладача і студента, стилі викладання

У суспільстві фундаментом міжособистісних і групових відносин та одним із базових соціальних явищ є влада, яка визначає динаміку і структуру взаємодії людей. Вивчення феномену влади є однією із ключових питань у соціальних і гуманітарних науках, зокрема у філософії, соціології, політології, психології та педагогіці. Влада пронизує усі сфери суспільного життя, про що свідчать наукові доробки зарубіжних та вітчизняних науковців (С. Бульбенюк, Г. Гекгаузен, К. Девіс, Л. Карамушка, В. Корнієнко, В. Мейерс, П. Морріс, Дж. Н'юстром, К. Хейлс, В. Шахов, М. Шумка та ін.). Однак, сучасні дослідження дедалі частіше акцентують увагу на психологічній складовій влади (А. Адлер, В. Васютинський, П. Коулман, Н. Луамн, Ф. Ніцше, Б. Рейвен, Б. Расел, Р. Фергюсон, Р. Френч, М. Фуко та ін.).

У соціальній психології загально визнаною є модель влади якій виокремлено п'ять основних джерел: легітимна влада (соціально визнані норми і правові підстави); експертна влада (високий рівень знань, досвіду та фахової компетентності); харизматична влада (індивідуальні якості лідера та його особистісна привабливість); референтна влада (емоційна прихильність, ідентифікації з особою, яка здійснює вплив); влада винагороди й покарання (реалізується через доступ до зовнішніх стимулів або санкцій) [1; 2].

Вітчизняні науковці вважають, що влада є «невід'ємною властивістю взаємодії між людьми і без такої взаємодії, без владно-підвладних співвідношень не буває. Водночас і влада поза взаємодією не існує. Особи, які потенційно можуть зайти у взаємодію одні з одними, уже заздалегідь мають різні можливості зайняття владної чи підвладної позиції. Проте до взаємодії ці можливості існують лише потенційно. Влада – це радше властивість взаємодії, результат взаємин, що складаються між індивідами, які перебувають у певних стосунках, а не диспозиційні характеристики особи або соціуму [3]. Основними компонентами влади є її суб'єкт, об'єкт, засоби (ресурси) і процес, що призводить до руху всі її елементи (механізм і засоби взаємодії суб'єкта і об'єкта).

Психологічна природа влади охоплює комунікацію, настанови, авторитет, вплив на розвиток особистості, тому її вплив особливо проявляється у сферах, де відбувається взаємодія «людина-людина», тому у педагогіці можна розглядати владу як основу діяльності викладача. У загальному розумінні владу потрактовують як здатність і можливість здійснювати певний вплив на діяльність, поведінку людей за допомогою різних засобів (волі, права, авторитету, насилля). Влада – це завжди вольові відносини, які реалізуються у сферах особистої та суспільної діяльності. Але, коли йдеться про владу у педагогічній сфері – необхідний особливий бачення цієї проблеми. Адже, викладач, автоматично посідає роль керівника, тобто людини, яка має владу над тими кого навчає. У педагогічних наукових джерелах, вплив (влада) викладача на здобувачів освіти розглядається через призму стилю викладання, якого він дотримується і який проявляється через комунікацію – авторитарний (всі рішення ухвалюються одноосібно, принцип «керівництво-підкорення», прийняті рішення не підлягають обговоренню та негайно виконуються тощо); демократичний (викладач вдало користується владою але не апелює до неї, психологічні основи – навчання, делегування справ відповідальним особам, адекватне уявлення про те, що відбувається, безупереджене ставлення до студентів тощо); ліберальний (межує від

бездіяльності до активних процесів, не здатність прийняття рішень або їх прийняття від нього не залежне, непрофесіоналізм, невпевненість у своїх знаннях та компетентності, викладач лише контролює виконання завдань, створення вільної і творчої атмосфери у колективі тощо).

Необхідно пам'ятати про психологічні основи викладацької діяльності та особливості педагогічної професії. Є очевидним, що типи влади або стилі викладання теж є різними за своєю суттю і мають різну мету. Наприклад, викладач, який використовує авторитарний стиль для того, щоб полегшити собі роботу проявляє до студентів відкритий авторитаризм, що призводить у них до втрати мотивації до вивчення дисципліни (а той до навчання у закладі вищої освіти), психологічних проблем, створює конфліктні ситуації тощо. Тоді як викладач, який використовує зазначений стиль, для досягнення та покращення результатів може використовувати інші підходи, які не будуть травмувати студентів та призводити до конфліктів та буде ефективним для засвоєння дисципліни, але сам процес залишиться авторитарним (не перших курсах викладачі, здебільшого, використовують авторитарний стиль, що допомогти зрозуміти студентам основи та суть дисципліни, оцінювання). Але влада викладача – це не про домінування, а здатність мотивувати, вести за собою, створювати позитивне психологічне та освітнє середовище. Ефективний педагог не лише контролює, а й надихає, формує внутрішню дисципліну та саморегуляцію у вихованців.

Довгий період перебування при владі призводить до небезпеки потрапити до пастки, що може вплинути на сприйняття, цінність, мораль та поведінку. Американські психологи П. Коулман та Р. Фергюсон визначили конфліктні пастки по низхідному, висхідному вектору влади та пастки рівноправності [4].

Розглянувши характеристики цих пасток, ми вважаємо їх таким, у які можуть попадати викладачі у процесі роботи зі студентами. Тому, пропонуємо характеристику пасток по низхідному вектору влади та вихід із них, так як такі пастки вказують більше на недоліки викладача та його психологічний вплив на студента, тоді як пастки по висхідному вектору влади та пастки рівноправності описують поведінку тих, хто є нижчим за ієрархією.

Серед конфліктних пасток по такому вектору науковці виокремили такі [4]:

«Влада та психічні вади» - люди з великою владою схильні набувати зовсім іншого психологічного досвіду, ніж ті, що знаходяться при меншій владі. Люди з більшою владою починають сприймати інформацію абстрагованіше, розглядають людей лише як інструменти, зорієнтовані виключно на цілі, самовпевнені та активніші за тих, хто має менше влади. Також науковці з'ясували, що надмірна влада перешкоджає когнітивним процесам, що у свою чергу знижує здатність мислити всеосяжно, обмежує мораль та штовхає до використання стереотипного мислення. Для врегулювання конфлікту, що виник через цю пастку, науковці рекомендують: носіям влади «не вірити власним очам», так як існує імовірність, що їхнє бачення є неточним та схиленим на їх користь, тому необхідна думка «зі сторони», необхідно звіритися з поглядами на ситуацію з іншими та переконатися у правильності рішення.

«Куленепробивна пастка» Дослідження показали, що носії влади поступово вже не відчуваються вразливими до наслідків власних дій. Люди, які потрапили у таку пастку відчуваються так, ніби їм дозволено робити чи говорити усе, що заманеться, та задовольняти власні забаганки, навіть якщо для цього буде потрібно порушити певні правила. Якщо така особистість не буде піймана – то її поведінка буде лише підкріплюватися задоволеними потребами, що не несуть за собою покарань, що з часом призведе до ще більших та серйозніших порушень та будуть впевненими, що їх не впіймають.

«Невидимі підлеглі». Як з'ясували науковці, люди з більшою владою не звертають уваги на тих, хто стоїть нижче за ієрархією, у нашому прикладі, викладачі, які потрапили у цю пастку, не звертають увагу на потреби, емоції, переживання студентів. Вони не схильні приймати чужу точку зору або фонові знання інших. На думку людей у цій пастці, особи, що наділені меншою владою розглядаються як такі, що мінімально впливають на мету носія влади і, таким чином, не варті його уваги. Високі владні повноваження притупляють здатність цінувати думку та почуття інших, така поведінка негативно позначається на моралі та позитивності, що може загострювати конфлікти, що може негативно відгукуватися на зворотному зв'язку з іншими.

Дослідники цієї проблеми також виокремлюють такі пастки як «Влада? Яка ще влад?» (нездатність оцінювати та аналізувати існуючі важелі впливу у процесі роботи); «До дитька правила» (правила існують для дурнів, порушення елементарних правил як закономірність); «Командувати і контролювати» (владний та контролюючий стиль розв'язання конфліктів чи проблем, що виникли у процесі взаємодії); «Сліпі амбіції» (спрямовані на дії, переконані у власному виборі, що може спричинити не виправданий ризик; відчуття свободи дій, засліпленні власними амбіціями, неспроможні помічати, що коїться навколо них) та інші [4].

Дослідження, проведені науковцями показує, що взаємодія різних впливів влади (психологічного, соціального, поведінкового характеру) може спричинити домінування, що, у ситуації взаємодії викладача та студента суперечить особистісно-орієнтованому та студентоцентрованому підходах в освіті. Формування необхідних для студентів компетентностей та «скілів» не може відбуватися під психологічним тиском та діями викладача, який розглядає студентів, як нижчу чи менш значущу ланку освітнього процесу. У таких пастках також може проявлятися розподіл студентів на кращих чи гірших, що у процесі навчання може негативно впливати на результативність засвоєння знань. І підхід, який може мотивувати до навчання одних, інших може дезмотивувати і дати їм відчуття меншовартості у порівнянні з іншими. Тому, для викладача важливим є не попадати у такі пастки та контролювати свою ставлення по відношенню до студентів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Raven B. The bases of social power // Studies in Social Power / ed. D. Cartwright. – Ann Arbor : Institute for Social Research, 1959. – P. 150–167.
2. Вебер М. Государство і суспільство : у 2 т. / М. Вебер ; пер. з нім. В. Терещенко ; наук. ред. В. Табачковський. – К. : Основи, 1998. – Т. 1. – 568 с.
3. Васютинський В. Інтеракційна психологія влади. *Монографія*. Київ, 2005. 492 с., С. 59
4. Коулман Пітер Т. Результативний конфлікт: незгода - це сила, що працює на вас/ Пітер Т. Коулман, Роберт Фергюсон ; пер. з англ. Інни Софієнко ; ред. І. Чиркова. Київ : Наш формат, 2017. 311 с.

Гречановська Олена Володимирівна – доктор педагогічних наук, професор кафедри філософії та гуманітарних наук, директор Культурно-мистецького та просвітницького центру ВНТУ. e-mail: hrechanovskae@gmail.com

«POWER TRAPS» IN THE ACTIVITIES OF A TEACHER OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Abstract

The article reveals the issue of the phenomenon of power in the educational process in the interaction of a teacher and a student. Psychological approaches to teaching styles and manifestations of power as a necessary component of the educational process are revealed. Based on the research of American psychologists, examples of "power traps" that a teacher can fall into are given, their consequences are described and options for getting out of them are analyzed.

Keywords: educational process, power, "power traps", interpersonal interaction of a teacher and a student, teaching styles

Hrechanovska Olena - Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Philosophy and Humanities of Vinnytsia National Technical University (Vinnytsia, Ukraine), Director of the Cultural, Artistic and Educational Center of VNTU. e-mail: hrechanovskae@gmail.com

ІНЖЕНЕРНА ТВОРЧІСТЬ ЯК МЕТОД ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто принцип підготовки здобувачів машинобудівних спеціальностей шляхом залучення їх до виконання інженерних задач різних рівнів складності. Запропоновано варіант проведення практичних занять спеціальних дисциплін в режимі конструкторського бюро.

Ключові слова: здобувач, навички, інженер-конструктор, підготовка, інженерна творчість.

Вступ

В умовах викликів сьогодення і необхідності відновлення промислового потенціалу України особливої актуальності набуває підготовка висококваліфікованих інженерів-конструкторів, технологів, фахівців з автоматизації та робототехніки. Ефективне функціонування машинобудівного сектору є одним із ключових факторів сталого розвитку економіки, національної безпеки та конкурентоспроможності держави на міжнародному рівні. Саме тому система вищої технічної освіти повинна забезпечувати не лише передачу знань, а й формування здатності до інноваційного мислення, самостійного прийняття рішень та творчого підходу до розв'язання інженерних задач.

Результати дослідження

У сучасному освітньому процесі зростає потреба у впровадженні новітніх методик, що сприяють розвитку креативного мислення та професійної самореалізації студентів технічних спеціальностей. Однією з таких ефективних методик є інтеграція інженерної творчості в практичну підготовку здобувачів освіти, так у Вінницькому національному технічному університеті на кафедрі галузевого машинобудування практикується виконання студентами інженерних проєктів під час вивчення дисциплін, що мають прикладний характер, таких як – «Адитивні технології» та «Електроніка».

Основною ідеєю є організація навчального процесу у форматі моделювання діяльності конструкторського бюро, де викладач виконує роль головного інженера, а студенти – його інженерів-підлеглих. У такій моделі кожне заняття перетворюється на етап проєктної діяльності: від формування технічного завдання до реалізації готового інженерного рішення (рис 1). Спільна робота над проєктами дозволяє не лише розвивати творчі та комунікативні навички студентів, а й наближує навчальний процес до умов реального виробництва.

Особливу цінність цей підхід має у викладанні дисциплін, що передбачають практичне застосування технічних знань. Наприклад, під час занять з адитивних технологій студенти створюють 3D-моделі, готують їх до друку та аналізують результат. У курсі з електроніки – розробляють схемотехнічні рішення, працюють із мікроконтролерами, створюють функціональні прототипи.

Такий підхід до проведення практичних занять дозволяє сформуванню у здобувачів практично орієнтованих компетентності, сприяє розвитку творчого та критичного мислення дозволяє в «лабораторних» умовах моделювати реальні виробничі процеси, що значно сприяє адаптації випускників до умов майбутньої професійної діяльності. Відтак здобувачі отримують навички управління проєктами та формують командну взаємодію, що значно підвищує мотивацію через відчуття причетності до спільної справи.

Проте є і певні складнощі використання такого підходу, такі як потреба у високій кваліфікації викладача, що має бути не лише педагогом, а й мати високі професійні інженерні навички. Даний метод також потребує значних витрат часу на підготовку та супровід проєктів, при цьому можуть виникати складнощі з критеріями оцінювання індивідуального внеску здобувача у колективну роботу. Варто відзначити також необхідність наявності значної матеріальної бази для можливості повноцінної реалізації ідей.



Рисунок 1 – Приклад проекту виконаного здобувачами кафедри ГМ

Проте, не зважаючи на певні складнощі, інженерна творчість у форматі колективної проектної діяльності є потужним інструментом підготовки конкурентоспроможних інженерів. Цей метод не лише дозволяє реалізувати потенціал кожного здобувача, а й формує середовище, у якому народжуються нові ідеї, здатні змінювати галузь машинобудування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи технічної електроніки : у двох кн. : підруч. для студ. вищ. техн. навч. закл. Київ : Вища шк., 2007. Т. 2 : Схемотехніка/Бойко В.І., Гуржій А.М., Жуйков В.Я., Зорі А.А., В.М. Співак та ін. 510 с.
2. Коновал О. А., Туркот Т. І. Педагогіка та психологія вищої школи. Олді-плюс, 2013. URL: <https://doi.org/10.31812/123456789/3478>
3. Ринок праці, міграція та соціально-економічний розвиток Європейського Союзу та України : навч.-метод. посіб. / Ю. О. Цевух. – Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2021. – 140 с.
4. Зінченко А. Г., Саприкіна М. А. Навички для України 2030: погляд бізнесу. / За ред. М. А. Саприкіної. - Н-69 К.: ТОВ "Видавництво "ЮСТОН"С 2016. – 36 с.

Кудраш Віталій Олександрович – асистент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: lisovoy844@gmail.com.

ENGINEERING CREATIVITY AS A METHOD OF TRAINING SPECIALISTS IN THE MACHINE-BUILDING INDUSTRY

Abstract

The principle of training students in mechanical engineering specialties through their involvement in solving engineering problems of varying complexity is considered. A method for conducting practical classes in specialized disciplines in the format of a design bureau has been proposed.

Key words: *student, skills, design engineer, training, engineering creativity.*

Kudrash Vitaly Oleksandrovyich - assistant of the Department of Mechanical Engineering, VNTU, Vinnytsia, e-mail: lisovoy844@gmail.com.

ВИСОТНИЙ ОГЛЯДОВИЙ МАЙДАНЧИК З ЗАСКЛЕНОЮ БАГАТОПРОФІЛЬНОЮ КАПСУЛОЮ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Представлена Башта кругового огляду, що являє собою механізм підйому закленого багатопрофільного оглядового майданчику, який піднімається на кінці телескопічної щогли та одночасно з обертанням навколо своєї вертикальної осі. Щогла має гідравлічний привід із системою рекуперації. Інноваційний проєкт конструкції та дизайн Башти не має аналогів на світовому ринку туристичного бізнесу.

Ключові слова: башта, телескопічна щогла, гідравлічний привід, система рекуперації, туризм, об'єкти під захистом ЮНЕСКО.

З листопада 1946 р. почала офіційно діяти міжнародна Організація ЮНЕСКО (англ. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). Ця Організація була заснована за рік до того у 1945 р. при ООН. В ст. I Конституції ЮНЕСКО сказано, що метою Організації є сприяння миру та безпеці шляхом сприяння співпраці між націями через освіту, науку та культуру [1]. Практична діяльність Організації здійснюється у п'яти напрямках [2]: Освіта, Природничі науки, Соціальні та гуманітарні науки, Культура, Комунікація та інформація. Діяльність ЮНЕСКО в галузі культури охоплює багато напрямів, але на першому місці стоїть збереження та відродження матеріальної і нематеріальної культурної спадщини. По всьому світу в багатьох країнах Органічне поєднання діяльності людей різних країн в рамках цих п'яти напрямів має забезпечувати досягнення головної мети ЮНЕСКО.

Про Башту кругового огляду (БКО), яку зараз анонсуємо, можна сказати, що вона деякою мірою допомагає вирішувати питання по всіх п'яти напрямках діяльності ЮНЕСКО. БКО представляє собою інноваційний конструктивний проєкт, який дозволяє економно та екологічно забезпечити потребу людей отримати інформацію про об'єкти світової спадщини людства, або подивитись з висоти пташиного польоту на заповідні природничі чи історичні місця, побачити те, чого під час наземної екскурсії неможливо побачити. Відвідувачі Башти можуть оглянути з висоти 50-70 метрів навколишній міський ландшафт, поглянути з незвичного ракурсу на об'єкти, що їх цікавлять, зробити незабутні фото- та відеоматеріали. Тобто оглянути конкретний туристичний об'єкт, краєвид чи частину міського ландшафту. При цьому ця Башта є інструментом туристичного бізнесу, яка приносить кошти музею, громаді, державі. Безумовно, найефективніше використання таких Башт буде там, де вже існують великі туристичні потоки, де вже «підготовлено» цільову аудиторію потенційних відвідувачів. Звичайно, також можлива їх установка в існуючих парках розваг. Башту кругового огляду на підйомній щоглі можна вважати технологічним проривом у питанні надання туристичних послуг (рис. 1).



Рисунок 1 – Можливі варіанти підйомної капсули БКО

Башта це висотний оглядовий майданчик із закленою капсулою, площею до 250 м², яка одночасно обертається навколо своєї осі та піднімається на кінці телескопічної щогли, що має гідравлічний привід із системою рекуперації. Модельний ряд включає 4 основні моделі за способом встановлення (рис.2):

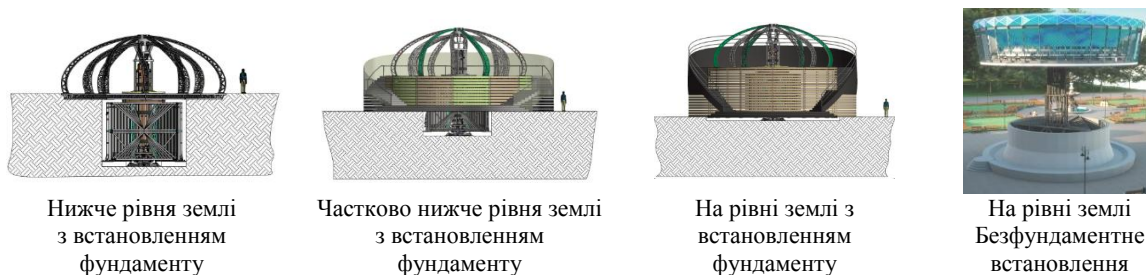


Рисунок 2 – Варіанти встановлення «Башти кругового огляду»

Дизайн, передові технології виробництва та сучасні матеріали гарантують високу якість виробу та його відповідність всім міжнародним вимогам та стандартам. А технічна новизна існуючих проєктів підтверджується патентами на винаходи [3-5]. Капсула Башти кругового огляду може бути стилізована під навколишній міський ландшафт. Це або альтанка з ротондою, якщо йдеться про пам'ятник архітектури 18-19 століття, або дозорна вежа, яка встановлена біля стародавнього туристичного об'єкту. Капсула може бути виконана у будь-якому стилі від класичного до "хай-тек". Вона також може бути інтегрована в існуючі будівлі, які потребують капітального ремонту. Пропоновані Башти панорамного огляду на підйомній шоглі можуть бути встановлені в десятках тисяч потенційних місць. Висота Башти у складеному стані не більше 4-7 метрів. Для їх установки поруч із визначними туристичними пам'ятками, біля яких століттями не вичерпується потік туристів, немає жодних обмежень. Фактично відсутня конкуренція. Мільйони людей на рік, які відвідують туристичні об'єкти по всьому світу, безпосередньо стають «цільовою аудиторією» для таких виробів. Враховуючи, що існують такі об'єкти, куди з різних причин неможливий доступ туристів, встановлення таких Башт огляду дає можливість при підйомі/спуску подивитись на загальний вигляд об'єкту та прослухати, за допомогою аудіогіда, рідною для себе мовою коротку історію про нього.

Експлуатація таких виробів гарантує: високу рентабельність та стабільність. Можна констатувати той факт, що проєкт, враховуючи його інноваційний дизайн, можливість стратегічного розташування висотних оглядових майданчиків у безпосередній близькості від значних туристичних об'єктів є надзвичайно перспективним. При цьому з'являється можливість створення нового ринку з надання туристичних послуг, і за дотримання елементарних вимог щодо захисту інтелектуальної власності можна розраховувати на багаторічну монополію у цій галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про ЮНЕСКО <https://mfa.gov.ua/mizhnarodni-vidnosini/yunesko/pro-yunesko>
2. Конституція ЮНЕСКО https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_014#top
3. Архіпов В. І. та ін. АТРАКЦІОН «МАГНЕТІК-XXL», N 84583 від 15.12.2006, бюл.12/2006
4. Архіпов В. І. та ін. АТРАКЦІОН «3 В 1», N 44399 від 12.10.2009, бюл.19/2009
5. Архіпов В. І. та ін. Підіймач, N 114755 від 10.03.2017, бюл.5/2017

Архіпова Тетяна Федорівна – к. т. н., доцент, доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: tfarhipova@vntu.edu.ua

HIGH-ALTITUDE OBSERVATION DECK WITH A GLAZED MULTI-PROFILE CAPSULE

Abstract. *The Circular Observation Tower is presented, which is a lifting mechanism for a glazed multi-profile observation deck, which rises at the end of a telescopic mast and simultaneously rotates around its vertical axis. The mast has a hydraulic drive with a recuperation system. The innovative design and design of the structure has no analogues in the global tourism business market.*

Key words: *tower, telescopic mast, hydraulic drive, recuperation system, tourism, UNESCO sites.*

Arkhypova Tetiana Fedorivna – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Strength of Materials, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Vinnytsia National Technical University, e-mail: tfarhipova@vntu.edu.ua

А.В. Погребняк¹
Л.К. Поліщук²
В.Й. Шенфельд²
М. М. Керничний²

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ВАКУУМНОГО ПРЕСА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Університеті митної справи та фінансів, м. Дніпро
Вінницький національний технічний університет

Анотація.

В доповіді наведено шляхи підвищення техніко-економічних показників, зокрема, енергомісткості та металомісткості, за рахунок застосування ефективного приводу головного руху вакуумного преса для виробництва харчових продуктів та удосконаленої конструкції транспортно-завантажувального пристрою.

Ключові слова: вакуумний прес, головний привід, екструдер, проєктні та перевірочні розрахунки.

В умовах повномасштабної війни переважна більшість галузей народного господарства зорієнтовані на вирішення економічних задач щодо підтримки економічної безпеки країни. Зокрема, це стосується харчової промисловості, головною задачею якої є забезпечення високої продуктивності та рентабельності виробництва. В умовах ринкової економіки та жорсткої конкуренції, суттєве значення мають засоби виробництва, що вирізняються високими техніко-економічними показниками.

Макаронні вироби завжди користуються великим попитом у споживачів. Для їх виробництва використовуються спеціальні комплекси машин, основною складовою яких є пресове обладнання. Існує багато конструкцій пресів для виготовлення макаронних виробів, головними недоліками яких є висока енерго- та металомісткість, відсутність можливостей зміни швидкісного режиму роботи робочої ланки екструдера, незахищеність головного вузла екструдера від дії абразивного середовища у вигляді сировини для їх виготовлення. Ніж преса не має постійного контакту з матрицею, в якій формується продукція, а також не має можливості змінення кута нахилу в залежності від виду продукції.

Тому пошук нових технічних рішень щодо удосконалення такого обладнання стосується не лише схемних рішень основних вузлів преса за рахунок використання вузла регулювання зміни частоти обертів робочого вала, можливості автоматизації робочого процесу, але й обґрунтованого вибору матеріалу елементів конструкції, який забезпечує зменшення енергетичних втрат працюючого обладнання.

Поліпшення цих характеристик дозволить підвищити ефективність використання вакуумного пресового обладнання для виготовлення макаронних виробів.

Метою роботи є підвищення техніко-економічних показників, зокрема, енергомісткості та металомісткості, за рахунок застосування ефективного приводу головного руху вакуумного преса для виробництва харчових продуктів та удосконаленої конструкції транспортно-завантажувального пристрою.

Проаналізовано технології виготовлення та відомі технічні рішення обладнання для виготовлення макаронних виробів, зазначені їх недоліки та встановлено шляхи удосконалення їх конструкцій.

Проаналізовано методику розрахунків пресів та пристроїв для пресування, на основі яких сформовані вихідні дані для розрахунку основних елементів головного приводу екструдера вакуумного преса.

Виконано кінематичний та силовий розрахунки головного приводу екструдера, за результатами яких проведено розрахунок клинопасової передачі, проєктні та перевірочні розрахунки циліндричних косозубих передач, розрахунок валів, здійснено вибір підшипників, розрахунок рами та фундаментних болтів.

Розроблено удосконалену конструкцію вакуумного преса, призначеного для виробництва макаронних виробів з оригінальним технічним рішенням головного приводу екструдера та конструкцію приводу транспортного екструдера, який забезпечує зміну параметрів руху за рахунок використання варіатора з дистанційним гідравлічним керуванням (Рис.1).

Вакуумний прес, виготовлений за технічною документацією розробленої конструкції, успішно застосовується на приватних підприємствах України.

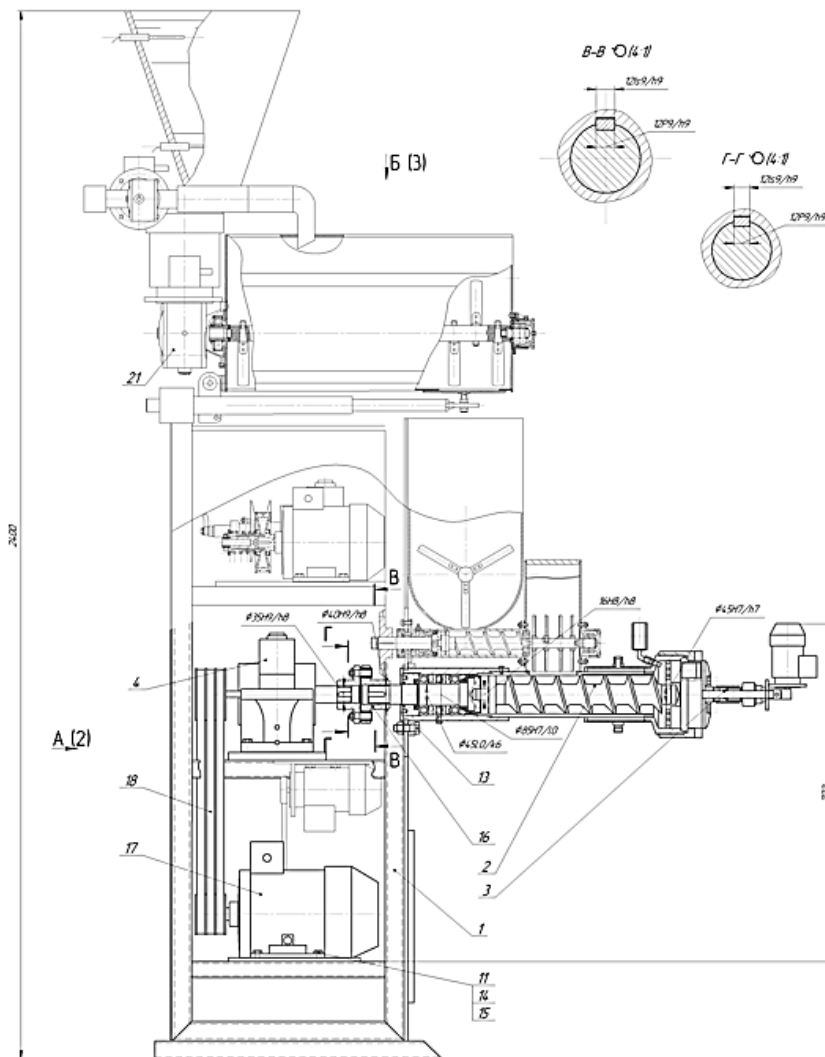


Рис.1- Головний привід екструдера

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. —Х.: Світ Книг, 2020. — 496 с.
2. Тертишний О.О., Механічні процеси та обладнання харчових виробництв: навчальний посібник/ О.О. Тертишний, О.А. Півоваров, В.С. Кошулько. – Дніпро: ДДАЕУ, 2022. – 351 с.
3. Поліщук Л.К., Адлер О.О., Проблеми іновативного розвитку машинобудування/ Л.К Поліщук., О.О.Адлер // XVI Міжнародна науково-технічна конференція «Віб-рації в техніці та технологі-ях», збірник тез доповідей. 26-27 жовтня. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – С. 39

Погребняк Андрій Володимирович – доктор технічних наук, професор кафедри туризму та готельно-ресторанної справи університету митної справи та фінансів, м. Дніпро, e-mail: pogrebnyak.av1985@gmail.com

Поліщук Леонід Клавдійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри галузевого машинобудування Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com

Шенфельд Валерій Йосипович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leravntu@gmail.com

Керничний Максим Максимович – студент гр.ІГМ-24м факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: makstig002@gmail.com

DEVELOPMENT OF A VACUUM PRESS DESIGN FOR FOOD PRODUCTION

Abstract.

The report presents ways to increase technical and economic indicators, in particular, energy and metal consumption, by using an efficient drive for the main movement of a vacuum press for the production of food products and an improved design of the transport and loading device.

Keywords: vacuum press, main drive, extruder, design and verification calculations.

Pogrebnyak Andriy – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Tourism and Hotel and Restaurant Business of the University of Customs and Finance, Dnipro, e-mail: pogrebnyak.av1985@gmail.com

Polishchuk Leonid – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial Mechanical Engineering of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com

Shenfeld Valeriy - Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leravntu@gmail.com

Kernychny Maksym – Student of Gr.1GM-24m of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: makstig002@gmail.com

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ

Дрогобицький механіко-технологічний фаховий коледж

Анотація.

У статті розглянуто інноваційні технології, що впроваджуються у процес підготовки фахівців машинобудівної галузі в контексті забезпечення сталого розвитку України. Проаналізовано сучасні педагогічні підходи, цифрові освітні інструменти та моделі дуальної освіти, які сприяють формуванню екологічної свідомості, інженерної компетентності та готовності до роботи в умовах сталого виробництва. Зроблено акцент на необхідності міждисциплінарного підходу в освітньому процесі та тісної співпраці закладів вищої освіти з промисловими підприємствами. Особливу увагу приділено використанню програмного забезпечення SolidWorks та впровадженню 3D-технологій, які дозволяють студентам моделювати, аналізувати та вдосконалювати конструкції відповідно до принципів екологічності та енергоефективності. Наведено приклади успішного впровадження інноваційних освітніх рішень у підготовку майбутніх інженерів-машинобудівників.

Ключові слова: SolidWorks, CAD, галузеве машинобудування, освіта, інженерна графіка, цифрове проєктування, робототехніка, 3D-технології.

Сталий розвиток машинобудівної галузі в Україні потребує підготовки висококваліфікованих фахівців, які володіють не лише класичними знаннями, а й сучасними цифровими компетенціями. Інноваційні технології в освіті — ключ до підвищення конкурентоспроможності національної економіки. Особливу увагу заслуговує впровадження у навчальний процес робототехніки, 3D-технологій та програмного забезпечення SolidWorks.

1. Стан машинобудівної освіти в Україні. Аналіз сучасної системи підготовки машинобудівних фахівців показує, що більшість програм зосереджені на класичних дисциплінах, у той час як ринок праці потребує фахівців, здатних працювати в умовах цифрової трансформації. Проблеми: недостатнє оновлення змісту програм, застаріла матеріально-технічна база, низький рівень цифрової грамотності студентів.
2. Значення робототехніки в інженерній освіті. Робототехніка є основою сучасного виробництва. Її вивчення дозволяє:
 - формувати практичні навички роботи з роботами;
 - навчитися програмувати системи керування;
 - моделювати виробничі процеси за допомогою цифрових двійників;
 - освоювати принципи автоматизації та інтеграції систем IoT. На практичних заняттях студенти можуть збирати та програмувати роботизовані комплекси, тестувати їх на різних виробничих сценаріях.
3. Роль 3D-технологій у підготовці інженерів. Використання 3D-друку та 3D-сканування

- швидко створювати прототипи виробів;
 - експериментувати з конструкційними рішеннями;
 - зменшувати витрати часу та ресурсів на етапі проектування. Навчальні лабораторії з 3D-принтерами відкривають для студентів нові горизонти: від виготовлення простих макетів до складних деталей машинобудівної продукції.
4. SolidWorks як інструмент цифрового проектування. SolidWorks — один з провідних CAD-інструментів, що застосовується у світовій інженерній практиці. Впровадження його в навчання дає:
- доступ до створення високоточних моделей деталей і вузлів;
 - проведення симуляцій механічних, теплових та динамічних процесів;
 - можливість готувати технічну документацію та креслення;
 - участь у міжнародних освітніх ініціативах та конкурсах.
5. Інноваційні методики навчання. Сучасні методики включають:
- Project-Based Learning — навчання через роботу над реальними проектами;
 - симуляційні ігри та моделювання;
 - дистанційні платформи (Moodle, Google Classroom, SolidWorks Cloud);
 - віртуальні лабораторії та VR/AR-технології.
6. Міжнародний досвід. Українські ЗВО все активніше долучаються до європейських проектів (Erasmus+, Horizon Europe). Обмін студентами, участь у спільних дослідженнях, стажування у провідних компаніях дозволяють перенести найкращі практики у навчальний процес.
7. Виклики на шляху впровадження. Основні проблеми:
- нестача фінансування для оновлення обладнання;
 - потреба у підготовці викладачів нового покоління;
 - слабкий зв'язок між університетами та промисловістю;
 - відсутність системної державної підтримки інновацій в освіті.
8. Перспективи розвитку. Серед перспектив:
- створення інноваційних кластерів на базі університетів;
 - розробка освітніх програм спільно з промисловими підприємствами;
 - залучення грантового фінансування;
 - розвиток стартап-культури серед студентів.

Висновки. Інноваційні технології — ключовий чинник підготовки машинобудівних фахівців, здатних працювати в умовах сталого розвитку. Впровадження робототехніки, 3D-технологій та SolidWorks в освіту забезпечує глибокі технічні знання, практичні навички, готує до викликів сучасного ринку праці. Україна має всі передумови для інтеграції у світовий інженерний простір, якщо буде здійснено системну модернізацію освіти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Національна стратегія розвитку освіти в Україні на 2021–2031 роки. – Київ: МОН України, 2021.

2. . – 2020. – 4. – . 5–12. , , //
3. Ушаков Д.М. Робототехніка та 3D-технології в інженерній освіті // *Машинобудування України*. – 2023. – №1. – С. 33–41.
4. Horizon Europe: Work Programme 2021–2027. – European Commission, 2021.
5. SolidWorks Education Edition: Curriculum and Projects Guide. – Dassault Systèmes, 2023.
6. OECD. Skills Outlook 2023: Thriving in a Digital World. – OECD Publishing, 2023.

Гнатів Марія Михайлівна, голова циклової комісії спеціальностей спеціальності 133 Галузеве машинобудування, викладач спеціальностей, Дрогобицький механіко-технологічний фаховий коледж, м.Дрогобич, mgnativ89@gmail.com

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE TRAINING OF ENGINEERING INDUSTRY SPECIALISTS FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF UKRAINE

Abstract

The article examines innovative technologies introduced into the process of training specialists in the machine-building industry in the context of ensuring the sustainable development of Ukraine. Modern pedagogical approaches, digital educational tools and models of dual education, which contribute to the formation of environmental awareness, engineering competence and readiness to work in conditions of sustainable production, are analyzed. Emphasis is placed on the need for an interdisciplinary approach in the educational process and close cooperation between higher education institutions and industrial enterprises. Special attention is paid to the use of SolidWorks software and the implementation of 3D technologies that allow students to model, analyze and improve structures in accordance with the principles of environmental friendliness and energy efficiency. Examples of successful implementation of innovative educational solutions in the training of future mechanical engineers are presented.

Keywords: SolidWorks, CAD, industrial mechanical engineering, education, engineering graphics, digital design, robotics, 3D technologies.

Maria Mykhailivna Hnativ, head of the cyclical commission of special disciplines of the 133 branch mechanical engineering, teacher of special disciplines, Drohobych Mechanical and Technological Vocational College, Drohobych, mgnativ89@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИМУЛЯЦІЙ ПІД ЧАС ВИКЛАДАННЯ ФІЗИКИ

Вінницький технічний фаховий коледж

Анотація

У статті розглянуто актуальність використання комп'ютерних симуляцій у викладанні фізики як засобу підвищення зацікавленості студентів та ефективності навчального процесу. Автори обґрунтовують переваги симуляцій як інтерактивних анімованих середовищ, що візуалізують складні фізичні явища, роблять невидиме видимим (атоми, електрони) та сприяють розвитку дослідницьких навичок.

Представлено можливості застосування комп'ютерних симуляцій на різних етапах навчання: як лекційні демонстрації, елемент домашніх завдань (із заохоченням до самостійних досліджень та мінімізацією жорстких інструкцій) та в лабораторних роботах (як самостійно, так і в поєднанні з реальним експериментом). Особлива увага приділяється інтерактивному сайту PhET (Physics Education Technology), що пропонує широкий спектр безкоштовних симуляцій з різних природничих наук, адаптованих для навчальних цілей та перекладених багатьма мовами.

Зроблено висновок, що комп'ютерні симуляції є ефективним доповненням до традиційних методів, сприяють формуванню пізнавальних здібностей, дослідницьких умінь, кращому розумінню фізичних процесів та розвитку ключових компетентностей (математичної, інформаційно-комунікаційної, природничо-наукової). Підкреслюється, що симуляції дозволяють студентам бути активними учасниками експерименту та дотримуватися індивідуальної навчальної траєкторії, відкриваючи перспективи для подальших досліджень їх використання.

Ключові слова: комп'ютерні симуляції, викладання фізики, інтерактивне навчання, навчальне моделювання, лабораторні роботи, PhET, дослідницькі вміння, пізнавальні здібності, природничі науки

Педагогічна спільнота відмічає значну втрату інтересу до навчання в сучасних підлітків. Вирішити цю проблему можна шляхом використання активних методів навчання, застосування технологій проблемного навчання. Одним із засобів реалізації цього завдання може бути використання комп'ютерних симуляцій. Комп'ютерні симуляції (моделювання) - це анімовані інтерактивні та ігрові середовища, які дають змогу студентам досліджувати. Вони наголошують на зв'язках між явищами реального життя та основами наук, роблять невидиме видимим (наприклад, атоми, молекули, електрони, фотони) та включають візуальні моделі, які викладачі використовують для сприяння розвитку мислення студентів [1].

Симуляції розроблені так, щоб допомогти студентам розвинути навички дослідження, вивчаючи причинно-наслідкові зв'язки. Викладачі можуть полегшити обговорення в аудиторії, створивши такий сценарій використання симуляції, за яким студенти передбачають ефект від зміни параметрів фізичного явища чи моделі пристрою. У таких аудиторіях студенти часто мимовільно задають ще багато і глибоких запитань. Студенти зазвичай задають низку запитань «а що, якщо...» і самі направляють використання симуляцій викладачами.

Розглянемо можливості використання комп'ютерних симуляцій для викладання фізики. Симуляції можуть бути використані для проведення лекцій, практичних занять, лабораторних робіт, для домашніх завдань.

Симуляції є ефективними для використання в якості лекційних демонстрацій під керівництвом викладачів [2]. Такі демонстрації найкраще забезпечують взаємодією студентів і викладача [3]. Завдяки моделюванню, яке проектується на екран, кожен студент може слідкувати за загальним візуальним матеріалом, який потім допомагає студентам та викладачам передавати ідеї між собою. За допомогою симуляції можна організувати дискусію у ході якої студенти висловлюють припущення, ідеї. Ці припущення відразу можна перевірити за допомогою відповідної комп'ютерної симуляції.

Коли студенти просто спостерігають за демонстрацією, не взаємодіючи та не розмовляючи про продемонстровані концепції, вони вчаться досить мало [4]. Студенти часто думають, що вони

зрозуміли якусь ідею, бо вона видається знайомою, або пояснення викладача має сенс. Але згодом студенти часто виявляють, що вони не можуть відповісти на запитання, які для відповіді потребують розуміння вивченого явища. Студенти часто навіть неправильно інтерпретують або пам'ятають результати демонстрації, що не відповідає їх вже існуючим уявленням про те, що мало статися [5]. Отже, якщо ми хочемо посилити вплив демонстрацій, ми повинні зробити їх інтерактивними: використовувати обговорення та прогнози, які є або структурованими, або більш вільно організованими.

Симуляції дозволяють виконувати домашні завдання, під час виконання яких студенти залучаються до дослідження як вчені, використовуючи підхід, який зазвичай може вимагати наявності інструкцій, щоб полегшити прогрес у навчанні. Як це працює? Симуляції розроблені так, щоб заохотити студентів навчатися продуктивно, використовуючи приховані (на відміну від явних) інструкції - з вибором елементів керування, візуальні репрезентації та негайний зворотній зв'язок, що супроводжується наочними змінами під час проведення дослідження. Цей підхід дозволяє домашнім завданням бути менш директивними та використовувати для обдумування більш відкриті концептуальні запитання. Потрібно використовувати симуляції, які підтримують відкриття студентами причинно-наслідкових зв'язків і допомагають їм поєднувати кілька різних подань (репрезентацій). Потрібно мотивувати діяльність студентів через побудову зв'язків між тим, що вони вивчають та їх реальним життєвим досвідом, оточуючим світом.

Домашні завдання на основі комп'ютерних моделей можуть призначатись як частина підготовки до занять, які будуть проводитись згодом в аудиторії або для закріплення вивченого матеріалу з метою більш глибокого вивчення теми заняття. Зазвичай дизайн симуляцій дозволяє студентам брати участь у дослідженні, навіть без присутності інструктора, який би керував ними.

Комп'ютерні симуляції можуть бути використані в лабораторних умовах як самостійно, так і в парі з експериментом [6]. Студенти можуть проводити вимірювання безпосередньо під час моделювання. Або студентів, які проводять вимірювання за допомогою реального обладнання, можна попросити дослідити те саме явище під час моделювання (з вимірами чи без них). Завдяки такому підходу студенти можуть провести порівняння між реальним світом та моделюванням. Симуляції можна використовувати як передлабораторну підготовку, щоб допомогти студентам ознайомитися з досліджуванним явищем, обладнанням і приладами.

Більшість сайтів, які пропонують перегляд симуляцій навчального експерименту в інтернеті, пропонується іноземними мовами, вони є платними і часто не адаптованими до шкільного курсу фізики, не враховують методичні аспекти їх застосування. Серед наявних сайтів вирізняється інтерактивний сайт «Інтерактивні симуляції» Phet (Physics Education Technology <http://phet.colorado.edu/>) створений в 2004 році науковцями Університету Колорадо (США), який фінансово і організаційно підтримується Національним Науковим Фондом (США), департаментами освіти штатів, Microsoft Research та іншими науковими та дослідницькими установами, приватними спонсорами та організаціями. На сайті міститься багато різного рівня симуляцій з фізики, хімії, біології, математики та інших природничих наук. На сайті містяться загальні методичні настанови та методичні рекомендації щодо використання кожної моделі. Сайт перекладено на 68 мов світу.

Комп'ютерні симуляції не можуть повністю замінити експерименти з реальними приладами, вони можуть бути використані як ефективне доповнення до реальних демонстраційних експериментів та студентських дослідницьких робіт. Комп'ютерні симуляції сприяють формуванню пізнавальних здібностей, дослідницьких умінь, кращому розумінню фізичних процесів, посиленню міжпредметних зв'язків та формуванню ключових компетентностей, а саме: математичної; інформаційно-комунікаційної; компетентності у галузі природничих наук, техніки і технологій. Інтерактивні комп'ютерні моделі роблять процес навчання більш насиченим, цікавішим та різноманітнішим. Використання комп'ютерних симуляцій дозволяє студентам бути безпосередніми активними учасниками експерименту та дотримуватися індивідуальної навчальної траєкторії [7]. Можливості використання комп'ютерних моделювань, зокрема Phet-симуляцій, на заняттях дисциплін природничо-математичного циклу, ще не повною мірою досліджені, тому перспективи нашої подальшої роботи вбачаємо у дослідженні використання динамічних моделей в домашніх завданнях, на лабораторних роботах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. PhET interactive simulations. PhET. URL: <https://phet.colorado.edu/uk/teaching-resources> (date of access: 26.05.2025).
2. PhET Interactive Simulations: Transformative Tools for Teaching Chemistry. Emily B. Moore, Julia M. Chamberlain, Robert Parson and Katherine K. Perkins. *Chem. Educ.* 2014, 91, 8, 1191–1197 Publication Date: July 2, 2014.
3. Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment? Catherine Crouch *American Journal of Physics* 72, 835 (2004); <https://doi.org/10.1119/1.1707018>
4. Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. David R. Sokoloff and Ronald K. Thornton. *AIP Conference Proceedings* 399, 1061 (1997); <https://doi.org/10.1063/1.53109>.
5. Why may students fail to learn from demonstrations? A social practice perspective on learning in physics. Wolff-Michael Roth, Campbell J. McRobbie, Keith B. Lucas, Sylvie Boutonné. First published: 07 December 1998 [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199705\)34:5<509::AID-TEA6>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199705)34:5<509::AID-TEA6>3.0.CO;2-U)
6. When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. N. D. Finkelstein, W. K. Adams, C. J. Keller, P. B. Kohl, K. K. Perkins, N. S. Podolefsky, S. Reid, and R. LeMaster. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 1, 010103 – Published 6 October 2005.
7. Слободяник О.В. Використання комп'ютерних моделей під час індивідуальної роботи учнів з фізики. Фізико-математична освіта. 2019. Випуск 4(22). С. 116

Поліщук Людмила Іванівна – спеціаліст вищої категорії, викладач методист, голова циклової комісії фізики та професійно-орієнтованих технічних дисциплін, Вінницький технічний фаховий коледж, м. Вінниця, polden1973@gmail.com.

Поліщук Микола Іванович – спеціаліст вищої категорії, викладач методист, заступник директора з навчальної роботи, Вінницький технічний фаховий коледж, м. Вінниця, polmi72@gmail.com

USE OF COMPUTER SIMULATIONS IN TEACHING PHYSICS

Abstract

This article explores the relevance of using computer simulations in physics education as a means to increase student engagement and enhance the effectiveness of the learning process. The authors substantiate the advantages of simulations as interactive animated environments that visualize complex physical phenomena, make the invisible visible (atoms, electrons), and foster the development of research skills.

The paper presents the possibilities of applying computer simulations at various stages of learning: as lecture demonstrations, an element of homework assignments (encouraging independent research with minimal rigid instructions), and in laboratory work (both independently and in conjunction with real experiments). Special attention is given to the interactive website PhET (Physics Education Technology), which offers a wide range of free simulations in various natural sciences, adapted for educational purposes and translated into multiple languages.

It is concluded that computer simulations are an effective complement to traditional methods, contributing to the formation of cognitive abilities, research skills, a better understanding of physical processes, and the development of key competencies (mathematical, information and communication, natural science). The article emphasizes that simulations allow students to be active participants in experiments and follow an individual learning trajectory, opening up prospects for further research into their use.

Keywords: Computer simulations, Physics education, Interactive learning, Educational modeling, Laboratory work, PhET, Research skills, Cognitive abilities, Natural sciences

Polischuk Liudmyla Ivanivna – specialist of the highest category, teacher methodologist, chairman of the cycle commission of physics and professionally oriented technical disciplines, Vinnytsia Technical Vocational College, Vinnytsia, polden1973@gmail.com.

Polischuk Mykola Ivanovych – specialist of the highest category, teacher, methodologist, Deputy Director for Academic Affairs, Vinnytsia Technical Vocational College, Vinnytsia, polmi72@gmail.com/

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ОСВІТНЬО-ВИХОВНОГО СЕРЕДОВИЩА ЗВО ЗАСОБАМИ АКТИВІЗАЦІЇ СПОРТИВНО- МАСОВОЇ РОБОТИ

Вінницький національний технічний університет¹

Анотація. У доповіді досліджена роль спортивно-масової роботи (СМР) як ключового засобу створення освітньо-виховного середовища в університетах. Представлено аналіз сучасних тенденцій і підходів до організації СМР, зокрема організації спортивних заходів, створення студентських клубів та популяризації фізичної активності серед молоді. Особливу увагу приділено зарубіжному досвіду, включаючи використання інноваційних технологій, інклюзивність, соціальну інтеграцію та інші аспекти через масовий спорт.

Доповідь окреслює перспективи використання СМР як ефективного інструменту формування гармонійного розвитку особистості студентів.

Ключові слова: освітньо-виховний потенціал, масовий спорт, інноваційність, соціальність, технологічність, рекомендації та стратегії.

Спортивно-масова робота в університетах охоплює широкий спектр активності та діяльності, включаючи організацію спортивних змагань, секцій, фітнес-програм, оздоровчих заходів, а також підтримку студентських спортивних клубів. Ці заходи сприяють не лише фізичному розвитку студентів, але й формуванню їхніх моральних та соціальних цінностей, що можливо тільки за середовищного та комунікативного підходів [1].

Останнім часом викладачі та організатори особливу увагу приділяли інтеграції спортивної діяльності в систему виховання, формуючи в студентів почуття відповідальності, командної роботи та лідерських якостей. Крім того, створювалися спеціалізовані клуби, що залучали молодь до спорту незалежно від рівня фізичної підготовки. Об'єднуючи студентів, викладачів та адміністрацію навколо спільних цінностей, ця діяльність сприяла не лише фізичному розвитку, а й зміцненню інклюзії, корпоративної культури університетів [2].

Зрозуміло, що в новітні часи для відповідності СМР сучасним студентським запитам за зростання ролі кампусів як середовищ навчання, соціалізації, комунікації й дозвілля, а також для досягнення максимального ефекту потрібна максимальна інтеграція масового спорту в освітньо-виховний процес, створення сучасної інфраструктури, організація інноваційних заходів та використання цифрових технологій. Таким чином, спортивно-масова робота поступово стає не лише засобом фізичного розвитку, а й інструментом виховання гармонійної, соціально відповідальної особистості.

Останніми роками з'являються прогресивні дослідження з нейропсихологічних аспектів студентського саморозвитку, зокрема ролі та впливу колективних спортивних занять на навчальний процес загалом [3, 4, 5, 6].

Зарубіжні науковці більше зосереджені на масовому спорті (термін СМР не вживається) та середовищі кампусу, що розуміється ширше й універсальніше, ніж освітньо-виховне середовище університету. У кампусі існує своя окрема культура, в тому числі й спортивна, на яку викладачі й наставники мають незначний вплив [7].

Сучасна система освіти спрямована на формування гармонійно розвиненої особистості, здатної адаптуватися до умов динамічного суспільства, проявляти ініціативність та відповідальність. Університети сьогодні не лише надають знання, а й активно впливають на розвиток моральних цінностей, комунікативних і соціальних навичок. У цьому контексті спортивно-масова робота виступає важливим інструментом для створення комплексного освітньо-виховного середовища, що охоплює аспекти фізичного, соціального та емоційного розвитку студентів, що потребує для українських ЗВО примноження власних здобутків, запозичення досвіду та введення інновацій.

Виховний потенціал спортивно-масової роботи також є надзвичайно значущим. Через спорт університети мають можливість формувати у студентів такі цінності, як дисципліна, справедливість, толерантність і відповідальність. Особливу увагу слід приділяти інклюзивним заходам, які залучають

студентів із різними фізичними можливостями, а також популяризації екологічної свідомості, наприклад, через веломарафони або змагання з екологічним акцентом.

Зарубіжні дослідження показують, що масовий університетський спорт в його освітній та технологічній інтеграції має далекосяжні наслідки. Спортивні заходи в університетах сприяють розвитку соціальних зв'язків, що підвищує загальний рівень задоволення студентів від навчання й знижують ризик появи шкідливих звичок. Регулярна фізична активність позитивно впливає на когнітивні функції, сприяє зниженню рівня стресу і, як наслідок, підвищує академічну успішність. Також, зарубіжні науковці підкреслюють важливість впровадження сучасних технологій, таких як мобільні додатки, для стимулювання участі студентів у спортивній діяльності. [8, 9, 10].

Висновки. Активізація спортивно-масової роботи в університетах сприяє всебічному розвитку студентів, покращенню їхнього фізичного здоров'я та соціальної інтеграції. Запозичення найефективніших елементів зарубіжного досвіду активізації спортивно-масової роботи є важливим стратегічним кроком для українських університетів у створенні сучасного освітньо-виховного середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рудкевич, Н. І. (2020). Соціалізація особистості – середовищний підхід. *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*, (73), 168–172.
2. Кафтanova, Т. В., Опанчук, Д. Р., & Цимбалюк, Н. М. (2024). *Лекційний курс з дисципліни «Організація і проведення спортивно-масових заходів»*. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка.
3. Базильчук, В. (2022). Сучасний погляд на організацію у позааудиторний час фізкультурно-оздоровчих і спортивних заходів в освітньому середовищі університету. *Психолого-педагогічні проблеми сучасної школи*, (1 (7)), 31–38.
4. Довгань, Н. Ю. (2018). *Теоретичні і методичні основи виховання фізичної культури студентів вищих навчальних закладів у процесі позааудиторної спортивно-масової роботи* (Doctoral dissertation, Інститут проблем виховання).
5. Жила, Г. (2023). Вища освіта в умовах війни: виклики, проблеми, перспективи для студентів та науковців. *Молодь і ринок*, (2/210), 141–145. <https://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/29481>
6. Імас, С., & Андреева, О. (2022). Розвиток спортивної інфраструктури як чинник залучення різних груп населення до оздоровчо-рекреаційної рухової активності. *Теорія і методика фізичного виховання і спорту*, (4), 27–30. <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2022.4.27-30>
7. Shen, X., & Tian, X. (2012). Academic culture and campus culture of universities. *Higher Education Studies*, 2(2), 61–65. <https://doi.org/10.5539/hes.v2n2p61>
8. Cox, M. J., Stevens, A. K., Janssen, T., & Jackson, K. M. (2022). Event-level contextual predictors of high-intensity drinking events among young adults. *Drug and Alcohol Dependence*, 239, 109590. <https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2022.109590>
9. Jude, U. E. (2024). The relationship between school sports participation and academic performance: A comprehensive review. *MANAGEMENT (NIJCIAM)*, 4(1). <https://doi.org/10.59298/NIJCIAM/2024/4.1.192413>
10. Mahmood, Z., Bibi, N., Usman, M., et al. (2019). Mobile cloud-based framework for sports applications. *Multidimensional Systems and Signal Processing*, 30, 1991–2019. <https://doi.org/10.1007/s11045-019-00639-6>

Овчарук Василь Володимирович — кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри фізичного виховання Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: vvovcharuk@gmail.com

FEATURES OF CREATING AN EDUCATIONAL AND EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF UNIVERSITIES BY WAYS OF ACTIVATING SPORTS AND MASS WORK

Abstract. *The report explores the role of mass sports work (MSW) as a key tool for creating an educational environment in universities. It presents an analysis of current trends and approaches to organizing MSW, including organizing sports events, creating student clubs, and promoting physical activity among young people. Special attention is paid to foreign experience, including the use of innovative technologies, inclusiveness, social integration and other aspects through mass sports.*

The report outlines the prospects for using SMR as an effective tool for forming the harmonious development of students' personalities.

Keywords: educational potential, mass sports, innovation, sociality, technologicality, recommendations and strategies.

Ovcharuk Vasyl Volodymyrovych. — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical Education, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vvovcharuk@gmail.com

ЦІННОСТІ ФІЗИЧНОГО САМОВДОСКОНАЛЕННЯ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ В ОСВІТНІЙ ІННОВАТИЦІ УКРАЇНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація.

У доповіді здійснюється комплексний аналіз цінностей фізичного самовдосконалення в освітній інноватиці України. Досліджується еволюція уявлень про фізичний розвиток та здоровий спосіб життя в освітній системі, а також їх трансформація під впливом нових освітніх тенденцій та технологій. Особливу увагу приділяється змінам у ставленні до фізичного самовдосконалення серед здобувачів вищої освіти, ролі викладачів у формуванні цих цінностей, а також впливу міжнародного досвіду на українську освітню практику.

Ключові слова: студентство, поведінкова модель, традиція, соціокультурне середовище, технології, осмислення самовдосконалення.

Доповідь аналізує сучасні підходи до інтеграції фізичної активності в освітній процес, досліджує ключові чинники, що сприяють популяризації фізичного самовдосконалення серед молоді, та визначає можливі напрями вдосконалення цієї сфери в умовах глобалізації та цифровізації освіти. Підкреслюється значущість фізичного самовдосконалення як невід'ємної частини всебічного розвитку особистості, що сприяє підвищенню якості життя, соціальної активності та конкурентоспроможності випускників закладів вищої освіти України у глобальному середовищі.

Останнім часом українські науковці стали приділяти значну увагу інноваційним методам та підходам до фізичного виховання у ЗВО [1, 2]. Проте аксіологія фізичного та тілесного самовдосконалення ще не переосмислена в цьому контексті й потребує наукових рефлексій.

Таблиця 1 Новітні цінності фізичного самовдосконалення молоді

Цінності ФС в рамках освітньої комунікації та взаємодії	Цінності ФС в рамках соціокультурної молодіжної комунікації та взаємодії
Бути фізично досконалим цінно, тому що це: відповідає очікуванням оточення (в тому числі викладацького); є компонентом загальноприйнятої системи цінностей; сприяє самоповазі й самоідентичності; допомагає здобувати фах; сприяє комунікації в групі; підіймає престиж студента; зберігає здоров'я; естетично й красиво; зміцнює характер (особливо в хлопців); сприяє життєвому успіху; дозволяє стати лідером студентського колективу; сприяє спортивним досягненням (акмеологія).	Бути фізично й тілесно досконалим цінно, тому що це: привабливо (естетично), мужньо (хлопці), жіночно (дівчата); модно (бути гарним, розвиненим і здоровим); сприяє інтракультурній молодіжній інтеграції та самоідентичності (тусовки, субкультури, клуби) сексуально і сприяє спілкуванню з протилежною статтю сприяє як ідентичності, так і самості, виокремленню з «сірої маси», вирізненню (дистинктивна аксіологема) креативно (тіло як об'єкт творення, боді-арту, бодібілдингу тощо) технологічно (існують фізкультурні, біохімічні, хірургічні, фен-, спа- та інші технології вдосконалення тіла).

Беручи до уваги вищенаведені дискусії та новітній дискурс вітчизняних науковців [3, 4, 5, 6], а також власні спостереження, можемо дихотомічно представити аксіологію самовдосконалення фізичного розвитку студентської молоді в контексті сучасних освітніх інновацій (табл. 1.), зазначивши, що менеджери й викладачі ЗВО мають враховувати при плануванні змісту освіти й доборі методичного інструментарію обидві групи цінностей.

Висновок. Використавши досвід проведеного нами ревію та відповідних узагальнень можемо виокремити як мінімум три взаємопов'язані, але й гомологічні рівні. Оскільки новітні цінності й мотиви фізичного самовдосконалення – багатовимірна й різнорівнева площина, то вважаємо, що ці рівні представляють поведінкову, діяльнісну та власне методичну площини і містять, на нашу думку по чотири поступові компоненти (табл. 2.)

Таблиця 2

Мотиваційно-ціннісні рівні та компоненти фізичного самовдосконалення студентів

Компонент → Рівень ↓	Рушій →	Процес →	Системність →	Результат
ДІЯЛЬНІСНИЙ	Воля	Здоровий спосіб життя	Життєва практика	Життєвий успіх
ПОВЕДІНКОВИЙ	Потреба	Природо-відповідна активність	Фізкультурна діяльність	Задоволеність
МЕТОДИЧНИЙ	Рефлексія	Самоконтроль	Самовиховання	Самовдосконалення

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ваколюк А., Шелюк В., Симонович Н. (2021). Інноваційні технології у системі фізичного виховання здобувачів вищої освіти. *Іноватика у вихованні*. 14. С. 128–134. URL: <https://doi.org/10.35619/iuu.v1i14.431>
2. Школа О., Шкаленко Д. (2022). Інноваційні технології фізичного виховання у закладах вищої освіти. *Актуальні проблеми в системі освіти: загальноосвітній заклад середньої освіти – доуніверситетська підготовка – заклад вищої освіти*. № 2. С. 899–902. URL: <https://doi.org/10.18372/2786-5487.1.16686>
3. Дубогай, О. Д., Мозолєв, О. М., & Сичов, С. О. (2023). Фізичне самовдосконалення студентів педагогічних спеціальностей в умовах закладу вищої освіти. С. 242 – 244. *Актуальні проблеми розвитку освіти в сфері туризму, фізичної культури та спорту: матеріали VI Всеукраїнської наук.-практ. конф. (Хмельницький, 21-22 березня 2023 р.)* – Хмельницький: ХГПА., 250 с.
4. Овчарук В. В., Максимчук Б. А., Рошін І. Г., Головченко О. І., & Кметюк Д. І. (2024). Генеза наукових підходів до фізичного самовдосконалення особистості в історії психолого-педагогічної думки та поза нею. *Педагогічна Академія: наукові записки*, (8). <https://doi.org/10.5281/zenodo.12760575>
5. Шляхова О. (2020). Аксіологія повсякдення в епоху глобалізації. *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Серія: Філософія*, 33-38. https://www.oa.edu.ua/doc/dis/shlyahova_avto1.pdf
6. Шоробура І.М. (2023). Фізичне самовдосконалення студентів педагогічних спеціальностей в умовах закладу вищої освіти. *Актуальні проблеми розвитку освіти в сфері туризму, фізичної культури та спорту*. Хмельницький. ХГПА., С. 242-245. <https://46.63.9.20:88/jspui/handle/123456789/797>

Овчарук Василь Володимирович — кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри фізичного виховання Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: vvovcharuk@gmail.com

Овчарук Віра Григорівна — старший викладач кафедри фізичного виховання, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ovcharukvira@gmail.com

VALUES OF PHYSICAL SELF-IMPROVEMENT OF HIGHER EDUCATION STUDENTS IN EDUCATIONAL INNO- VATION IN UKRAINE

Abstract. *The report provides a comprehensive analysis of the values of physical self-improvement in educational innovation in Ukraine. It examines the evolution of ideas about physical development and a healthy lifestyle in the educational system, as well as their transformation under the influence of new educational trends and technologies. Special attention is paid to changes in attitudes towards physical self-improvement among higher education students, the role of teachers in the formation of these values, as well as the influence of international experience on Ukrainian educational practice.*

Keywords: student life, behavioral model, tradition, socio-cultural environment, technology, understanding of self-improvement.

Ovcharuk Vasyl Volodymyrovych. — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical Education, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vvovcharuk@gmail.com

Ovcharuk Vira Grygorivna — senior lecturer at the Department of Physical Education, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ovcharukvira@gmail.com.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ВИХОВНОЇ РОБОТИ У ТЕХНІЧНИХ ЗВО ЗАСОБАМИ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ: НАЦІОНАЛЬНО-ПАТРІОТИЧНИЙ ВЕКТОР РОЗВИТКУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Стаття присвячена огляду проблем виховної роботи у технічних закладах вищої освіти засобами інноваційних технологій та впровадження національно-патріотичного виховання в освітній процес як необхідної складової виховної роботи. Описано Концепцію національно-патріотичного виховання студентської молоді у ВНТУ, наведено перелік виховних технологій які виявилися ефективними та використовувалися в освітньому процесі.

Ключові слова: виховна робота, національно-патріотичне виховання, інноваційні виховні технології, Концепція національно-патріотичного виховання, інноваційні технології.

У сучасних умовах трансформації, що відбуваються в українському суспільстві, які обумовленні внутрішніми соціально політичними та психологічними процесами, так і зовнішніми викликами, зокрема воєнною агресією проти України, особливої актуальності набуває проблема виховання молоді. Тому, заклади вищої освіти, як осередки соціалізації молоді, мають забезпечувати не лише фахову підготовку, а бути спрямованими на національно-патріотичне виховання, формувати у майбутніх фахівців морально-ціннісні орієнтації, громадянську свідомість тощо.

Виховна робота у технічних ЗВО є системним та цілеспрямованим процесом, проблеми якого розглядаються у наукових доробках багатьох зарубіжних та вітчизняних дослідників (Р. Абдулов, І. Бех, Л. Белова, З. Бондаренко, О. Войчун, Н. Волкова, В. Демчик, О. Дурманенко, І. Зязюн, О. Піскун, Г. Сагач, М. Соловей, В. Тернопільська та ін).

Знані вітчизняні науковці І. Зязюн та Г. Сагач зазначають, що «виховання має підпорядковуватися законам розвитку особисті, оскільки саме воно є складовою розвитку» [1]. Завданням системи виховної роботи закладу вищої освіти полягає у створенні різноманітних соціокультурних середовищ, у яких особистість розвивається і набуває соціального досвіду, отримує допомогу в соціальній самоідентифікації та самореалізації природних задатків [2]. Але, коли йдеться про розвиток молоді, яка ступає на шлях опанування професії та самостійного життя, необхідне впровадження таких виховних технологій, які б спонукали до подальшого зростання та вдосконалення.

В умовах повномасштабної війни та постійних стресів, виховна діяльність у закладах вищої освіти має здійснюватися з урахуванням низки таких аспектів як: організація національно-патріотичних заходів (дні пам'яті, конференції, тематичні концерти, патріотичні акції тощо); зустрічі з військовослужбовцями, волонтерами, представниками громадських організацій; інтеграція змісту патріотичного спрямування у навчальні дисципліни; участь у культурно-мистецьких подіях, спрямованих на популяризацію української культури та історичної пам'яті. Тобто, виховна робота тісно пов'язана із національно-патріотичним вихованням і являється одним із її важливих компонентів. Проблему інтеграції національно-патріотичного виховання у виховну роботу освітнього закладу у своїх роботах розкривали такі вітчизняні науковці як В. Вишківська, Л. Вовк, О. Падалка, Г. Панченко, І. Піонтківська, Т. Коломієць, В. Тернопільська та ін.

Низка вітчизняних науковців зазначають, що «національно-патріотичне виховання – це діяльність, спрямована на формування національної свідомості особистості, яка проявляється

через емоційно-ціннісне ставлення до історичного минулого власного народу. У процесі організації життєдіяльності студентів у культурно-освітньому виховному просторі сучасного вищого навчального закладу складається система цілей, які орієнтують педагогічний персонал на розвиток студента як високоморальної, інтелігентної, конкурентоспроможної особистості культурної людини» [3], тобто, вірний вибір виховних технологій сприятиме формуванню особистості та її розвитку.

Складним і суперечливим залишається питання використання таких виховних технологій в освітньому процесі вищої школи, що могли б зацікавити студентів. У педагогіці серед ефективних інноваційних виховних технологій виокремлюють такі як проєктні технології (індивідуальні та групові проєкти з актуальної проблеми); технології критичного мислення (аналіз медіа, дискусії, дебати, етичні дилеми тощо); коучинг і фасилітація (взаємодія суб'єктів освітнього процесу через запитання, підтримку, виявлення внутрішньої мотивації); інтерактивні технології (активна діяльність суб'єктів освітнього процесу, робота в малих групах, рольові ігри, моделювання ситуацій, лекції-екскурсії); ігрові технології (використання елементів гейміфікації, квестів, тренінгових ігор); медіаосвітні технології (створення відео, подкастів, соціальних проєктів тощо); технології соціального проєктування (волонтерство, благодійність, екологічні ініціативи тощо); кейс-технології (аналіз реальних або змодельованих технологій).

У Вінницькому національному технічному університеті процес національно-патріотичного виховання орієнтується на Концепцію національно-патріотичного виховання студентської молоді у ВНТУ, яка спрямована на те, що національно-патріотичне виховання не повинно бути основою формування ідей культурного імперіалізму, тобто способу споглядання світу лише очима власної культури. Концепція спрямована на об'єднання різних народів, національних, етнічних та релігійних груп, які проживають на території України, довкола ідеї української державності, українського громадянства, що виступають загальними надбаннями, забезпечують їхній всебічний соціальний та культурний розвиток. Метою національно-патріотичного виховання студентської молоді у ВНТУ є становлення самодостатнього громадянина-патріота України, гуманіста і демократа, готового до виконання громадянських і конституційних обов'язків, до успадкування духовних і культурних надбань українського народу, досягнення високої культури взаємин, формування активної громадянської позиції, утвердження національної ідентичності громадян на основі духовно-моральних цінностей Українського народу, національної самобутності.

Серед ефективних заходів, спрямованих на національно-патріотичне виховання та таких, що зацікавили студентів були: зустрічі і прес-конференції із творчими людьми під час проєкту «Рай, перетворений на пекло. Stop ecocide Ukraine» (організований волонтерами та художниками, присвячений екоциду війни); фотовиставки «Харків. Пісня славетного міста»; творчі зустрічі із письменниками, музикантами, художниками; майстер-класи з декоративно-ужиткового мистецтва; зустріч із представниками Центру військово-музичного мистецтва Повітряних сил ЗСУ та патріотичний концерт; низка інтерактивних заходів «Украдене мистецтво», інтерактивні лекції-екскурсії і віртуальні подорожі; художньо-навчальні екскурсії по навчально-художніх лабораторіях Культурно-мистецького та просвітницького центру ВНТУ; інтерактивний творчо-дослідницький проєкт спрямований на розвиток національної ідентифікації «Етнопсихологія»; генерування візуальних матеріалів у національно-патріотичній тематиці тощо.

Отож, ефективна виховна робота у технічних ЗВО, зокрема її національно-патріотичний компонент, є необхідною умовою формування нації, здатної до самоорганізації, самозахисту та сталого розвитку. Вона не лише підтримує духовну єдність суспільства, а й мобілізує студентську молодь на активну участь у державотворчих процесах. Інноваційні виховні технології є інструментом оновлення змісту, форм і методів виховання у технічних закладах вищої освіти, що здатні забезпечити ефективну реалізацію цілей національно-патріотичного виховання. Такі заходи сприяють становленню активної, свідомої особистості, з хистом до участі у розбудові демократичного суспільства. Виховній роботі у вищій школі необхідне впровадження заходів, які будуть робити цей процес живим, емоційним, діалогічними та які будуть направлені на залучення студентів до формування таких необхідних для молодих фахівців софт скілз (soft skills); підвищувати мотивацію до навчання та виховної роботи; стимулювати саморозвиток, рефлексію, емоційний інтелект, креативне мислення; формувати навички командної роботи, лідерства, відповідального громадянина тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зязюн І.А., Сагач Г.М. Краса педагогічної дії: навчальний посібник для вчителів, аспірантів, студентів середніх та вищих навчальних закладів. - К.: Українськофінський інститут менеджменту і бізнесу, 1997. - 302 с
2. Демчик В., Соловей М. Система виховної роботи у вищому навчальному закладі як фактор цілісного виховання особистості // Рідна школа. - 2004. - № 8. - С. 33-37.
3. Тернопільська В.І. Т 35 Довідник з виховної роботи зі студентами / В.І. Тернопільська, Т.В. Коломієць, І.О. Піонтківська. — Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2014. — 264 с.

Буренніков Юрій Юрійович - проректор з науково-педагогічної роботи, міжнародного співробітництва та молодіжної політики, кандидат економічних наук, доцент. e-mail: burennikov@vntu.edu.ua

Гречановська Олена Володимирівна – доктор педагогічних наук, професор кафедри філософії та гуманітарних наук, директор Культурно-мистецького та просвітницького центру ВНТУ. e-mail: hrechanovskae@gmail.com

MODERNIZATION OF EDUCATIONAL WORK IN TECHNICAL INSTITUTIONS OF HIGHER EDUCATION USING INNOVATIVE TECHNOLOGIES: NATIONAL-PATRIOTIC VECTOR OF DEVELOPMENT

Abstract

The article is devoted to a review of the problems of educational work in technical institutions of higher education using innovative technologies and the introduction of national-patriotic education into the educational process as a necessary component of educational work. The Concept of National-Patriotic Education of Student Youth at VNTU is described, a list of educational technologies that have proven to be effective and have been used in the educational process is given.

Keywords: educational work, national-patriotic education, innovative educational technologies, Concept of National-Patriotic Education, innovative technologies.

Yuriy Burennikov - Vice-rector for scientific and pedagogical work, international cooperation and youth policy, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor. e-mail: burennikov@vntu.edu.ua

Hrechanovska Olena - Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Philosophy and Humanities of Vinnytsia National Technical University (Vinnytsia, Ukraine), Director of the Cultural, Artistic and Educational Center of VNTU. e-mail: hrechanovskae@gmail.com

DEVELOPMENT OF A SCREW EXTRUDER FOR A 3D PRINTER TO PROCESS COMPOSITE MIXTURES INTO FINISHED PRODUCTS

¹Khmelnytskyi National University, Ukraine

²Silesian University of Technology, Poland

Abstract.

The report presents the development and implementation of a screw extruder for FDM 3D printing, which significantly improves the processing of fiber-reinforced composite materials.

Keywords: 3D printing, 3D printer, screw extruder, filament, composite mixture, polymer matrix.

3D printing technology using fused deposition modeling (FDM) is one of the most widely used additive technologies. It is based on feeding a polymer filament into an extruder, where the material is heated to a melting state and applied layer by layer through a nozzle to form a product. Standard 3D printers are usually equipped with a filament feed mechanism that ensures a stable supply of material, an extruder with a heating element for melting the polymer, a forming nozzle, a printing platform that allows you to create three-dimensional objects, as well as a control system that coordinates the movement of the print head and the supply of material. However, the use of standard 3D printers for processing composite materials that contain various reinforcing fibers has significant limitations. This is due to the fact that traditional feed systems often do not provide a uniform material flow due to the accumulation of fibers, there are problems with nozzle clogging due to the heterogeneous structure of composites, insufficient mixing of the components of the composite mixture and accelerated wear of extruder parts due to the abrasive action of the fibers.

Composite materials, which consist of a polymer matrix (e.g. ABS, PLA or PETG), reinforced with various types of fibers (natural fibers, carbon fibers or glass fibers), provide significant advantages, such as improved mechanical strength, increased thermal resistance, reduced product weight, as well as better performance characteristics [1–3]. To effectively work with such composites, it was necessary to improve the design of the extruder by introducing a screw feed system (screw extruder). The screw extruder allows for uniform and high-quality mixing of components, stabilizes the material supply, effectively controls the pressure in the extrusion zone, which significantly reduces the likelihood of lumps and nozzle clogging, improves the stability of the printing process and the quality of finished products. The proposed new extruder design was successfully implemented on the Anycubic Mega S 3D printer, which allows this device to be effectively used for working with composite materials (Fig.1).

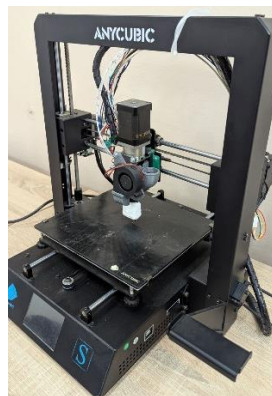


Fig.1-Anycubic Mega S 3D printer equipped with a screw extruder for printing composite mixtures

As a result of the introduction of the screw extruder, the quality and stability of printing with composite mixtures is significantly improved, which opens up additional prospects for research and applications in various industries.

The general view of the developed screw extruder is shown in Fig.2.



Fig.2-General view of the developed screw extruder

The integration of a screw extruder into the design of a 3D printer significantly increases the efficiency of the printing process with composite materials, by ensuring a uniform and continuous supply of material, stabilizing extrusion parameters, and reducing the risk of clogging in the nozzle area. Such modernization allows to reduce material losses, improve the surface quality of products and achieve greater repeatability of printing results. In addition, the obtained samples are characterized by greater structural uniformity, which creates favorable conditions for further experimental studies to determine their mechanical properties, in particular, the strength limit, stiffness, wear resistance and behavior under operational loads.

LITERATURE

1. O.S. Polishchuk, A.O. Polishchuk, M.M. Rubanka. Prospects for creating composite mixtures based on synthetic polymers reinforced with fibers of natural origin. "Mechatronic systems: innovations and engineering". November 23, 2023, Kyiv National University of Technologies and Design.

2. O. Polishchuk, A. Polishchuk, A. Tolstiuk. Use of chopper wood waste as a filler of a composite mixture for 3D printing. Technical creativity. Collection of scientific works. Khmelnytskyi. No. 7, 2024.

3. Polishchuk O., Polishchuk A., Bonek M., Musial Ja., Tolstyuk A. Justification of the product manufacturing method with composite mixtures based on thermoplastic polymers and wood waste. Actual problems of modern science. Monograph: edited by Matiukh S., Musial J., Polishchuk O., Macko M. 2024, Bydgoszcz, Poland.

Polishchuk Oleh – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Engineering, Transport and Architecture of Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, e-mail: opolishchuk71@gmail.com

Polishchuk Andrii – Doctor of Philosophy, Associate Professor of the Department of Machines and Apparatus, Electromechanical and Energy Systems of Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, e-mail: andrepol215@gmail.com

Bonek Miroslaw – dr hab. eng., professor, Vice-Dean for Student's Affair and Education of Silesian University of Technology, Gliwice, Poland e-mail: miroslaw.bonek@polsl.pl

Tolstyuk Artem – Postgraduate Student of the Department of Machines and Apparatus, Electromechanical and Energy Systems of Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, e-mail: Tvenergetik@gmail.com

РОЗРОБКА ШНЕКОВОГО ЕКСТРУДЕРА ДЛЯ 3D-ПРИНТЕРА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ КОМПОЗИТНИХ СУМШЕЙ У ГОТОВІ ВИРОБИ

Анотація.

У доповіді представлено розробку та впровадження шнекового екструдера для 3D-друку FDM, який значно покращує обробку композитних матеріалів, армованих волокнами.

Ключові слова: 3D-друк, 3D-принтер, шнековий екструдер, філамент, композитна суміш, полімерна матриця

Поліщук Олег – доктор технічних наук, професор, декан факультету інженерії, транспорту та архітектури Хмельницького національного університету, Хмельницький, e-mail: opolishchuk71@gmail.com

Поліщук Андрій – доктор філософії, доцент кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету, Хмельницький, e-mail: andrepol215@gmail.com

Бонек Мирослав – доктор технічних наук професор, заступник декана механічного факультету Сілезького технологічного університету, Глівіце, Польща, e-mail: miroslaw.bonek@polsl.pl

Толстюк Артем – аспірант кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету, Хмельницький, e-mail: Tvenergetik@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ CALS ТЕХНОЛОГІЙ НА ПП «ВІННИЦЬКА ОВОЧЕВА КОМПАНІЯ»

Приватне підприємство «Вінницька овочева компанія»

Анотація.

Розглядаються питання використання CALS-технологій на підприємстві. Модулі систем в рамках одного підприємства дозволяють здійснювати керування проектом, інженерні розрахунки, аналіз, моделювання та оптимізацію проектних рішень, дво- і тривимірне проектування деталей і складальних одиниць, розробку технологічних процесів, синтез керуючих програм для технологічного обладнання з ЧПК, моделювання процесів обробки, зокрема побудову траєкторій відносного руху інструмента та заготовки в процесі обробки, розрахунок норм часу обробки.

Ключові слова: CALS-технології, виріб, життєвий цикл, промисловість

У сучасних економічних умовах ключовим фактором високої продуктивності роботи машинобудівних підприємств є максимально можливе скорочення термінів проектування та освоєння нової продукції. Один з найбільш вірогідних шляхів вирішення цієї проблеми — це використання інформаційних технологій підтримки життєвого циклу продукції, що випускається (CALS- або PLM-технологій).

CALS-технологія — це технологія комплексної комп'ютеризації сфер промислового виробництва, мета якої — уніфікація і стандартизація специфікацій промислової продукції на всіх етапах її життєвого циклу, завдяки чому є єдиним інформаційним простором при виробництві продукції.

Застосування CALS-технологій дозволяє суттєво скоротити обсяги проектних робіт, оскільки описи багатьох складових частин обладнання, машин і систем, які раніше проектувалися, зберігаються в уніфікованих форматах даних мережесерверів, доступних будь-якому користувачеві технологій CALS. Істотно полегшується вирішення проблем ремонтпридатності, інтеграції продукції до різного роду системи та середовища, адаптації до змінних умов експлуатації, спеціалізації проектних організацій тощо.

CALS-технології передбачають використання різних CAD/CAM/CAE/PDM-систем (Рис. 1). Окремі модулі цих систем в рамках одного підприємства дозволяють здійснювати керування проектом (PDM-системи), інженерні розрахунки, аналіз, моделювання та оптимізацію проектних рішень (CAE-системи), дво- і тривимірне проектування деталей і складальних одиниць (CAD-системи), розробку технологічних процесів, синтез керуючих програм для технологічного обладнання з ЧПК, моделювання процесів обробки, у тому числі побудову траєкторій відносного руху інструменту та заготовки в процесі обробки, розрахунок норм часу обробки (CAM-системи).

Основні принципи CALS.

- інформаційна підтримка всіх етапів життєвого циклу виробництва (ЖЦВ);
 - єдність та однозначність представлення та інтерпретації даних в процесах інформаційного обміну між автоматизованими системами (АС) і їх підсистемами, що обумовлює розробку онтологій додатків і відповідних мов представлення даних;
 - доступність інформації для всіх учасників ЖЦВ в будь-який час і в будь-якому місці, що обумовлює застосування сучасних телекомунікаційних технологій;
 - уніфікація і стандартизація засобів взаємодії АС і їх підсистем;
- підтримка процедур суміщеного (паралельного) проектування виробів.

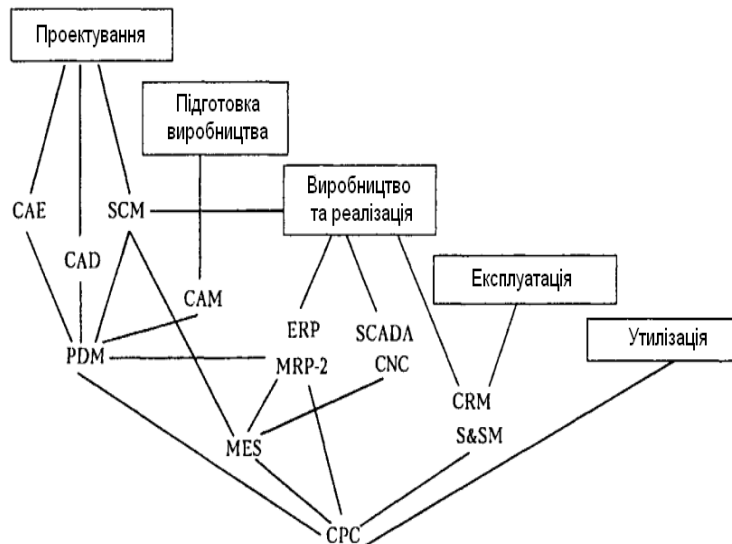


Рисунок 1 – Структурна схема роботи CALS-технології

CALS-технологія на Приватному підприємстві «Вінницька овочева компанія» дозволяє досягнути скорочення обсягів проектних робіт, істотно полегшити вирішення проблем ремонтпридатності, інтеграції продукції в різного роду системи і середовища, адаптації до мінливих умов експлуатації, підвищення ефективності автоматизації.

Лавренко Руслан Олександрович, директор ПП «Вінницька овочева компанія», ppvok@ukr.net

Булига Юрій Володимирович, к.т.н, начальник проектно-технологічного бюро, ПП «Вінницька овочева компанія», ppvok@ukr.net

USE OF CALS TECHNOLOGIES AT PE “VINNYTSKA VEGETABLE COMPANY”

Abstract.

The issues of using CALS technologies at the enterprise are considered. System modules within the framework of one enterprise allow for project management, engineering calculations, analysis, modeling and optimization of design solutions, two- and three-dimensional design of parts and assembly units, development of technological processes, synthesis of control programs for CNC technological equipment, modeling of machining processes, in particular, construction of trajectories of relative movement of the tool and workpiece during machining, calculation of machining time standards.

Keywords: CALS technologies, product, life cycle, industry

Lavrenko Ruslan Oleksandrovych, Director of Private Enterprise “Vinnytsia Vegetable Company”, ppvok@ukr.net

Bulyga Yuriy Volodymyrovych, Ph.D., Head of the Design and Technological Bureau, Private Enterprise “Vinnytsia Vegetable Company”, ppvok@ukr.net

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИКЛАДАННЯ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ В УМОВАХ СКОРОЧЕННЯ АУДИТОРНИХ ГОДИН

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглядається підхід до оптимізації навчання вищої математики студентів технічного закладу в межах існуючих навчальних програм за розділами в умовах значного скорочення аудиторних годин. Пропонується, на основі виданих навчальних посібників та методичних рекомендацій, що розміщені у системі Jetig ВНТУ, викладання розділів вищої математики у вигляді опорних конспектів та «довідників» - як зручних допоміжних матеріалів в опануванні тем студентами.

Ключові слова: вища математика, технічний заклад освіти, оптимізація навчального процесу, скорочення аудиторних годин.

За нашими дослідженнями в умовах сучасних реалій, за останні 4 роки відбувається тенденція зниження рівня математичної підготовки у школах. Наведемо приклад статистичного аналізу вступних років за загальним результатом нульової контрольної роботи по факультетам: 2015 рік (успішність 74%, якість 39%), 2023 рік (успішність 67%, якість 31%).

Навчання вищої математики в технічному закладі освіти суттєво відрізняється від інших ЗВО - в першу чергу, це врахування специфіки її розділів загального курсу саме для майбутніх інженерів відповідного фаху, де вища математика це інструмент для розв'язку технічних задач, а це є однією з важливих навчально-педагогічних умов викладання. Прийшов час використання ІКТ, штучного інтелекту для розв'язку будь-яких математичних задач, це стимулює науковців і викладачів досліджувати нові можливості їх ефективного впровадження в освітній процес, зокрема й вищої математики.

Суттєвий внесок в навчання у школах та вишах зробила пандемія 2019 року та війна, що триває досі. В сучасних умовах фундаментальну роль відіграли та відіграють видані навчальні посібники та методичні вказівки, що надали можливість ввести у викладання опорні конспекти з кожного розділу вищої математики, а розвиток ІКТ - можливість створення викладачем власного ІОС для організації більш якісного освітнього процесу викладання загального курсу вищої математики як в аудиторії так й дистанційно. Це гарантує використання опорного конспекту та сучасних технологій візуалізації під час лекцій офлайн та онлайн, а також гарантує ефективну організацію самостійної пізнавальної діяльності студентів [1].

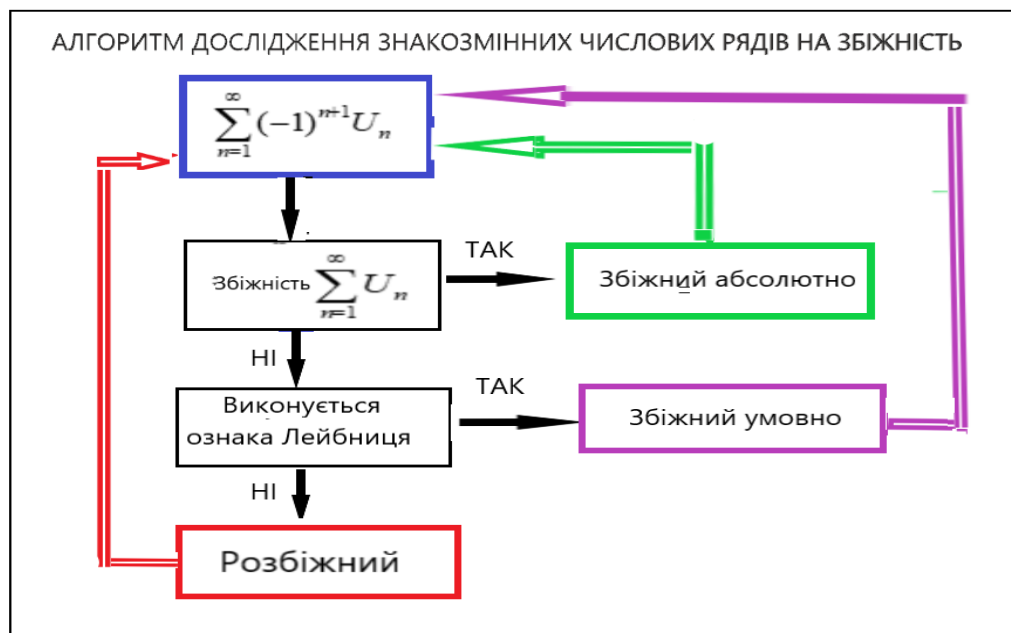
Вища математика це фундаментальна дисципліна – «інструмент» для студентів не тільки в опануванні спеціальних дисциплін, а й гарантія їх розвитку як фахівців з інженерною вищою освітою у майбутньому.

Вагомим додатком до опорного конспекту, як з'ясувалось за активним використанням студентами допоміжних матеріалів, стають запропоновані нами «довідники». Треба звернути увагу на те, що підручників з вищої математики для студентів технічних спеціальностей обмаль. Години лекцій та практичних занять зараз складають у семестрі 5 або 6 уроків на тиждень, а навчальний план з розділів залишився в тому ж теоретичному обсязі. Самостійна робота, особливо для першокурсників, без досвіду її організації та темпах викладання, що в рази відрізняється від шкільних, дуже важка справа. В цьому випадку нами створено та запропоновано з кожного розділу «довідники» які розташовані в навігаторі системи Jetig ВНТУ та мають вигляд алгоритму або таблиці з теоретичного матеріалу, що вивчається. Наведемо приклад запропонованих нами довідників з розділу «Ряди», теми «Числові ряди».

Використання таких «довідників» значно полегшує студентам знаходження необхідних правил розв'язку задач дослідження рядів на збіжність.

Довідник (ознаки збіжності числових рядів)

№	Загальний вигляд ряду	Ознака	Висновок
1	$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{P_N}{Q_M}; N = M$	Необхідна $\lim_{n \rightarrow \infty} U_n \neq 0$.	розбіжний
2	$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{P_N}{Q_M} = \sum_{n=1}^{\infty} U_n; N \neq M$	<u>Порівняння з рядом</u> $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^\alpha} = \sum_{n=1}^{\infty} V_n$ 1). $\alpha > 1$ - ряд збіжний; 2). $\alpha \leq 1$ - ряд розбіжний	$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{U_n}{V_n} = k$ Обидва збіжні або розбіжні $k \in (0; +\infty)$
3	$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{P_N}{Q_M} = \sum_{n=1}^{\infty} U_n;$ Якщо є вираз із «!» - факторіалом та многочленами степені «N;M»	<u>Даламбера</u> $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{U_{n+1}}{U_n} = q$	$q \rightarrow \begin{cases} < 1 - \text{збіжний} \\ > 1 - \text{розбіжний} \\ = 1 - ? \text{інша ознака} \end{cases}$
4	$\sum_{n=1}^{\infty} (U_n)^m$	<u>Коші радикальний</u> $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[m]{U_n} = q$	$q \rightarrow \begin{cases} < 1 - \text{збіжний} \\ > 1 - \text{розбіжний} \\ = 1 - ? \text{інша ознака} \end{cases}$
5	$\sum_{n=1}^{\infty} U_n; U_n = f(n)$	<u>Коші інтегральний</u> $\int_1^{\infty} f(x) dx$ 1). Дорівнює k – збіжний. 2). Дорівнює ∞ – розбіжний.	Інтеграл та ряд збіжні або розбіжні одночасно.



СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Petruk V. A., Klieopa I. A. Use of the reference summary of lectures in higher mathematics at the technical university during the pandemic. III Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція «Математика та інформатика у вищій школі: виклики сучасності», присвяченої пам'яті професорів Панкова О. А. і Трохименка В. С. (Вінниця, Україна, 20-21 травня 2021 р.): збірник тез. 2021. С. 232–236.

Петрук Віра Андріївна - професор, доктор педагогічних наук, професор кафедри вищої математики ВНТУ. e-mail: petruk-va@ukr.net

OPTIMIZATION OF HIGHER MATHEMATICS TEACHING IN THE CONDITIONS OF REDUCTION OF COURSE HOURS

Abstract

The article considers an approach to optimizing the teaching of higher mathematics to students of a technical institution within the existing curricula by sections in conditions of a significant reduction in classroom hours. It is proposed, based on the published textbooks and methodological recommendations posted in the Jetig system of VNTU, to teach sections of higher mathematics in the form of reference notes and "reference books" - as convenient auxiliary materials in mastering topics by students.

Keywords: *higher mathematics, technical educational institution, optimization of the educational process, reduction of classroom hours.*

Petruk Vira - Professor, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Higher Mathematics of Vinnytsia National Technical University (Vinnytsia, Ukraine).
e-mail: petruk-va@ukr.net

РОЗДУМИ ЩОДО ПСИХОЛОГІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ СТУДЕНТСЬКОЇ МОЛОДІ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті-представлено роздуми і спостереження присвячені актуальним проблемам адаптації студентів технічних спеціальностей у сучасних умовах. Особливу увагу приділено впливу воєнного стану на емоційно-психологічний стан молоді та їх здатність до навчання. Розглянуто роль студентської самоорганізації як чинник підтримки, стабільності та соціального згуртування. Окреслено знання наставницької діяльності педагогів у формуванні професійної адаптації першокурсників. Особливий акцент зроблено на труднощах, з якими стикаються іногородні студенти в новому середовищі- зокрема в контексті житлових, соціальних та адаптаційних викликів.

Ключові слова: адаптація, психологічна готовність, професійна адаптація, організація навчального процесу, здобувачі технічних спеціальностей.

Здобувачі освіти є вагомою складовою розвитку сучасної вищої школи, які в майбутньому вплинуть на науково-технічний прогрес та економіку країни загалом. Ще вчорашні учні, вступають до вищої школи і змінюють свій статус. Важлива і відповідальна роль бути студентом. Запорукою для подальшого розвитку кожного здобувача як майбутнього спеціаліста стає психологічна готовність. Чимало часу потрібно, перш ніж студент пристосується до нових умов навчання. Нові знайомства, формування психологічного сприятливого клімату групи і те на скільки комфортно почувається студент при взаємодії з педагогами, неодмінно буде позитивно впливає та пришвидшує адаптаційний період.

Під психологічною готовністю розуміємо здатність студента успішно включатися в освітній процес. Це включає в себе адаптацію до нових умов, успішне виконання навчальних, соціальних та побутових обов'язків. Л. Зданевич, українська вчена яка спеціалізується на дослідженні адаптації студентів у своїй роботі писала: «Вступ до навчального закладу у значній частині студентів супроводжується дезадаптацією, відсутністю референтної групи, підвищеними вимогами з боку професорсько-викладацького складу, напруженістю та жорстким режимом навчання, збільшенням обсягу самостійної роботи і самовідповідальності загалом. Усе це вимагає від першокурсника значної мобілізації своїх можливостей для успішного входження в нове оточення та якісно інший ритм життєдіяльності» [1, 54].

Дослідження процесу адаптації є доволі популярним як у зарубіжних так і у вітчизняних психолого-педагогічних дослідженнях. Успішно займались вивченням адаптації такі відомі зарубіжні психологи як А. Левін та Д. К'юретон, які у своїй книзі «Коли надія і страх стикаються: портрет сучасного студента коледжу» описуючи процес адаптації, виділили психологічні труднощі, з якими стикаються студенти під час переходу до вищої освіти. «Сучасні студенти відчувають тривогу, самотність і тиск, що ускладнює їхню адаптацію до університетського середовища.» [2]. Інші зарубіжних вчені: (Ф. Александер, Р. Бенедикт, Р. Ейкерс, Д. К'юретон, Ф. Левін, М. Мід, Н. Міллер, Д. Колб, Р. Сірс, А. Чикерінг, Ж. Піаже та ін.) вивчали адаптацію студентів до університету як критичний життєвий перехід. Однак у студентів під час навчання з'являється багато протиріч і складнощів пов'язаних із сучасною реальністю.

У вітчизняних дослідженнях низка вчених присвятили свої праці проблемі адаптації першокурсників (Т. Бойко, І. Булах, О. Варава, Ю. Горго, Т. Драгунова, Л. Зданевич, О. Кокун, С. Максименко, О. Новікова, В. Семиченко та ін.). Нуковиця Н. Сабліна влучно зазначає, що адаптація студентів до умов у вищому навчальному закладі є складним багаторівневим процесом, що охоплює психологічне, соціальне та академічне пристосування до нових умов навчання і життєдіяльності. [3].

За нашими спостереженням, були визначені головні проблеми в адаптації студентів технічних спеціальностей. Важливим фактором є події та обставини в яких опиняється суспільство. Військовий стан країни передбачає нові труднощі. Інформаційна перенасиченість,

підвищений рівень тривоги, постійна психологічна напруга, для деякого раптовий переїзди, невпевненість в завтрашньому дні і стрес негативно впливають на психічне і психологічне благополуччя людей в цілому, а особливо на студентську молодь. Адаптація стала набагато складнішим процесом. Студентам доводиться звикати не лише до нового навчального середовища, яке вимагає від студентів автономності та самоорганізації, але й адаптуватися до обставин зумовлених нашим сьогоденням.

Наступною проблемою в адаптації з якою доводиться зіштовхнутись студентам це відповідальність під час організація навчального процесу. Недостатній рівень сформованості навичок самостійно планувати навчальні цілі і здійснювати контроль над їх виконанням потребує високої самодисципліни і мотивації. Специфіка навчання у закладі вищої освіти багато в чому зумовлена відсутністю систематичного поточного контролю за якістю засвоєння знань. У закладі загальної середньої освіти, контроль над навчальною роботою та засвоєнням досліджуваного матеріалу відбувається майже на кожному уроці. В університеті, де немає щоденної перевірки знань, студенти отримують більшу свободу дій. Відбувається різка зміна, а точніше руйнування стереотипів відносно навчального процесу які роками формувалися у закладі загальної середньої освіти. Почуваючись досить вільними від педагогічного контролю, багато хто з першокурсників підміняє регулярну роботу зі засвоєння знань епізодичними, безсистемними заняттями, що веде до відставання. З'являється спокуса нічого не робити чи робити все в останній день. Така система навчальної організації не забезпечує належної підготовки здобувачів освіти.

Адаптація студентів технічних спеціальностей в умовах сучасних викликів потребує цілісної підтримки з боку освітнього середовища, зокрема через розвиток самоорганізації та врахування психоемоційного стану молоді, особливо у воєнний час, що, у свою чергу, дасть поштовх до розвитку професійної адаптації, яка опирається на загальну адаптацію особистості у новому середовищі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зданевич Л. В. Психолого-педагогічні умови адаптації студентів до навчання у вищому навчальному закладі / Л. В. Зданевич. — Київ, 2002. — 176 с.
2. Levine A., Cureton J. When Hope and Fear Collide: A Portrait of Today's College Student / A. Levine, J. Cureton. — San Francisco : Jossey-Bass, 1998. — 240 p.
3. Сабліна. Н.В. Психологічна адаптація студентів до навчальної діяльності: дис.кан .псих. наук: 19.00.07-педагогічна та вікова психологія/ Н.В. Сабліна. Ужгород 2017. -239с.

Грак Юлія Степанівна - практичний психолог ВНТУ. only.psychology@gmail.com

THOUGHTS ON THE PSYCHOLOGICAL READINESS OF YOUNG STUDENTS IN TODAY'S CONDITIONS

Abstract The article presents reflections and observations on the current issues of adaptation among students of technical specialties under modern conditions. Special attention is paid to the impact of martial law on the emotional and psychological state of young people and their ability to engage in learning. The role of student self-organization is examined as a factor of support, stabilization, and social cohesion. The importance of mentoring by educators in shaping the professional adaptation of first-year students is emphasized. Particular focus is placed on the challenges faced by non-resident students in a new environment — especially in terms of housing, social integration, and general adaptation difficulties.

Keywords: Adaptation, psychological readiness, professional adaptation, organization of the educational process, students of technical specialties.

Hrak Yuliia Stepanivna - practical psychologist of VNTU. only.psychology@gmail.com

360-OBSERVATION TOWER WITH A DYNAMIC MAST

Vinnitsia National Technical University

Abstract. *The article presents a circular observation tower on a rising mast, in which a rigid structure with an invariable position of the vertical axis is provided due to a new arrangement of structural elements and their mutual connections. This ensures uniform distribution of the load on the foundation, eliminates blocking and vibration during operation of the tower.*

Keywords: *tower, mast, hydraulic drive, linear bearings, hollow-rod hydraulic cylinder, tourism, UNESCO-protected sites*

There are numerous currently existing towers around the world that are designed for recreation and entertainment purposes. In such towers, an observation deck that sometime includes restaurants or shops is installed at a certain height. As a result, visitors use elevators or stairs in order to get from the ground level to the deck. Normally, the elevators and stairs are located in the inner shaft of such towers. As a result, visitors of the towers are deprived of the opportunity to observe the surroundings during their ascent to the deck and descent from the deck. On the contrary, there are designs of towers with transparent elevators outside a shaft, for instance, in the Macau Tower in China. However, external elevators frequently become unsightly over time thus spoiling the aesthetic appearance of a tower.

On the other hand, the towers described in UK Patent No. 655970 and European Patent EP 0337673 are equipped with observation decks that move up and down. In this case, the tower structure either folds using a “caterpillar” system (an articulated parallelogram bracket) or is completely lowered into the ground. Both cases require either a significant horizontal or vertical surface area. The “caterpillar” system requires an increased surface area for greater heights and in the latter example the entire height of the tower’s structure must be placed below the ground surface. Therefore, the restrictions associated with the placement of the observation tower apply to both examples of the transformable tower.

In the matter of fact, UNESCO [1-2] introduced the height restrictions of newly installed buildings and structures in the area surrounding existing historic urban landscapes in order to preserve them.

In this regard, a reliable 360-observation tower was designed that both complies with the height restrictions in the folded state as well as providing the necessary lifting height. This tower is designed for vertical lifting of the observation deck consisting of the capsule that carries visitors inside it. The base of the tower consists of the elevating mechanism of a spatial form of a scissor type. In addition, the elevating mechanism is formed by sliding structural elements that are interconnected. Each of the elements includes a series of hinged-connected levers. The lift is a drive which interacts with the sliding structural elements. Moreover, the lifting mechanism is made in the form of a mast that comprises three blocks. The longitudinal geometric axes of the blocks form an equilateral triangle in horizontal section. In turn, each block contains two sliding structural elements in which the last row of hinged-connected levers is made in the form of half of the previous row and the structural elements are rigidly fixed to each other by axles. These axles connect the centers of the levers and the connection nodes of the rows respectively. In the upper part, the blocks are rigidly connected to each other using a frame installed coaxially with the mast. In addition, the platform containing the capsule is rigidly fixed to the upper ends of the blocks.

The vertical movement of the platform with the capsule is provided by a hydraulic drive and a scissor-type lifting mechanism (patent for utility model UA No. 114755, IPC B66 F3 / 00, B66 F3 / 22, published 10.03.2017) [3].

This type of tower is complex from a technical and technological point of view as it involves increased precision during manufacturing. Subsequently, this leads to a significant increase in the cost of both manufacturing and operation of the product. Also, the operating efficiency is low and the lifting height is limited.

The basis of the invention is the task of creating the 360-observation tower, located on the dynamic mast, where due to new arrangement of the structural elements and their connections, rigid construction with fixed location of the vertical axis of the structure is provided. This ensures uniform distribution of loading on the base, secured on the rigid foundation, excludes jamming and vibration in the process of operation. Such technical solution enables to use the suggested construction for lifting/lowering the capsule with the people providing security and comfort of the operation. Besides, enables to reduce the height of the tower in non-working condition to minimum, this feature provides the possibility to use the tower in historic places of the cities and settlements, conserving the urban landscape.

The task, put forward is solved the following way. 360-observation tower contains a telescopic mast, comprising the base, fixed rigidly on foundation; lifting mechanism is installed on the base, lifting mechanism is formed by interconnected pull-out sections, platform with the capsule, installed on the platform and hydraulic drive, which interacts with the pull-out sections. According to the given invention, the lifting mechanism is executed in the form of telescopic mast, consisting of the first fixed and subsequent pull-out sections interconnected in the rigid structure with right triangle in the cross-section, each section consists of the vertical racks, located in the angles of the right-triangle and interconnected by the girders, each upper section is installed in the corresponding low section with the same step.

Between each rack of the lower section and corresponding rack of the upper section plunger single-cavity hydraulic cylinder with hollow rod is installed, it is used for the transfer of the working fluid from the hydraulic cylinder of one section into the hydraulic cylinder of the next section, besides, linear bearings, consisting of the guides with carriages are installed between the racks of each section on both sides. Hydraulic drive, containing hydraulic station, is equipped with the control system.

Capsule is mounted on the platform of the last upper section of the elevator. Capsule is intended for the location of the observation desk, bar or restaurant.

Control system of the hydraulic drive provides hydraulic synchronization of the hydraulic cylinders rods motion, braking and emergency operation modes.

REFERENCES

1. About UNESCO <https://mfa.gov.ua/mizhnarodni-vidnosini/yunesko/pro-yunesko>
2. UNESCO Constitution https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_014#top
3. V. Arkhipov and others. Elevator, UA No. 114755, published 10.03.2017, bull. 5/2017.

Arkhipova Tetiana Fedorivna – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Strength of Materials, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Vinnytsia National Technical University, e-mail: tfarhipova@vntu.edu.ua

БАШТА КРУГОВОГО ОГЛЯДУ НА ЩОГЛІ, ЩО ПІДНІМАЄТЬСЯ

Анотація. Представлена Башта кругового огляду на щоглі, що піднімається, в якій за рахунок нової компоновки структурних елементів та їх взаємних зв'язків забезпечено жорстку конструкцію з незмінним положенням вертикальної осі. Це забезпечує рівномірне розподілення навантаження на фундамент, виключає блокування та вібрації під час експлуатації башти.

Ключові слова: башта, щогла, гідравлічний привід, лінійні підшипники, гідроциліндр з порожнистим штоком, туризм, об'єкти під захистом ЮНЕСКО.

Архіпова Тетяна Федорівна – к. т. н., доцент, доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: tfarhipova@vntu.edu.ua

TEOLINGUISTIC “FOSSILS” IN MACHINE BUILDING TERMS

¹Vinnitsia National Technical University

Abstract *The article deals the concept of "theolinguistic fossils" in machine-building terms, which refers to instances where terminology used in engineering and mechanical contexts has roots in religious or theological concepts, even if those origins are no longer consciously recognized. To truly identify "theolinguistic fossils" in machine-building terms, one would need to undertake a rigorous interdisciplinary study involving historical linguistics, theolinguistics, and the history of technology. It's a fascinating area for research, but one that requires delving deep into the less obvious layers of language evolution.*

Keywords: *"theolinguistic fossils", machine-building terms, language evolution, religious meaning.*

Theology, despite often being considered a separate realm of discourse from science and technology, has left an indelible mark on the language we use in these fields [1]. These remnants of theological thought, which we can call "fossils," reveal a fascinating history of how religious concepts shaped the development of scientific and technical terminology.

The concept of "theolinguistic fossils" in machine-building terms refers to instances where terminology used in engineering and mechanical contexts has roots in religious or theological concepts, even if those origins are no longer consciously recognized. These are "fossils" because the original religious meaning has largely faded, leaving behind the word or phrase in a new, secularized context.

While direct, explicit connections might be rare in modern machine building (as the field is highly rationalized and scientific), we can explore this idea by looking at:

Words with broader historical links to "divine" creation or design:

"Design" or "Blueprint": While now purely technical, the idea of a "design" or "plan" can be subtly linked to theological concepts of divine creation, where a higher power "designed" the universe or living beings. The notion of a perfect, underlying structure could echo divine archetypes.

"Fabrication" or "Construction": The act of "making" or "building" something complex, especially something that functions, can parallel religious narratives of creation or the construction of sacred structures (like temples or Noah's Ark).

"Automation" / "Automaton": The word "automaton" comes from Ancient Greek *automaton* meaning "acting of one's own will." Early automata were often used in religious spectacles or as demonstrations of "divine" principles. The idea of a machine acting "of its own will" could have had a quasi-magical or divine connotation in earlier times, before a full understanding of mechanical principles.

"Engine" / "Ingenuity": The word "engine" comes from Latin *ingenium* (cleverness) and *ingeniare* (to contrive or devise), also linked to "gene" (to create, invent, or bring forth) and "engender." This hints at a creative, almost generative power, which in pre-scientific eras might have been attributed to divine inspiration or genius. The concept of "ingenuity" itself, while now secular, could have historically touched upon a divinely gifted cleverness.

Concepts of perfection, order, and harmony:

"Precision" and "Tolerance": The pursuit of extreme precision and minimal tolerance in machine building

can be seen as a secularized echo of a desire for perfection, an ideal that might have historically been associated with divine creation or sacred geometry. Medieval European cathedrals, for example, incorporated symbolic geometry to lead viewers to a better understanding of the divine through mathematics.

The concept of "theolinguistic fossils" in machine building terms refers to the idea that some vocabulary used in engineering and technical fields might carry hidden or forgotten traces of religious or theological origins [4]. While direct, widespread examples of such "fossils" are common, everyday machine building terms are not immediately obvious or well-documented in a systematic way, the broader idea of how language evolves and retains historical influences can be applied.

Potential Areas to Investigate for Theolinguistic Fossils in Machine Building:

While a direct list of such terms in machine building isn't readily available, here are areas where one *might* theoretically find such "fossils," based on the general principles of linguistic evolution and the historical interplay between science, technology, and religious thought:

Fundamental Concepts and Principles:

"Force," "Energy," "Power": These are fundamental concepts in physics and engineering. While their modern definitions are strictly scientific, historically, the understanding of such phenomena might have been intertwined with notions of divine power, natural law, or the "spirit" animating matter. Tracing the etymology of these words back to their ancient roots in Greek, Latin, or other languages might reveal connections to pre-scientific or theological worldviews.

"Order," "System," "Mechanism": The idea of an ordered universe, a "grand design," or the intricate workings of nature often had theological underpinnings in pre-modern thought. The very notion of a "machine" implies an ordered system. While these are now secular concepts, their historical development might have been influenced by a worldview that saw divine order in the cosmos, which then influenced how humans conceived of and built their own ordered systems.

1. Terms related to "Creation" or "Design":

"Engineer" itself: While its modern etymology is traced to "ingenare" (to generate or engender), suggesting ingenuity, one could explore if earlier senses of "creation" or "making" were implicitly linked to a divine creator in some linguistic traditions.

"Fabrication," "Construction," "Assembly": These terms describe the act of bringing something into being. Historically, the act of creation, even human creation, might have been seen as mirroring a divine act.

2. Terms related to "Control" or "Governance":

"Governor," "Cybernetics": As mentioned in one search result, "Cybernetics" comes from the Greek word *kubernetes* for the helmsman of a ship, which Latin borrowed to become *gubernator*, from which "governor" derives. While not directly theological, the concept of "governance" or "control" has often had parallels in religious thought regarding divine rule or providence. One could explore if the transfer of these terms to mechanical or automated control systems carried any subconscious echoes of their earlier applications to human or divine authority.

3. Figurative Language and Metaphors:

Technical language, like any language, uses metaphors. If certain metaphors for machine parts, functions, or processes originated in a pre-scientific era where religious concepts were more pervasive, those metaphors could be "fossils." For example, if a part was once analogized to a "heart" or "soul" in a non-biological context, and that analogy had religious connotations, it could be a subtle fossil.

Challenges in Identifying Theolinguistic Fossils:

Secularization of Language: Many words have undergone a process of secularization, where their original religious meanings have faded or been completely replaced by secular ones.

Deep Etymological Tracing: Unearthing such "fossils" requires deep linguistic and etymological research, often going back to Proto-Indo-European or even older language roots, and connecting them to ancient religious beliefs.

Lack of Explicit Documentation: Unlike terms directly from religious texts, "theolinguistic fossils" in technical language are unlikely to be explicitly labeled as such. Their identification would involve interpretation and inference based on historical context.

To truly identify "theolinguistic fossils" in machine-building terms, one would need to undertake a rigorous interdisciplinary study involving historical linguistics, theolinguistics, and the history of technology. It's a fascinating area for research, but one that requires delving deep into the less obvious layers of language evolution. The "fossil" aspect is crucial. Modern engineers don't typically think of these terms in a religious light. The direct religious meaning has become obsolete or lost in the technical context. However, their etymological roots or the underlying philosophical ideas they convey might have once been intertwined with religious or metaphysical beliefs about creation, order, and causality. The evolution of language often leaves such traces, even as human understanding of the world shifts from spiritual to scientific explanations.

It's important to note that identifying clear "theolinguistic fossils" can be challenging, as the links are often subtle and require delving into the deeper etymological and conceptual histories of words. Many terms in machine building are directly descriptive or derived from Latin and Greek roots with no immediate religious connotation. However, the influence of broader cultural and philosophical frameworks, often shaped by religious thought, can sometimes be detected in the underlying concepts that inform technical language.

REFERENCES

1. Гадамський О.К. *Teolingwistyka: historia, stan współczesny, perspektywy.*[w:] Ч1). – Сімферополь., 2008. – 32-60 с.
2. Словник іншомовних слів / Уклад. С.М. Морозов, Л.М. Шкарапуга. – К., 2000. – 680 с.
3. Купріянов С.В. Міжмовні відповідники в електронному англійсько-українському словнику з енергомашинобудування // Мовознавство, 2015, №5. – с. 30-38.
4. Britannica Online Encyclopedia. – <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/210530/floodgate>.
5. Dictionary of Science and Technology: English-German / By A.F. Dorian. – New York. – 1401 p.

Sergii O. Kot – PhD, assistant professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, kot.sergii@vntu.edu.ua

«Теолінгвістичні копалини» в термінах машинобудування

Анотація У статті розглядається поняття «теолінгвістичних скам'янілостей» у машинобудуванні, яке стосується випадків, коли термінологія, що використовується в інженерному та механічному контекстах, має коріння в релігійних або богословських концепціях, навіть якщо ці корені вже не визнаються свідомо. Щоб по-справжньому виявити «теолінгвістичні копалини» в машинобудівних термінах, потрібно провести ретельне міждисциплінарне дослідження із залученням історичної лінгвістики, теолінгвістики та історії техніки. Це захоплююча сфера для дослідження, але вона вимагає заглиблення в менш очевидні шари мовної еволюції.

Ключові слова: «теолінгвістичні копалини», машинобудівні терміни, еволюція мови, релігійне значення.

Сергій Олександрович Кот – кандидат філологічних наук, доцент кафедри іноземних мов Вінницького національного технічного університету, Вінниця, kot.sergii@vntu.edu.ua

ФОРМУВАННЯ ПСИХОЛОГІЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ У МАЙБУТНІХ ВИПУСКНИКІВ ЗВО ЗАСОБАМИ ТРЕНІНГОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розкрито сутність поняття «психологічна компетентність». Проаналізовано проблему формування психологічної компетентності у майбутніх випускників ЗВО. Розглянуто можливості застосування тренінгових технологій як засобу формування психологічної компетентності. Запропоновано інноваційні тренінгові технології, як ефективний інструмент в сучасній педагогіці.

Ключові слова: тренінгові технології, психологічна компетентність.

Невпинне зростання вимог до фахової підготовки майбутніх випускників ЗВО в різних сферах діяльності зумовлює необхідність формування психологічної компетентності [1] як ключового компонента професійної конкурентоспроможності.

У процесі формування психологічної компетентності як особистісної характеристики особливого значення набуває розуміння її сутності та значущості у професійній діяльності майбутнього фахівця. У цьому контексті психологічна компетентність трактується як інтегративна здатність сприймати психологічну інформацію [2], усвідомлювати її прикладне значення та, на основі набутих компетенцій, формувати ефективну систему професійної комунікації із колегами, водночас забезпечуючи прийняття обґрунтованих і психологічно виважених рішень.

З огляду на це, психологічна компетентність сприяє формуванню у майбутнього фахівця не лише загальної психологічної підготовленості, а й здатності до рефлексії, аналізу власних сильних і слабких сторін, а також умінню керувати власними психічними станами.

Детальний аналіз проблеми формування психологічної компетентності у майбутніх випускників ЗВО [3] є передумовою для визначення одного з ключових недоліків освітнього процесу — недостатньої інтеграції психологічних дисциплін у навчальний процес. Відсутність належної інтеграції психологічних знань безпосередньо впливає на здатність майбутніх випускників ЗВО до опанування професійно значущими компетенціями та знижує рівень психологічної культури, що є визначальним чинником у формуванні ефективних міжособистісних взаємовідносин стосовно соціальної групи або професійної організації.

Серед основних психологічних характеристик, що сприяють підвищенню рівня психологічної компетентності у майбутніх випускників ЗВО, варто виокремити: тактовність, гнучкість мислення, наявність адаптивних копінг-стратегій, культура міжособистісного спілкування, низький рівень конфліктності, толерантність, соціальна активність, комунікабельність, професійна мобільність, здатність до самовираження, технологічна грамотність, а також високий рівень адаптації до динамічних умов професійної діяльності в сучасних реаліях.

З метою формування ключових психологічних компетентностей для ефективної професійної підготовки майбутніх випускників ЗВО необхідне створення відповідних організаційно-педагогічних умов. Під організаційно-педагогічними умовами розуміється «сукупність змісту й структури предметної освіти, навчально-методичного забезпечення та інноваційного освітнього середовища, що забезпечує успішне розв'язання поставлених завдань у сучасній педагогіці» [4].

Підвищення ефективності освітнього процесу відбувається завдяки впровадженню інноваційних технологій, зокрема тренінгових технологій.

Тренінгові технології як ефективний інструмент групового навчання в сучасній педагогіці, сприяють підвищенню рівня психологічної компетентності, засвоєнню моделей успішної поведінки, формуванню нових спеціальних навичок і умінь, необхідних для розв'язання конкретних завдань [5].

Зазначена технологія реалізується через методи рольових дискусій і ділових ігор [6], а їх ефективне впровадження у ЗВО ґрунтується на таких принципах [7], як комплектування групи, реалістичність, моделювання та дотримання конфіденційності.

Таким чином, тренінгові технології виступають як ефективний інструмент сучасного педагогічного впливу і як чинник, що сприяє підвищенню рівня психологічної компетентності випускників ЗВО, виступаючи умовою особистісного та професійного зростання майбутніх фахівців.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гура Т. В. Тренінгові технології як засіб розвитку емоційного інтелекту / Т. В. Гура // Теорія і практика управління соціальними системами: філософія, психологія, педагогіка, соціологія. – 2022. – № 1. – С. 17-29.
2. Ніколаєв Л. О., Чижма Д. М. Тренінгові технології у розвитку емоційного інтелекту як компоненту особистісної зрілості здобувачів вищої освіти. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Том 33 (72) № 3. 2022. С.34– 40.
3. Криштанович М., Криштанович С. Особливості формування професійно-педагогічної компетентності викладача закладу вищої освіти у провідних країнах Європи / Освітні обрії, №1(50). 2020. С. 18-21.
4. Стинська В., Карпенко О. Тренінгові технології у практиці підготовки майбутніх викладачів закладу вищої освіти. Людинознавчі студії. Серія «Педагогіка». Випуск 12 (44). 2021. С. 172-177.
5. Тараненко Г. Г., Поправко О. В. Імплементція тренінгових технологій в освітній процес закладу вищої освіти як умова особистісного та професійного зростання майбутнього фахівця / Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах, №74, Т. 3. 2021. С. 153-158.
6. Левицька Л. Тренінгові технології розвитку комунікативної компетенції психологів / Л. Левицька // Psychology Travelogs. – 2024. – № 1. – С. 149–158.
7. Бідюк Н., Третько В. Розвиток психолого-педагогічної компетентності магістрантів засобами тренінгових технологій / Н. Бідюк, В. Третько // Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології. – 2022. – № 3. – С. 45–53.

Фіник Ірина Валеріївна – аспірант, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: crdinfo452@gmail.com.

Науковий керівник: **Гречановська Олена Володимирівна** – доктор педагогічних наук, професор кафедри філософії та гуманітарних наук, директор Культурно-мистецького та просвітницького центру ВНТУ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: hrechanovskae@gmail.com.

FORMATION OF PSYCHOLOGICAL COMPETENCE IN FUTURE GRADUATES OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS BY MEANS OF TRAINING TECHNOLOGIES

Abstract

The essence of the concept of “psychological competence” is revealed. The problem of forming psychological competence in future graduates of higher education institutions is analyzed. The possibilities of using training technologies as a means of forming psychological competence are considered. Innovative training technologies are proposed as an effective tool in modern pedagogy.

Keywords: training technologies, psychological competence.

Iryna Finyk – Postgraduate student, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: crdinfo452@gmail.com.

Olena Hrechanovska – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Philosophy and Humanities, Director of the Cultural, Artistic and Educational Center of VNTU, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: hrechanovskae@gmail.com.

Наукове видання

**Збірник тез доповідей
IV Міжнародної науково-технічної конференції
«Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2025»**

Матеріали подаються в авторській редакції

Підписано до видання 27.06.2025 р.
Папір офсетний. Формат 29,7х42 1/4.
Ум. друк. арк. 39,36. Наклад 40 пр. Зам. № P2025-095.

Видавець та виготовлювач -
Вінницький національний технічний університет,
Редакційно-видавничий відділ.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021.
press.vntu.edu.ua,
Email:rvv@vntu.edu.ua.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.