

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ В ГАЛУЗЯХ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

Матеріали міжнародної
науково-технічної конференції

Міністерство освіти і науки України
Вінницька обласна державна адміністрація
Вінницький національний технічний університет (ВНТУ)
Вінницьке регіональне відділення Академії будівництва України (АБУ)

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ В ГАЛУЗЯХ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

Матеріали міжнародної науково-технічної конференції

19 – 21 листопада 2025 року

Збірник наукових праць

Електронне наукове видання

Вінниця
ВНТУ
2025

УДК 20.9(062)
Е63

Видається за рішенням Вченої ради Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Редакційна колегія: В. Біліченко, доктор технічних наук, професор
І. Єпіфанова, доктор економічних наук, професор
І. Дудар, доктор технічних наук, професор

Рецензенти: І. Меть, к.т.н., доцент
Н. Блащук, к.т.н., доцент

Енергоефективність в галузях економіки України. Матеріали Е63 Міжнародної науково-технічної конференції, 19 – 21 листопада 2025 року : збірник наукових праць [Електронний ресурс]. – Вінниця : ВНТУ, 2025. – (PDF, 593 с.)

ISBN 978-617-8163-73-0

Збірник містить Матеріали МНТК за такими основними напрямками: будівельні конструкції, будівельні матеріали та вироби, механіка ґрунтів та фундаменти, технологія будівельного виробництва, моделювання процесів будівельного виробництва, організація, управління та економіка в будівництві, інженерні мережі будівель та споруд, технології захисту навколишнього середовища, енергоефективність в будівництві, ЖКГ та промисловості, інноваційні технології комп'ютерного проєктування, документування і управління проєктами об'єктів будівництва.

Роботи публікуються в авторській редакції. Редакційна колегія не несе відповідальності за достовірність інформації, яка наведена в роботах, та залишає за собою право не погоджуватися з думками авторів на розглянуті питання.

УДК 20.9(062)

ISBN 978-617-8163-73-0

© Вінницький національний технічний університет, укладання, оформлення, 2025

Зміст

Секція Промислового та цивільного будівництва

Павло Сергійович Гураш, Олександр Володимирович Христич ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ КОНСТРУКЦІЇ ПІДЛОГ У СИСТЕМІ ТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ СУЧАСНИХ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ 1

Роман Сергійович Осаулко ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ ДЛЯ МЕТАЛОПЛАСТИКОВИХ ВІКОН І ФАСАДІВ У СУЧАСНОМУ ЦИВІЛЬНОМУ БУДІВНИЦТВІ 8

Максим Сергійович Барбалюк, Олександр Юрійович Шмундяк, Ірина Вікторівна Маєвська РЕЗУЛЬТАТИ ПЕРШОГО ЕТАПУ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОРОТКИХ І ДОВГИХ ПАЛЬ У СТОВПЧАСТИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТАХ ШЛЯХОМ ФІЗИЧНОГО МАЛОМАСШТАБНОГО МОДЕЛЮВАННЯ 17

Ірина Олександрівна Слюсар, Альона Василівна Бондар ЗЕЛЕНІ ПОКРІВЛІ ТА ФАСАДИ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ 24

Микола Миколайович Попович, Роман Леонідович Хамайдула ЗМІЦНЕННЯ ГРУНТІВ ОСНОВИ ФУНДАМЕНТІВ ПРИ НОВОМУ БУДІВНИЦТВІ 29

Микола Сергійович Шпанюк, Олександр Васильович Бондар, Олександр Васильович Бондар, Олександр Володимирович Христич, Олександр Володимирович Христич ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ ПРИ БЕТОНУВАННІ МОНОЛІТНИХ КОНСТРУКЦІЙ 32

Дмитро Володимирович Собчук СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ 35

Руслан Русланович Заблоцький, Олександр Володимирович Христич ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕЦИКЛІНГУ БУДІВЕЛЬНОГО ЛОМУ (БЕТОНУ) ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЗАПОВНЮВАЧІВ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ 41

Владислав Віталійович Миколюк, Ірина Вікторівна Маєвська ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕМЕНТНИХ СТЯЖОК ПІДЛОГ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ 44

Максим Леонідович Просяник, Ірина Вікторівна Маєвська РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ СКЛАДІВ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ ЛЕГКИХ ПОРИЗОВАНИХ БЕТОНІВ 49

Андрій Віталійович Шевченко, Ірина Вікторівна Маєвська ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПІДЛОГ ПІДЗЕМНИХ ПАРКІНГІВ ІЗ ВЛАШТУВАННЯМ ШАРУ ПОКРИТТЯ ІЗ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ 53

Віталій Володимирович Андрусік, В`ячеслав Васильович Джеджула КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ФАСАДНИХ МАТЕРІАЛІВ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ 60

Діана Олександрівна Валько, Наталя Вікторівна Блащук ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ ФУНДАМЕНТНОЇ ПЛИТИ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ З МОНОЛІТНИМ ЗАЛІЗОБЕТОННИМ КАРКАСОМ 64

Іван Миколайович Меть, Євгеній Вячеславович Тімін ЗМІНА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ФУНДАМЕНТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИСОТНОЇ БУДІВЛІ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТОВОЇ ОСНОВИ 68

Віталій Віктрович Швець, Борис Станіславович Шурмель ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ УТЕПЛЕНИХ РУЛОННИХ ПОКРІВЕЛЬ 71

Михайо Володимирович Перебийніс ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НА МАЛОМАСШТАБНИХ МОДЕЛЯХ РОБОТИ СТРІЧКОВИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ ПІД ДІЄЮ ВЕРТИКАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ 76

Оксана Іванівна Хороша, Ілля Сергійович Мартинов ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ДАХІВ МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ 80

Олексій Михайлович Шевчук ВПЛИВ ЗОЛИ ВИНЕСЕННЯ НА МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОЦЕМЕНТУ 85
Олександр Володимирович Мудрицький, Володимир Вячеславович Панкевич ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЯК СКЛАДОВА СТР АТЕГІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ У МАЛОПОВЕРХОВОМУ БУДІВНИЦТВІ 90
Роман Віталійович Голоскевич, Наталя Вікторівна Блащук ЕФЕКТИВНЕ РІШЕННЯ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТУ ЗМІННОЇ ТОВЩИНИ 94
Андрій Потєха, Валерій Михайлович Андрухов МЕТОДОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ФОРМУВАННЯ СХЕМ АРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МСЕ 97
Владислав Русланович Бречко, Альона Василівна Бондар ГАЗОБЕТОН НА ОСНОВІ ВТОРИННОГО СКЛОБОЮ ЯК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ СТІНОВИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО БУДІВНИЦТВА 101
Віталій Віктрович Швець, Максим Русланович Жовноватюк, Ігор Никифорович Дудар ОСОБЛИВОСТІ СУМІСНОЇ РОБОТИ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У БАГАТОШАРОВИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЗОВНІШНІХ СТІНАХ 105
Олена Георгіївна Лялюк, Ігор Васильович Васюра ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ГУМОВОЇ КРИХТИ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ З ПОЗИЦІЙ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ 110
Віталій Вікторович Швець СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ШВИДКОГО ЗВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ БУДИНКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАНЕЛЕЙ MASSIV-HOLZ-MAUER 112
Ростислав Вадимович Наконечний СИСТЕМИ РЕМОНТУ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ 115
Віталій Станіславович Томчук, Віталій Вікторович Швець ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ СВІТЛОПРОЗОРИХ ФАСАДНИХ СИСТЕМ У СУЧАСНОМУ БУДІВНИЦТВІ 117
Аліна Андріївна Ткачук ПІДБІР РАЦІОНАЛЬНОГО КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ МОНОЛІТНОЇ ПЛИТИ ПЕРЕКРИТТЯ У СПОРУДАХ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 121
Дмитро Ігорович Стаднюк ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЧИСЛОВИХ МОДЕЛЮВАНЬ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ 127
Євген Васильович Мусієнко, Віталій Вікторович Швець ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ 131
Сергій Сергійович Майданюк, Іван Миколайович Меть ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ 134
Валерій Михайлович Андрухов, Назар Олександрович Мельник ПІДВИЩЕННЯ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ БАГАТОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ІНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКТИВНИМИ ЗАХОДАМИ 139
Віталій Сергійович Запрелюк, Віталій Вікторович Швець ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ДИТЯЧИХ САДКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НАДБУДОВИ ПОВЕРХІВ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ВНУТРІШНЬОГО ПРОСТОРУ 144
Євгеній Павлович Джига, Євгеній Павлович Джига УЛАШТУВАННЯ ПРОТИРАДІАЦІЙНИХ УКРИТТІВ В ІСНУЮЧИХ БУДІВЛЯХ ШЛЯХОМ ПІДСИЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ ПІДВАЛЬНОГО ПОВЕРХУ 147
Валерій Вікторович Овод, Віталій Миколайович Бойчук ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ВІДНОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ, ПОШКОДЖЕНИХ У КРИЗОВИХ СИТУАЦІЯХ ВОЄННОГО ХАРАКТЕРУ 150
Денис Олександрович Печериця, Віталій Вікторович Швець ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА АРХІТЕКТУРНІ АСПЕКТИ АДАПТАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ПІД СОЦІАЛЬНІ ОБ'ЄКТИ НА ПРИКЛАДІ РЕКОНСТРУКЦІЇ МЕБЛЕВОЇ ФАБРИКИ У РЕАБІЛІТАЦІЙНИЙ ЦЕНТР 153

Карен Арменович Аветісян, Віталій Вікторович Швець ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО РЕКОНСТРУКЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ТА ЇХ ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ В УМОВАХ СУЧАСНОГО МІСТОБУДУВАННЯ 156
Віталій Вікторович Дімнич, Віталій Вікторович Швець АРХІТЕКТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ПІД ГОТЕЛІ В ІСТОРИЧНІЙ ЗАБУДОВІ НА ПРИКЛАДІ МІСТА ЧЕРНІВЦІ 159
Олег Віталійович Найчук, Юрій Семенович Бікс РАЦІОНАЛЬНІ КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ БАГАТОШАРОВИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СТІН ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ 163
Денис Сергійович Шевчук ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РЕЦИКЛІНГУ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ (ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ) 167
Богдан Васильович Сіньчук, В'ячеслав Васильович Джеджула ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕРІАЛИ У ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ВИКЛИКІВ 170
Наталя Вікторівна Блащук, Євгеній Павлович Джига УЛАШТУВАННЯ ПРОТИРАДІАЦІЙНИХ УКРИТТІВ В ІСНУЮЧИХ БУДІВЛЯХ ШЛЯХОМ ПІДСИЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ ПІДВАЛЬНОГО ПОВЕРХУ 175
Юрій Семенович Бікс PREDESIGN OPTIMISATION OF THERMAL PERFORMANCE FOR MULTILAYERED ENVELOPES 178
Альона Василівна Бондар, Дмитро Володимирович Сіташ ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ЗНИЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ У СИСТЕМАХ ФАСАДНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ 183
Альона Василівна Бондар, Вадим Андрійович Кравчук РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ БЕТОНІВ ДЛЯ ВЛАШТУВАННЯ ПЛОСКИХ ПОКРІВЕЛЬ 188
Альона Василівна Бондар, Владислав Анатолійович Тарасов СУЧАСНІ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ПЛОСКИХ ЕКСПЛУАТОВАНИХ ПОКРІВЕЛЬ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ ТА ЇХ ОЦІНКА 192
Павло Сергійович Гураш, Олександр Володимирович Христич ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ КОНСТРУКЦІЇ ПІДЛОГ У СИСТЕМІ ТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ СУЧАСНИХ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ 197
Дмитро Володимирович Собчук, Олександр Володимирович Христич СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ 204
Віталій Володимирович Чайковський, Катерина Констянинівна Пушкарьова ПЕРСПЕКТИВИ ТА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ УКОЧУВАНИХ БЕТОНІВ В УКРАЇНІ 210

Секція Містобудування та архітектури

Марія Олександрівна Ковальчук, Лілія Василівна Кучеренко, Альона Василівна Бондар ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ УЛАШТУВАННЯ ЗЕЛЕНИХ ПОКРІВЕЛЬ У МІСЬКИХ БУДІВЛЯХ 214
Альона Василівна Бондар, Антоніна Геннадіївна Антонюк АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНІ АСПЕКТИ ІНТЕГРАЦІЇ ПРИНЦИПІВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ В МІСТОБУДІВНУ ПРАКТИКУ 218
Віталій Олександрович Мельник, Світлана Володимирівна Риндюк КРИТЕРІЇ УСПІШНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ У ГРОМАДСЬКІ ПРОСТОРИ 222
Олена Георгіївна Лялюк, Андрій Олександрович Лялюк, Євгеній Михайлович Опря АНАЛІЗ ФІЗИЧНИХ ТА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОР-ГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІШЕНЬ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ПОКРИТТЯ БУДІВЛІ 225
Анастасія Володимирівна Балинська, Альона Василівна Бондар РОЛЬ УПРАВЛІННЯ МІСТОБУДІВНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ У ВПРОВАДЖЕННІ ПРИРОДООРІЄНТОВАНИХ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ 228

Денис Анатолійович Ілюченко, Володимир Петрович Очеретний СТАЛИЙ РОЗВИТОК ОЗЕЛЕНЕННЯ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ 232
Костянтин Миколайович Кравчук ВИКОРИСТАННЯ АРХІТЕКТУРНИХ КЛАСТЕРІВ У МІКРОРАЙОНАХ 235
Альона Василівна Бондар, Валерія Павлівна Леонтьєва АРХІТЕКТУРНО-МІСТОБУДІВНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИМ РОЗВИТКОМ ІЗ МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ТА ІНФРАСТРУКТУРИ 238
Валерія Павлівна Леонтьєва, Володимир Петрович Очеретний ВИКОРИСТАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ У СУЧАСНІЙ АРХІТЕКТУРІ 242
Олександр Леонідович Жадан, Лілія Василівна Кучеренко СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО БЛАГОУСТРОЮ ДИТЯЧИХ МАЙДАНЧИКІВ ПІДВИЩЕНОЇ КОМФОРТНОСТІ 246
Віталій Вікторович Швець, Володимир Володимирович Любич ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНОЇ ВІЙНИ В УКРАЇНІ 250
Антоніна Геннадіївна Антонюк, Володимир Петрович Очеретний ДЕКОРАТИВНІ ПАНЕЛІ ЯК ЕЛЕМЕНТ СУЧАСНОГО ДИЗАЙНУ ІНТЕР'ЄРУ 254
Марія Михайлівна Кацага, Володимир Петрович Очеретний ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В АРХІТЕКТУРНОМУ РОЗВИТКУ МІСТ 257
Віталій Вікторович Швець, Володимир Володимирович Любич АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ В УКРАЇНІ: МІСТОБУДІВНИЙ АСПЕКТ 261
Марія Михайлівна Кацага, Валерія Павлівна Леонтьєва, Світлана Володимирівна Риндюк ІНТЕГРАЦІЯ "ЗЕЛЕНИХ" ТЕХНОЛОГІЙ У ПЛАНУВАННІ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ 266
Альона Василівна Бондар, Марія Михайлівна Кацага ЕФЕКТИВНІ ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ МІСЬКИХ "ТЕПЛОВИХ ОСТРОВІВ" 269
Альона Василівна Бондар, Артем Михайлович Коробочка КЕРАМІЧНІ ПУСТОТІЛІ ПАНЕЛІ У КОНСТРУКЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ПЕРЕКРИТТІВ 273
Ярослав Ігорович Кравченко ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДИНКІВ 277
Юлія Юріївна Чумак, Світлана Володимирівна Риндюк СУЧАСНІ АРХІТЕКТУРНІ ПІДХОДИ ДО РЕКОНСТРУКЦІЇ КОНЦЕРТНИХ МАЙДАНЧИКІВ 282
Наталя Анатолівна Притолюк, Максим Вікторович Ковальський, Віктор Павлович Ковальський КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ З ВІДХОДІВ ДЕРЕВИНИ 286
Сергій Степанович Любарський, Анастасія Павлівна Оленюк, Віктор Павлович Ковальський ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНІ РІШЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ СУЧАСНОГО БІЗНЕС-ЦЕНТРУ ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ 291
Ольга Андріївна Аврамчук, Володимир Володимирович Любич ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧЕ ПРОЄКТУВАННЯ НОВИХ ДОРІГ І ТРАНСПОРТНИХ РОЗВ'ЯЗОК 295
Мирослав Тарасович Кушнір, Володимир Володимирович Любич ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕРОБЛЕНИХ МАТЕРІАЛІВ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ 298
Олександр В`ячеславович Ковальський, Людмила Олексіївна Ткач, Віктор Павлович Ковальський АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ СОЦІАЛЬНОГО ЖИТЛА 301
Володимир Вікторович Тарнавський, Павло Олегович Зоря, Віктор Павлович Ковальський APPLICATIONS OF PERLITE IN CONSTRUCTION 305
Оксана Іванівна Хороша, Катерина Олександрівна Шмаль, Анастасія-Юлія Олегівна Кошова МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЄКТУВАННЯ ІНКЛЮЗИВНИХ ОЗДОРОВЧО-РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ЗАКЛАДІВ. 309
Оксана Іванівна Хороша, Дарія Олександрівна Ковбасюк АРХІТЕКТУРА БЕЗБАР'ЄРНОСТІ, ЯК НЕОБХІДНА УМОВА ПРОЄКТУВАННЯ РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ЦЕНТРІВ 312
Оксана Іванівна Хороша, Анастасія-Юлія Олегівна Кошова, Катерина Олександрівна Шмаль АНАЛІЗ ЗАКОРДОННОГО ДОСВІДУ В СУЧАСНОМУ ПРОЄКТУВАННІ ТА БУДІВНИЦТВІ ВІЙСЬКОВИХ КАЗАРМ 315

Дмитро Володимирович Бланар, Віталій Вікторович Швець ПРОБЛЕМИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ УКРИТТІВ В ПАРКОВИХ ЗОНАХ....318
Олена Максимівна Пташка, Світлана Володимирівна Риндюк ІННОВАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОЕКТУВАННІ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ....321
Тетяна Вячеславівна Нікітченко, Світлана Володимирівна Риндюк ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ КВАРТАЛІВ....325
Єлизавета Вікторівна Удуденко, Анна Вікторівна Куленко, Лілія Василівна Кучеренко, Валентина Олександрівна Галушко ПЛАНУВАННЯ МІСЬКОЇ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ З УРАХУВАННЯМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ....330
Ігор Михайлович Вознюк, Вероніка Вікторівна Ковальчук, Віктор Павлович Ковальський РОЛЬ ЛАНДШАФТНОГО ДИЗАЙНУ У ФОРМУВАННІ ГРОМАДСЬКИХ ПРОСТОРІВ....335
Єлизавета Вікторівна Удуденко, Володимир Петрович Очеретний КЛАСИФІКАЦІЯ ГРОМАДСЬКИХ ПРОСТОРІВ У СУЧАСНОМУ МІСТОБУДІВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ....339
Віталій Вікторович Швець СЦЕНАРНЕ ПЛАНУВАННЯ В ЗАВДАННЯХ УПРАВЛІННЯ ВБВРБС....344
Андрій Вікторович Колесник, Віталій Вікторович Швець КОМПЛЕКСНЕ ТЕХНІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНЕ І ПРОЄКТНЕ БАЧЕННЯ ПЛАТФОРМИ DIGITALS, ЩО ДОЗВОЛЯЄ ОПТИМІЗУВАТИ СТВОРЕННЯ МІСТОБУДІВЕЛЬНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ПІД ЧАС ОСОБЛИВОГО ПРАВОВОГО РЕЖИМУ....349
Віталій Вікторович Швець АНАЛІЗ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРУ ТА МАСШТАБУ ВІЙСЬКОВИХ РУЙНУВАНЬ НА СТАН ГОЛОВНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗОН МІСТ СХОДУ УКРАЇНИ....353
Віталій Вікторович Швець МІСТОБУДІВНИЙ АНАЛІЗ ЗАВДАНЬ ТА ПРИНЦИПІВ УПРАВЛІННЯ ВТОРИННИМИ БУДІВЕЛЬНИМИ ВІДХОДАМИ ВІД РУЙНАЦІЇ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД НА ТЕРИТОРІЯХ СУЦІЛЬНОГО РУЙНУВАННЯ....356
Володимир Володимирович Любич ЕНЕРГООЩАДНЕ ВУЛИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ....361
Євген Васильович Совінський ПРОБЛЕМА ВТРАТИ ОБРАЗУ ОБЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ У НАСЛІДОК РЕКОНСТРУКЦІЇ....366
Віталій Олександрович Тимошенко, Віктор Павлович Ковальський НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ФОСФОГІПСУ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ....370
Вікторія Сергіївна Шмогуненко, Віктор Павлович Ковальський СУЧАСНІ ПРИНЦИПИ ПЛАНУВАННЯ КВАРТИР....374
Андрій Вікторович Колесник, Володимир Володимирович Любич МОДЕРНІЗАЦІЯ ІСНУЮЧИХ ОБ'ЄКТІВ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ З ПІДВИЩЕННЯМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ....377
Анастасія Володимирівна Балинська, Володимир Петрович Очеретний, Оксана Іванівна Хороша АНАЛІЗ ПАЛАЦОВО-ПАРКОВИХ КОМПЛЕКСІВ ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ XVIII-XIX СТОЛІТТЯ....380
Олександр Васильович Бондар ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ І БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ У СКЛАДІ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ....384
Альона Василівна Бондар, Максим Олександрович Рубенко ЕФЕКТИВНІ СУЧАСНІ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ....388
Яна Максимівна Бевз СЕНДВІЧ-ПАНЕЛІ — СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЛЯХ....393
Олексій Сергійович Кошівський, Лілія Василівна Кучеренко НАПРЯМКИ ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНО - ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ УКРАЇНИ....396
Євгеній Павлович Якименко, Лілія Василівна Кучеренко, Ігор Миколайович Бабій ОПТИМАЛЬНА ЩІЛЬНІСТЬ ЗАБУДОВИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИРОДНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ....398

Секція Інженерних систем у будівництві

Георгій Сергійович Ратушняк, Юлія Володимирівна Волошина
ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ
ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА 400
Дар'я Юріївна Антепа, Ольга Дмитрівна Панкевич АНАЛІЗ МЕТОДІВ АНТИКОРОЗІЙНОГО
ЗАХИСТУ ПРОМИСЛОВИХ ТРУБОПРОВОДІВ 403
Георгій Сергійович Ратушняк, Ольга Ігорівна Ободянська, Олександр Сергійович Кирилюк
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СТРАТЕГІЇ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬ: ІНТЕГРАЦІЯ
ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ТА АВТОНОМНИХ СИСТЕМ 407
Наталія Михайлівна Слободян, Віктор Олександрович Гончарук ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ
ТЕПЛОВОГО НАСОСА ТА СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА ЯК ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОТИ 412
Ольга Ігорівна Ободянська, Артем Олегович Блеянюк СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ 417
Ольга Ігорівна Ободянська, Владислава Романівна Майструк КОМПЛЕКСНА
ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ ЖИТЛОВОГО ФОНДУ УКРАЇНИ: ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ
ДЕРЖАВНИХ І МІЖНАРОДНИХ ПРОГРАМ ПІДТРИМКИ 423
Ольга Ігорівна Ободянська, Ігор Юрійович Кирилюк ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ
ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ В БУДІВЛЯХ: ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ
ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ 426
Наталія Михайлівна Слободян, Артем Ярославович Панченко
ПЕРЕВАГИ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ НАД ТРАДИЦІЙНИМИ СИСТЕМАМИ ОПАЛЕННЯ
І ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ 430
Ольга Ігорівна Ободянська, Олексій Олексійович Зелений ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ТА
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОВИХ МЕРЕЖ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ 432
Ольга Ігорівна Ободянська, Емілія Федорівна Гарбузюк ОПТИМІЗАЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЇ
ПОВІТРООБМІНУ В БУДІВЛЯХ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 436
Олег Олегович Горюн ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ У СИСТЕМАХ МІКРОКЛІМАТУ
ДОШКІЛЬНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ 441
Іван Васильович Коц ГІДРАВЛІЧНИЙ ПУЛЬСАТОР ДЛЯ ІМПУЛЬСНОЇ ДІЇ НА ПЛАСТ З
МЕТОЮ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ 444
Олег Олегович Горюн, Ярина Євгеніївна Скуйбіда ВПЛИВ СТРУКТУРИ ТА ТОВЩИНИ СТІНКИ
НА ЗВУКОПОГЛИНАННЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ТРУБ 447
Оксана Юріївна Горюн ТЕПЛОВА ІНЕРЦІЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЛІ 450
Оксана Юріївна Горюн, Георгій Сергійович Ратушняк ТЕПЛОВА ІНЕРЦІЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЛІ 452
Олег Олегович Горюн, Лащенко Артем Валерійович ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ У
СИСТЕМАХ МІКРОКЛІМАТУ ДОШКІЛЬНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ 454
Сергій Слободянюк, Іван Васильович Коц ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОКЛАВНОЇ КАМЕРИ З
РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИМ АЕРОДИНАМІЧНИМ НАГРІВАЧЕМ ДЛЯ ТЕПЛОВОЛОГІСНОЇ
ОБРОБКИ БЕТОННИХ ВИРОБІВ 457
Олександр Володимирович Мудрицький, Володимир Вячеславович Панкевич ВИКОРИСТАННЯ
ГІБРИДНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНО- ТЕПЛОВИХ (PVT) ПАНЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ
ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ КОТЕДЖІВ 461
Дмитро Вячеславович Жук, Іван Васильович Коц МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА
ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У РОБОЧІЙ КАМЕРІ УСТАТКУВАННЯ
ДЛЯ ТЕРМІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ 465
Георгій Сергійович Ратушняк, Сергій Васильович Замковий ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ
ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ В УМОВАХ
ВОЄННОГО ЕКОЦИДУ 468

Андрій Андрійович Брицький, Ольга Дмитрівна Панкевич
ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІЮВАННЯ НА ПРИКЛАДІ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ 470
Олег Олегович Горюн, Анастасія Євгеніївна Гуменчук, Юрій Миколайович Колачинський
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ МІСЬКОЇ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОРТАТИВНОГО ПРИЛАДУ ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ 473
Георгій Сергійович Ратушняк, Євгеній Ігорович Буяльський ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ ТА ОПАЛЕННЯ БАГАТОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ 477
Іван Васильович Коц, Олександр Борисович Чебан ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА 479
Олександр Володимирович Мудрицький, Володимир Вячеславович Панкевич
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЯК СКЛАДОВА СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ У МАЛОПОВЕРХОВОМУ БУДІВНИЦТВІ 482

Секція Технічної теплофізики та промислової теплоенергетики

Дмитро Степанов, Станіслав Ткаченко, Денис Лисюк МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНДЕНСАЦІЙНОГО ЕКОНОМАЙЗЕРА НА ПРОМИСЛОВІЙ КОТЕЛЬНІ 486
Лілія Анатоліївна Боднар, Максим Олексійович Швець ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВЛОВЛЮВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ ВУГЛЕЦЮ В БІОЕНЕРГЕТИЦІ 490
Ольга Володимирівна Власенко, Ірина Олександрівна Ковальчук ANALYSIS OF BIOGAS USE IN A KVGM-20 WATER HEATING BOILER 493
Лілія Анатоліївна Боднар, Сергій Васильович Гусар ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЖИМНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ ПО ЗМЕНШЕННЮ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ 495
Микола Олександрович Паламарчук, Олег Володимирович Березюк
ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ БІОМАСИ НА ВИТРАТИ ПАЛИВА ІЗ УТИЛІЗАЦІЄЮ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ПРИ ЇЇ СПАЛЮВАННІ 498
Наталія Резидент, Денис Лейміч ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНІ В МІСТІ ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ 503
Олександр Юрійович Співак, Костянтин Юрійович Таранюк, Ярослав Іванович Котюжанський
ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ТЕПЛОНОСІЯ В СУШАРЦІ З ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ ЧИСЛОВИМ МЕТОДОМ 506
Лілія Анатоліївна Боднар, Дмитро Вікторович Степанов ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ТРІСЦІ ДЕРЕВИНИ 510
Наталія Резидент, Андрій Грига ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАЛИНІВСЬКОЇ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЛІКАРНІ 516
Олександр Юрійович Співак, Артур Станіславович П'ятак, Назарій Сергійович Педченко
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНІ СХЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ В КОНВЕКТИВНИХ КАМЕРНИХ СУШАРКАХ 519
Наталія Степанова, Максим Храмцов, Микола Паламарчук УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ І УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ В КОТЕЛЬНЯХ НА БІОМАСІ 522
Наталія Степанова, Максим Храмцов ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНІ ШЛЯХОМ ПЕРЕХОДУ НА СПАЛЮВАННЯ БІОМАСИ 525
Дмитро Вікторович Степанов, Віталій Вікторович Мартиненко ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ORC-УСТАНОВКИ З НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИМ ДЖЕРЕЛОМ ТЕПЛОТИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 528
Наталія Дмитрівна Степанова, Катерина Петрівна Ільчук ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ВІДНОВЛЮВАНОГО ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОТИ ДЛЯ БАГАТОКВАРТИРНОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ У М. ВІННИЦЯ 531

Наталія Дмитрівна Степанова, Катерина Русланівна Ковтун ТЕПЛОВІ НАСОСИ ТИПУ «ПОВІТРЯ–ВОДА» В НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІЙ СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ У М. КИЇВ.....535
Ольга Павлівна Остапенко, Сергій Петрович Святенко, Богдан Вікторович Сталінський, Володимир Віталійович Поліщук ШЛЯХ ЄС ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ КЛІМАТИЧНОЇ НЕЙТРАЛЬНОСТІ: ЕНЕРГЕТИЧНА СКЛАДОВА ТА ВПЛИВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....539
Наталія Резидент, Олександр Синчук ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАРОВОЇ КОТЕЛЬНІ МОЛОКОПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА.....544
Дмитро Степанов, Дмитро Ільченко, Олесь Вудвуд ЕФЕКТИВНІСТЬ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНІ.....547
Дмитро Степанов, Дмитро Резидент, Наталія Резидент ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМПРЕСОРА ТЕПЛОВОГО НАСОСА.....550

Секція Екології, хімії та технологій захисту довкілля

Євгеній Володимирович Гречанюк ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОНЕНТІВ ВІДХОДІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ.....552
Сергій Михайлович Кватернюк, Святослав Васильович Мандебура, Дмитро Русланович Латуша, Максим Павлович Максименко, Валентин Олександрович Шевченко ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ ЗАБРУДНЕНОГО ПОВІТРЯ ТА ОЧИЩЕННЯ СТОКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНИХ ВОДНО-БОЛОТНИХ УГІДЬ.....555
Сергій Михайлович Кватернюк, Василь Григорович Петрук, Альона Миколаївна Добровольська ВИКОРИСТАННЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРІВ НА ОСНОВІ ВЕРТИКАЛЬНО ВИРОЩЕНОГО ГРАФЕНУ ДЛЯ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ КОМУНАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....560
Ігор Володимирович Васильківський, Тарас Сергійович Тітов, Тетяна Іванівна Сидорук, Олександр Васильович Шеверук ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВІДХОДІВ НЕМИРІВСЬКОГО СПИРТОВОГО ЗАВОДУ.....564
Ігор Володимирович Васильківський, Тарас Сергійович Тітов, Тетяна Іванівна Сидорук, Іван Олегович Кузнець ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВІДХОДІВ КРИЖОПІЛЬСЬКОГО ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ.....571
Ігор Володимирович Васильківський, Тарас Сергійович Тітов, Тетяна Іванівна Сидорук, Вікторія Русланівна Несса СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЕНЕРГІЇ З АГРОВІДХОДІВ.....577

УДК 620.9:697

П. С. Гураш
О. В. Христич

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ КОНСТРУКЦІЇ ПІДЛОГ У СИСТЕМІ ТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ СУЧАСНИХ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто сучасні принципи підвищення енергоефективності підлогових конструкцій у структурі теплового захисту цивільних будівель. Обґрунтовано інженерно-технічні рішення із застосування теплоізоляційних матеріалів на основі екструзійного пінополістиролу, аерогелю та комбінованих відбивних систем. Проведено порівняльну оцінку впливу різних схем утеплення й інтеграції систем низькотемпературного обігріву типу «тепла підлога» на зменшення питомих тепловтрат. Показано, що застосування оптимізованої багатошарової конструкції дозволяє скоротити теплопередачу на 65–75 % і підвищити клас енергоефективності будівель до рівня B–A.

Ключові слова: енергоефективність, тепловий захист, підлога по ґрунту, екструзійний пінополістирол, аерогель, термомодернізація, тепла підлога.

Abstracts

The paper presents modern engineering solutions for improving the energy efficiency of floor structures within the overall thermal protection system of civil buildings. Technical approaches using extruded polystyrene foam, aerogel insulation, and combined reflective layers are substantiated. A comparative analysis of different insulation layouts and the integration of low-temperature heating systems ("warm floor") is provided. Modeling results demonstrate that the application of optimized multilayer floor structures reduces heat transfer by 65–75% and raises the building's energy performance class to levels B–A according to DBN V.2.6-31:2021.

Key words: energy efficiency, thermal protection, ground floor, extruded polystyrene foam, aerogel, thermal modernization, underfloor heating.

Вступ

Вступ

Однією з найважливіших складових підвищення енергоефективності будівель є вдосконалення системи теплового захисту огороджувальних конструкцій, що забезпечує зменшення витрат енергії на опалення, стабілізацію мікроклімату та підвищення експлуатаційної надійності споруди. В умовах сучасних вимог до енергозбереження, визначених положеннями ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» і європейськими директивами щодо Nearly Zero Energy Buildings (NZEB), підлоги розглядаються як невід'ємний елемент теплового контуру будівлі [1-4].

Підлогові конструкції, що безпосередньо контактують із ґрунтом або розділяють опалювані та неопалювані об'єми, характеризуються високою теплопровідністю і є значним каналом тепловтрат – до 20–25 % від загального балансу будівлі. Через наявність «містків холоду» у зоні стику «стіна–підлога» та недостатню товщину теплоізоляційного шару втрачається частина теплової енергії, знижується температура поверхні підлоги, виникають умови для конденсації вологи та зволоження матеріалів.

Проблема зменшення теплопередачі через підлоги особливо актуальна для житлових і громадських будівель, споруджених у 1960–1990-х роках, де теплоізоляція або відсутня, або виконана з матеріалів, що не відповідають сучасним стандартам. У новому будівництві зростає потреба у використанні конструкцій з високим опором теплопередачі, які одночасно забезпечують комфорт, довговічність і відповідність принципам сталого розвитку.

Науково-технічний прогрес у сфері теплоізоляційних матеріалів і систем обігріву створює можливість формування енергоефективних підлогових рішень. Сучасні технології, такі як екструзійний пінополістирол (ЕППС), пінополіуретан, надтонкі аерогельні ізолятори та низькотемпературні системи обігріву типу «тепла підлога», дозволяють суттєво підвищити термічний опір конструкції. Комплексна термомодернізація підлог, що включає утеплення, гідроізоляцію та автоматизоване регулювання температури, є ключовим напрямом у формуванні енергоефективних

будівель нового покоління [5-7].

Основна частина

Конструкції підлог значною мірою впливають на енергетичний баланс будівель. У неопалюваних цокольних або підвальних приміщеннях втрати тепла через підлогу можуть становити від 15 до 25 % від загальних тепловтрат споруди (рис. 1). Це обумовлено високою теплопровідністю ґрунту (λ ≈ 1,5–2,0 Вт/(м·К)) та наявністю «містків холоду» у зонах примикання [8-9].



Рис. 1. Тепловтрати через конструкції будівлі

Для зниження втрат тепла необхідно формувати багатошарові підлогові системи з урахуванням опору теплопередачі не менше 4,3 м²·К/Вт, що відповідає класу енергоефективності «В» (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняння теплотехнічних показників конструкцій підлог

№	Тип конструкції	Матеріал утеплювача	Товщина шару, мм	λ, Вт/(м·К)	R, Вт/м²·К	Примітка
1	Підлога по ґрунту	ЕППС	100	0,034	0,25	Рекомендовано для новобудов
2	Над підвалом	Мінеральна вата	80	0,042	0,32	Монтаж з боку підвалу
3	Дерев’яна підлога	Перліт + фольгопін	60	0,040	0,35	Для реконструкцій
4	Комбінована	Аерогель	25	0,015	0,18	Для історичних будівель

Матеріали нового покоління – ЕППС, пінополіуретанові піни H_2Foam FORTE, аерогельні композити – забезпечують надійний теплозахист і довговічність.

ЕППС характеризується закритопористою структурою, вологостійкістю, стискальною міцністю ≥ 250 кПа, тому рекомендований для бетонних підлог [10].

Рідка теплоізоляція (Icynene) утворює безшовне покриття, що герметизує стики й ліквідує «містки холоду», має клас екологічності А+ і термін служби 25 років [11].

Аерогель є інноваційним матеріалом із найнижчою теплопровідністю (0,013–0,020 Вт/(м·К)) та пористістю до 99 %, що дозволяє отримати високу ефективність навіть при мінімальній товщині шару [12].

Стовпчаста діаграма (рис. 1) відображає результати порівняння тепловтрат через підлогу залежно від типу теплоізоляції.

Найвищі втрати (≈ 14 Вт/м²) характерні для варіанта без утеплення. Використання мінераловати товщиною 80 мм знижує теплопотоки на 31 %, а застосування екструзійного пінополістиролу (ЕППС 100 мм) – на 55 % [5, 13-14].

Поєднання ЕППС з системою «тепла підлога» забезпечує зменшення втрат до 4,1 Вт/м² (економія ≈ 70 %), а додавання шару аерогелю 25 мм – до 3,2 Вт/м², тобто ≈ 78 %.

Таким чином, комплексна термомодернізація з використанням сучасних ізоляторів та низькотемпературного обігріву є найефективнішим шляхом підвищення енергоефективності підлогових конструкцій.

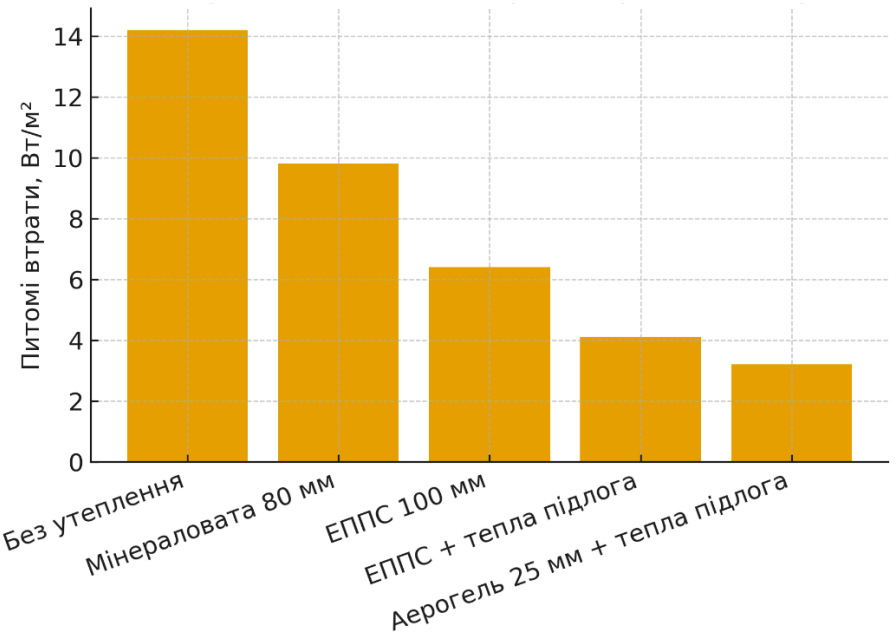


Рис. 1 – Порівняння питомих тепловтрат через підлогу для різних конструктивних рішень

Оптимальний тепловий режим досягається завдяки поєднанню теплоізоляційного шару з екструзійного пінополістиролу (ЕППС) товщиною 80–120 мм, армованої стяжки та системи «тепла підлога». Така система формує стабільну температуру поверхні +22…+27 °С при зовнішніх умовах –15 °С.

Системи «тепла підлога» – водяні або електричні – поєднують функції теплопередачі та регулювання мікроклімату. Згідно з дослідженнями, такі системи знижують споживання енергії на 5–20 %, створюючи рівномірний температурний розподіл у приміщенні та підвищуючи комфорт на рівні підлоги (табл. 2).

Таблиця 2 – Порівняння систем низькотемпературного підігріву підлог

Тип системи	Джерело тепла	Потужність, Вт/м²	Клас енергоефективності	Економія, %
Водяна	ЦО або тепловий насос	80–100	B	15–20
Електрична (резистивна)	Електромережа	100–120	C	10–15
Електрична (саморегульована)	Електромережа	60–80	A	20–25

На рисунку 2 показано розподіл температури по товщині конструкції підлоги при температурі повітря всередині приміщення +22 °С і зовні (у зоні ґрунту) –15 °С.

Крива 1 (синя) – варіант без утеплення, який демонструє різке зниження температури до +5 °С уже на глибині 0,2 м, що свідчить про високі втрати тепла.

Крива 2 (помаранчева) – підлога з шаром ЕППС 100 мм, яка забезпечує плавний температурний перехід та підвищення температури нижнього шару ґрунту до +2 °С.

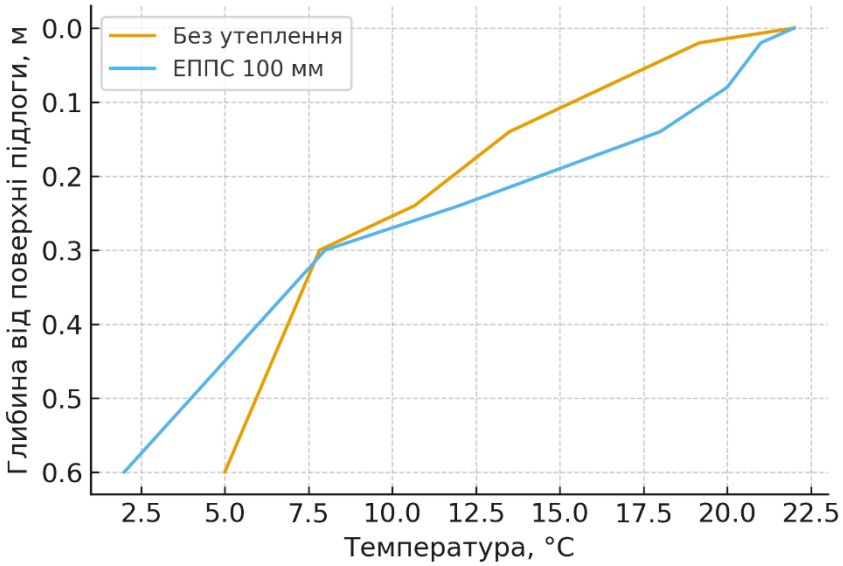


Рис. 2 – Температурний профіль через конструкцію підлоги

Завдяки теплоізоляції середня температура поверхні підлоги зростає з +12 °C до +22 °C (рис. 3), а щільність теплового потоку зменшується більш ніж удвічі (з 14 до 6 Вт/м²). Це дозволяє усунути ризик конденсації й промерзання вузла «стіна–підлога».

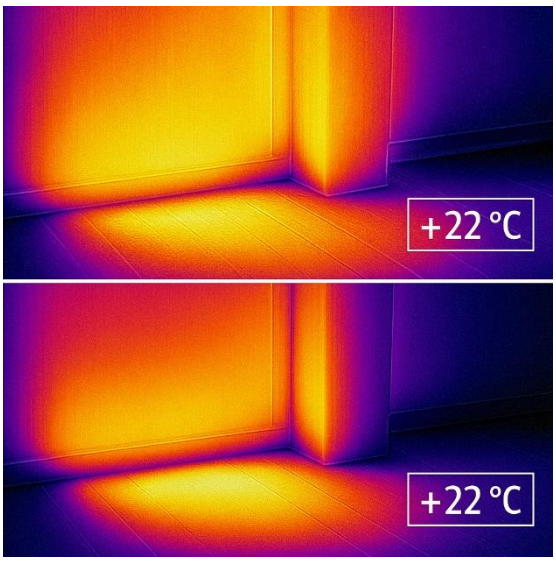


Рис. 3 – Температурний профіль через конструкцію підлоги

Рис. 3 показує 2D-профіль теплових потоків від внутрішнього приміщення (+22 °C) до ґрунтової зони (−15 °C). У моделі враховано багатошарову конструкцію підлоги, що складається з:

- фінішного покриття (ламінат або плитка) – рівномірно прогріта зона (червоні й помаранчеві кольори);
- стяжки з системою “тепла підлога”, де формується рівномірний тепловий потік униз;
- теплоізоляційного шару з ЕППС – синьо-зелені відтінки, які вказують на різке зниження температурного градієнта;
- гідроізоляційного шару – тонка смуга з незначною теплопровідністю;
- грунту – холодна зона (сині й фіолетові кольори), де температура поступово падає до −15 °C.

Ізотерми мають щільне розташування у верхній частині, що свідчить про активний теплообмін у шарі стяжки та системі підігріву. Нижче шару ЕППС ізотерми розріджуються, а тепловий потік зменшується у 2–3 рази. При відсутності утеплення температура на межі ґрунту та бетону знижується до +5 °C, тоді як із ЕППС – не нижче +15 °C. Таким чином, теплоізоляція забезпечує підвищення

температури поверхні підлоги на 8–10 °С та зменшення тепловтрат через ґрунт на понад 60 %, що підтверджує ефективність конструкції енергоефективної підлоги.

Удосконалення терморегулювання через автоматизовані контролери дозволяє стабілізувати температуру підлоги в межах +22…+27 °С при зниженні температури теплоносія до +35 °С, що суттєво зменшує навантаження на систему опалення.

Згідно з практичними проєктами термомодернізації, утеплення підлоги по ґрунту в поєднанні з гідроізоляцією, паробар'єром і системою підігріву знижує питомі тепловтрати з 14 до 6 Вт/м² [1, 5]. У разі використання аерогельного шару – до 3 Вт/м². Оптимізація структури конструкції підлоги включає:

- вирівнюючу стяжку з цементно-піщаного розчину;
- гідроізоляційну мембрану;
- теплоізоляційний шар (ЕППС або аерогель);
- армовану стяжку з системою обігріву;
- фінішне покриття.

Моделювання теплового потоку показує, що температура поверхні підлоги в зоні примикання до стіни підвищується на 8–10 °С порівняно з неутепленим варіантом, а градієнт тепловтрат через ґрунт скорочується у 2–3 рази (рис. 4).

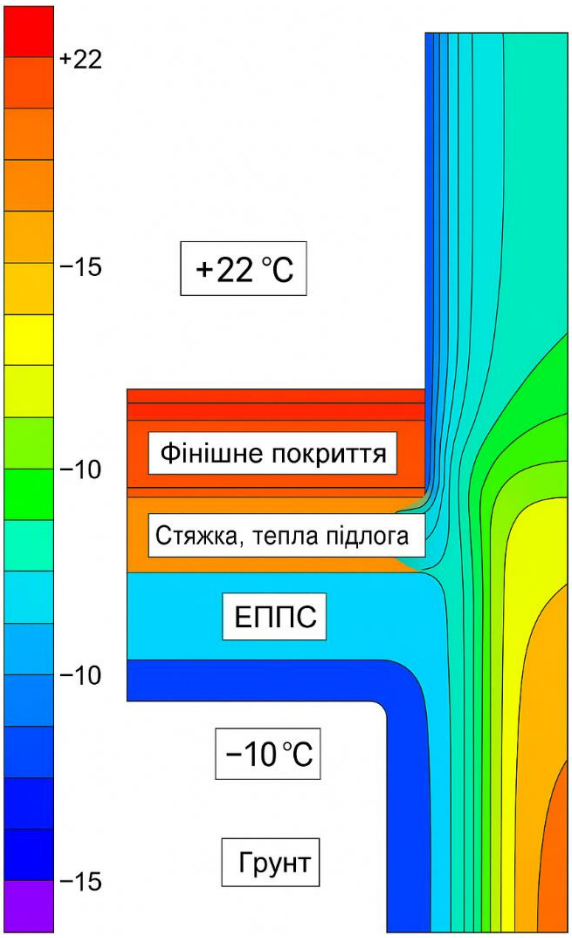


Рис. 4 – Моделювання розподілу температур через конструкцію підлоги

На рисунку 4 зображено багатошарову систему енергоефективної підлоги, де кожен елемент виконує певну функцію у формуванні теплового бар'єра:

- фінішне покриття (ламінат або плитка) – забезпечує рівномірне поширення тепла в приміщенні;
- армована стяжка з системою "тепла підлога" – головне джерело низькотемпературного обігріву, у якому формується найвищий градієнт температур;
- шар ЕППС (екструзійний пінополістирол, товщина 100 мм) – основний теплоізоляційний бар'єр, що знижує інтенсивність теплопередачі до 60–70 %;

- гідроізоляційна мембрана – перешкоджає проникненню вологи з ґрунту у шар утеплення;
- ущільнений ґрунт – зона із найнижчою температурою, яка становить близько −15 °С.

Кольорова шкала відображає зміну температури від +22 °С (червоні відтінки) у зоні приміщення до −15 °С (сині й фіолетові відтінки) у ґрунті. Ізотерми щільно розташовані у верхній частині – це свідчить про активний тепловий обмін у зоні стяжки та обігріву. У межах шару ЕППС ізотерми розріджуються, тобто тепловий потік значно знижується. Нижче ізоляції, у ґрунті, температура поступово зменшується без різких перепадів, що вказує на стабільний тепловий режим.

Отже, температура поверхні підлоги підтримується на рівні +22…+24 °С. На межі теплоізоляції та ґрунту температура становить близько +10 °С, що виключає промерзання конструкції. Тепловий потік через підлогу зменшується у 2,5–3 рази порівняно з неутепленим варіантом. Втрати тепла через підлогу скорочуються на ≈ 65 %, а зона комфорту всередині приміщення розширюється до 1,5 м від зовнішньої стіни.

Таким чином, теплове моделювання підтверджує, що використання ЕППС у поєднанні з системою “тепла підлога” формує ефективний тепловий бар’єр, зменшує енергоспоживання будівлі й підвищує її клас енергоефективності до рівня В–А.

Впровадження енергоефективних підлог зменшує річне енергоспоживання системи опалення будівлі на 20–25 %, скорочує питомі викиди CO_2 до 47 кг/м² на рік. Використання матеріалів з високим терміном експлуатації (ЕППС – до 50 років, аерогель – 30 років) забезпечує швидку окупність енергомодернізації – протягом 4–6 років [15-16].

Висновки

Проведене дослідження підтвердило, що енергоефективні конструкції підлог є одним із ключових напрямів підвищення теплового захисту сучасних цивільних будівель.

Оптимізація структури підлоги з використанням теплоізоляційних матеріалів (ЕППС, мінераловати, аерогелів) дозволяє знизити тепловтрати через ґрунт на 60–75 %, підвищуючи температуру поверхні підлоги з +12 °С до +22 °С.

Комплексна термомодернізація підлоги поєднує гідроізоляційні, пароізоляційні, теплоізоляційні та опалювальні шари, що забезпечує стабільність теплового режиму навіть при зовнішній температурі −15 °С.

Моделювання теплових потоків показало зменшення градієнта температури у 2,5–3 рази та збереження комфортного мікроклімату в приміщенні.

Економічна ефективність підтверджена зниженням питомого енергоспоживання будівлі з 210 до 120 кВт·год/м²·рік і скороченням викидів CO_2 на 20–30 %. Орієнтовний термін окупності заходів становить 5–7 років.

Інтеграція системи “тепла підлога” у поєднанні з ЕППС забезпечує рівномірний розподіл температури та зменшення споживання енергії на 15–25 %.

Використання аерогельних композитів як інноваційного утеплювача відкриває можливості для енергоефективної реконструкції історичних і громадських будівель із мінімальним збільшенням товщини конструкцій.

Отже, застосування сучасних енергоефективних матеріалів і технологій у конструкціях підлог дозволяє досягнути комплексного ефекту: зменшення енергоспоживання, підвищення комфорту, продовження терміну служби будівлі та зниження екологічного навантаження на довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергофективність будівель. [Чинний з 2022-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2021. 108 с.
2. Закон України № 2118-VIII від 22.06.2017 р. Про енергетичну ефективність будівель // Відомості Верховної Ради України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19
3. Nearly zero energy building standard. URL: https://www.seai.ie/plan-your-energy-journey/for-your-business/standards/nearly-zero-energy-building-standard
4. Borowski M., Rathnayake C. M., Zwolińska-Glądys K. Nearly Zero-Energy Buildings (NZEBs): A Systematic Review of the Current Status of Single-Family Houses in the EU // Energies. 2025. Vol. 18, Issue 12, Article 3215. DOI: 10.3390/en18123215.

5. Мандрика А. С. Енергоефективні технології : навчальний посібник. Сумський державний університет, 2021. 330 с.
6. Бахтін Д. Впровадження енергоефективних технологій при будівництві нової комерційної нерухомості в Україні. Вісник НУ «Львівська політехніка». Серія: Архітектура, 2020, №2(4), с. 8–18.
7. Гетун Г., Кошева В., Гамоцький Р., Гончаренко А. Вплив повітрообміну на енергоефективність багатоквартирних житлових будинків. Енергоефективність в будівництві та архітектурі, 2019, вип. 13, с. 58–68.
8. Pelsmakers S., Fitton R., Biddulph P., Swan W., Croxford B., Stamp S. Heat-flow variability of suspended timber ground floors: implications for in-situ heat-flux measuring. Energy and Buildings. 2017. Vol. 138. P. 396–405. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.02.048.
9. BSI. ISO 13370:2007. Thermal Performance of Buildings. Heat Transfer via the Ground. Calculation Methods. Brussels : British Standards Institution, 2009.
10. Екструдований пінополістирол: види, застосування, покрокова інструкція при утепленні. URL: https://vikbud.ua/news/korisna-informatsiya/jepps-vidy-primenenie-instrukcija-pri-uteplenii
11. Утеплювач ICYNENE (Айсинін) – революційне рішення в енергозбереженні будинків. URL: https://icynene.lviv.ua/index.php/main.html
12. Airoform Gel. URL: https://www.fortehealthcare.com.au/our-range/cushions-accessories-and-customisations/airoform-gel/
13. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. [Чинний з 2023-03-01]. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 142 с.
14. ДСТУ Б В.2.6-101:2010. Конструкції будинків та споруд. Метод визначення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій. [Чинний з 2010-10-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 90 с.
15. Сергейчук О., Кожедуб С. Розробка критеріальної оцінки енергоефективності та екологічності будівельних об'єктів // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – 2018. – № 11. – С. 61–68. DOI: 10.32347/2310-0516.2018.11.61-68
16. CIBSE. Guide A: Environmental Design. London : Chartered Institution of Building Services Engineers, 2015. 420 p.

Гураш Павло Сергійович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Христич Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: khristych@vntu.edu.ua

Gurash Pavlo Serhiyovych – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Khristych Oleksandr Volodymyrovych – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: khristych@vntu.edu.ua

УДК 697.1:691.175:728

Р. С. Осаулко
О. В. Христич

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ ДЛЯ МЕТАЛОПЛАСТИКОВИХ ВІКОН І ФАСАДІВ У СУЧАСНОМУ ЦИВІЛЬНОМУ БУДІВНИЦТВІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Представлено результати дослідження енергоефективних конструктивних рішень для металопластикових світлопрозорих систем, що застосовуються у цивільному будівництві. Проаналізовано вплив типу профілю, склопакета, тепловідбиваючого екрана та способів герметизації на опір теплопередачі та енергетичний баланс огороджувальних конструкцій. Проведено порівняння традиційних і сучасних систем скління з низькоемісійними, вакуумними та динамічними склопакетами. Запропоновано комплекс рішень для підвищення теплотехнічних показників і конструктивної стійкості фасадних систем, що дозволяє знизити теплові втрати будівель на 35–45 % та забезпечити комфортний мікроклімат у приміщеннях. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні енергоефективних житлових і громадських будівель нового покоління.

Ключові слова: нергоефективність, металопластикові системи, тепловідбиваючий екран, світлопрозорі конструкції, склопакет, вакуумне скління, динамічне скління, мікроклімат.

Abstracts

Presents the results of research on energy-efficient design solutions for metal-plastic translucent systems used in modern civil construction. The influence of the profile type, insulating glass unit, heat-reflective screen, and sealing methods on heat transfer resistance and the overall energy balance of enclosing structures was analyzed. A comparison between conventional and advanced glazing systems with low-emission, vacuum, and dynamic glass units was carried out. A set of engineering solutions aimed at improving the thermal performance and structural stability of façade systems is proposed, providing a reduction in building heat losses by 35–45 % and ensuring indoor thermal comfort. The results can be applied in the design of next-generation energy-efficient residential and public buildings.

Key words: energy efficiency, metal-plastic systems, heat-reflective screen, translucent structures, insulated glass unit, vacuum glazing, dynamic glazing, microclimate.

Вступ

Проблема енергоефективності будівель є одним із ключових напрямів сучасного будівництва, що безпосередньо пов’язана зі скороченням споживання енергоресурсів і зниженням негативного впливу на довкілля. В умовах зростання вартості енергоносіїв і посилення вимог до теплотехнічних характеристик огороджувальних конструкцій відповідно до ДБН В.2.6-31:2021 [1] особливої актуальності набуває вдосконалення світлопрозорих систем, через які втрачається до 40 % теплової енергії будівлі [2].

Металопластикові віконні та фасадні системи є одним із найпоширеніших елементів сучасного цивільного будівництва. Вони поєднують архітектурну функцію з вимогами до теплоізоляції, звукоізоляції, міцності та довговічності. Проте їх ефективність значною мірою визначається не лише якістю матеріалів, а й конструктивними рішеннями профілю, типом склопакета, герметизацією вузлів і технологією монтажу [3-4].

Сучасні наукові дослідження спрямовані на пошук оптимального поєднання матеріалів і технологій, що забезпечують мінімальні тепловтрати за збереження високої світлопропускної здатності. В цьому контексті перспективними є рішення із застосуванням тепловідбиваючих екранів, низькоемісійних покриттів, вакуумного та динамічного скління, а також інтелектуальних систем регулювання мікроклімату, які дозволяють адаптувати теплотехнічні характеристики вікон залежно від кліматичних умов і пори року [5-17].

Метою роботи є узагальнення інноваційних енергоефективних рішень для металопластикових вікон і фасадів, визначення шляхів підвищення їх теплотехнічної ефективності та конструктивної стійкості з урахуванням сучасних вимог сталого будівництва.

Методи та матеріали дослідження

Для оцінювання енергоефективності та конструктивної стійкості металопластикових світлопрозорих систем застосовано комплекс аналітичних, експериментальних і чисельних методів дослідження.

Аналітичний етап передбачав порівняння теплотехнічних характеристик різних типів склопакетів, профільних систем і вузлів примикання до стінових конструкцій. Вихідні дані ґрунтувалися на чинних нормативних документах України (ДБН В.2.6-31:2021, ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010) та результатах міжнародних досліджень з енергозбереження у фасадних системах [1, 3-4, 18].

Експериментальні дослідження виконувалися з використанням кліматичних камер для моделювання реальних умов експлуатації. Випробування проводилися в діапазоні температур від –25 °C до +30 °C з фіксацією температурних полів на внутрішній і зовнішній поверхнях скла. Для контролю параметрів застосовували термопари типу ТХА та тепловізійну зйомку високої роздільності.

Для оцінки ефективності конструкцій використовували показники опору теплопередачі (R), температури внутрішньої поверхні скла (t_i) та загальних тепловтрат через 1 м² віконного блока (Q).

Особливу увагу приділено дослідженню впливу тепловідбиваючого екрана, розміщеного між шарами скла, на зміну температурного поля та баланс випромінювальних потоків. Також розглядалися системи з динамічними жалюзями й автоматизованим регулюванням положення ламелей на основі сигналів від метеодатчиків освітленості та температури.

Отримані експериментальні та чисельні результати стали основою для побудови порівняльних графіків, таблиць і схем, які відображають вплив різних технічних рішень на енергоефективність світлопрозорих систем.

Результати дослідження

У результаті проведених теоретичних і експериментальних досліджень було проаналізовано вплив конструктивних і теплофізичних параметрів металопластикових світлопрозорих систем на їх енергоефективність, довговічність і теплотехнічну стабільність. Дослідження охоплювали серію моделей віконних блоків із різними типами склопакетів, заповненням камер, покриттями та додатковими функціональними елементами.

1. Теплотехнічна ефективність систем скління

Порівняльний аналіз п’яти основних типів світлопрозорих систем (див. табл. 1) показав, що базовий опір теплопередачі звичайного подвійного скління становить R = 0,45 м²·°C/Вт, що відповідає лише мінімальним вимогам ДБН В.2.6-31:2021 [1].

Таблиця 1 – Порівняння конструкцій світлопрозорих систем за показниками енергоефективності

Тип конструкції	Опір теплопередачі R, м²·°C/Вт	Економія енергії, %	Характеристика
Звичайне скління	0,45	0	Подвійний склопакет без покриттів, значні втрати тепла.
Енергозберігаюче з І-склом	0,80	25	Низькоемісійне покриття зменшує втрати тепла.
З тепловідбиваючим екраном	1,20	35	Металізований екран знижує радіаційні втрати.
Вакуумне скління	1,35	40	Відсутність конвекції між стеклами, високий опір теплопередачі.
З динамічним мікрокліматом	1,50	45	Регулювання теплового балансу за допомогою автоматичних жалюзі.

Застосування І-покриття дозволяє підвищити опір теплопередачі до R = 0,80 м²·°C/Вт, тоді як впровадження тепловідбиваючого екрана у міжскляному просторі збільшує цей показник до R = 1,20 м²·°C/Вт. Найвищих результатів досягнуто у випадку вакуумного скління та динамічних систем із регульованими жалюзі – R = 1,35–1,50 м²·°C/Вт (рис. 1).

Зростання опору теплопередачі призводить до зменшення питомих тепловтрат через 1 м² віконної площі на 25–45 % у порівнянні зі звичайним склінням, що забезпечує істотне зниження навантаження

на систему опалення. Підвищення R прямо корелює зі зменшенням річних тепловтрат будівлі. Активні системи мікроклімату дозволяють досягти класу А за енергоефективністю (ДБН В.2.6-31:2021).

На рисунку 1 представлено узагальнені результати випробувань, які демонструють тенденцію зростання опору теплопередачі залежно від ступеня технологічної складності конструкції.

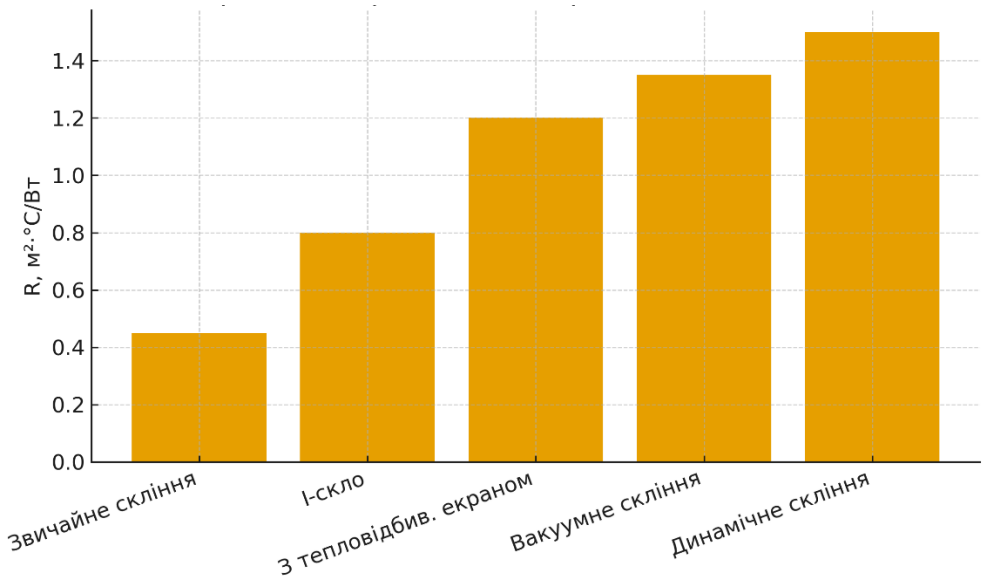


Рисунок 1 – Опір теплопередачі R для різних систем скління

Аргон і низькоемісійні покриття підвищують опір теплопередачі завдяки зменшенню конвекційного та радіаційного теплообміну. Додавання тепловідбиваючого екрана дає найбільший ефект при мінімальному впливі на світлопропускання (табл. 2, рис. 2).

Таблиця 2 – Вплив типу склопакета та додаткових елементів на опір теплопередачі

Конфігурація склопакета	Газове заповнення	Додаткові елементи	Опір теплопередачі R, м²·°C/Вт	Приріст R, %
4-16-4 (повітря)	Повітря	Відсутні	0,45	—
4-16Ar-4	Аргон	Відсутні	0,60	+33
4LowE-16Ar-4	Аргон	І-покриття	0,80	+78
4LowE-12Ar-4 + екран	Аргон	Тепловідбиваючий екран	1,20	+167
Вакуумне 4-0,2-4	Вакуум	Герметичний прошарок	1,35	+200

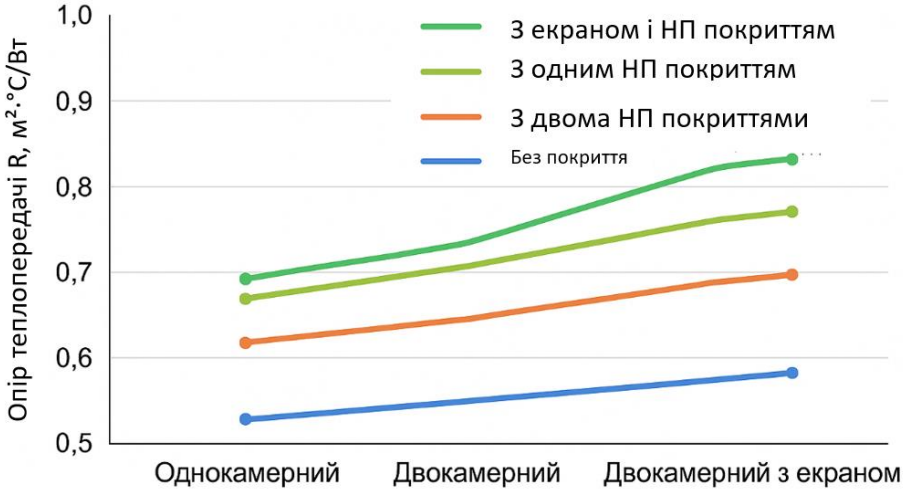


Рисунок 2 – Опір теплопередачі R від типу склопакета

На рисунку 2 представлено результати порівняння теплотехнічної ефективності віконних систем. Зі збільшенням кількості камер у склопакеті та застосуванням енергоефективних рішень (I-скло, тепловідбиваючі екрани, вакуумні прошарки) опір теплопередачі зростає від 0,45 до 1,50 м²·°C/Вт. Це дозволяє знизити сумарні тепловтрати будівлі на 35–45 %, забезпечуючи відповідність сучасним вимогам ДБН В.2.6-31:2021 та класу енергоефективності А [1].

2. Оцінка зниження енергоспоживання

Розрахункові дані щодо економії річних витрат енергії наведені на рисунку 3. Перехід від традиційного скління до систем з I-склом забезпечує економію близько 25 %, використання тепловідбиваючих екранів – 35 %, а впровадження динамічних систем із автоматизованим регулюванням – до 45 %.

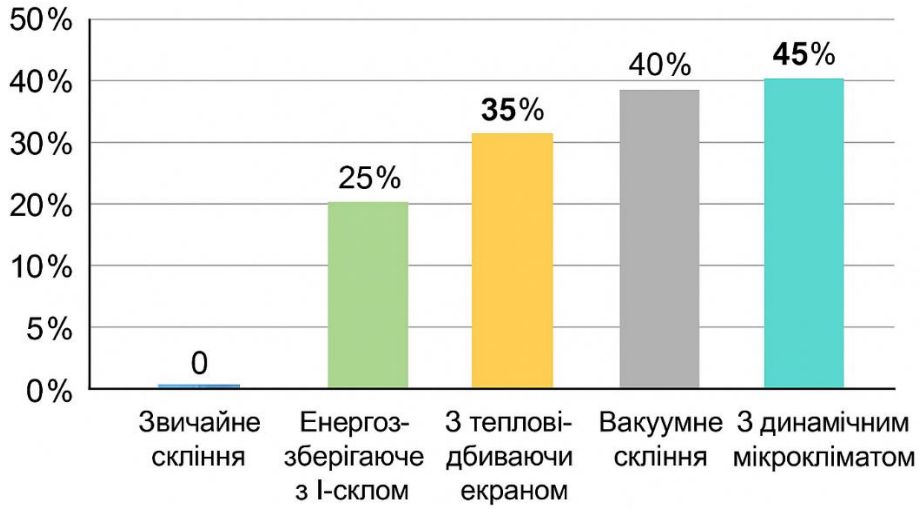


Рисунок 3 – Оціночне зниження річного споживання енергії

Отже, застосування комплексного підходу, який поєднує покриття низької емісії, вакуумне середовище та адаптивні елементи керування мікрокліматом, дозволяє забезпечити перехід будівлі до класу енергоефективності А+, відповідно до стандартів LEED і BREEAM.

3. Температурний стан внутрішніх поверхонь

Тепловізійні спостереження та чисельні моделі (рис. 4, 5) показали суттєву різницю температур внутрішнього скла при однакових зовнішніх умовах (t_{ext} = −26 °C). Для звичайного подвійного скління температура внутрішньої поверхні становить лише +5 °C, що сприяє появі конденсату. У системах із I-склом та тепловідбиваючим екраном температура підвищується до +14…+15 °C. Це підвищення температури усуває зону точки роси та конденсацію вологи на відкосах, покращуючи мікроклімат приміщень.

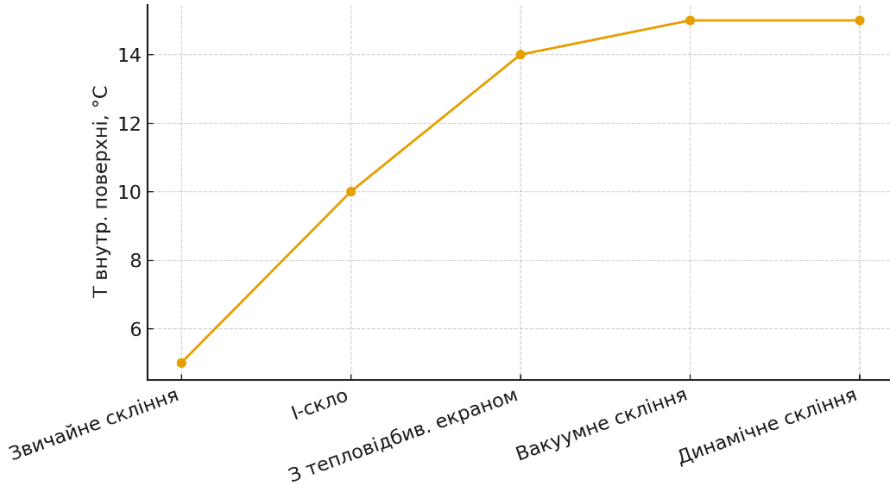


Рисунок 4 – Температура внутрішньої поверхні скла при t_{ext} = −26 °C

Рис. 5-6 ілюструє розподіл теплових потоків через вузол з'єднання рами ПВХ-профілю зі стіною. Основні втрати концентруються в зоні монтажного шва й відкосів. Застосування еластичного утеплювача, монтажної піни з низькою теплопровідністю та зовнішнього герметика дозволяє зменшити втрати до 10–12 % у порівнянні зі стандартним монтажем. Таким чином, у моделі з тепловідбиваючим екраном теплові потоки розподіляються рівномірніше.

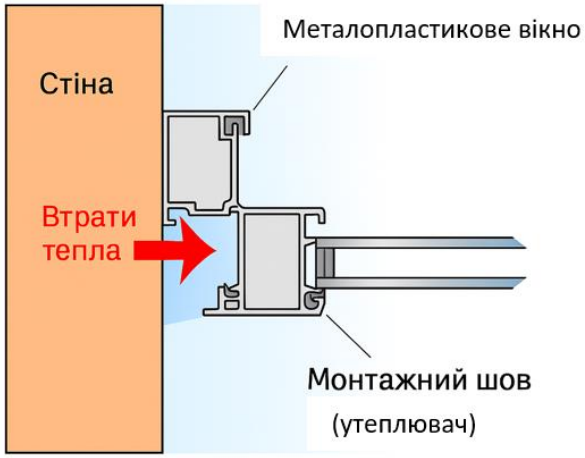


Рисунок 5 – Теплові потоки у вузлі примикання металопластикового вікна до стіни

На рисунку 6 ліворуч показано температурне поле у вузлі примикання звичайного вікна: спостерігаються сині зони охолодження та зона точки роси поблизу відкосу. Праворуч – енергоефективне рішення з тепловідбиваючим екраном і терморозривом у монтажному шві, де температура внутрішньої поверхні підвищується до +14 °C. Це усуває промерзання та покращує гігієнічні умови експлуатації.

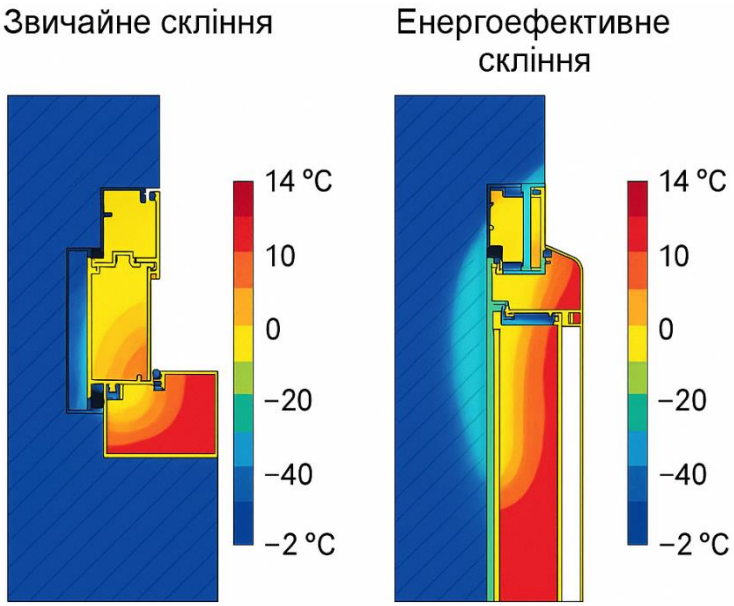


Рисунок 6 – Порівняння температурних полів у вузлі примикання вікна

4. Конструктивні рішення та інтеграція в адаптивні системи

Сучасні енергоефективні світлопрозорі системи формуються на основі ПВХ-профілів з термовставками, аргонових камер, тепловідбиваючих плівок та внутрішніх жалюзі з можливістю автоматизованого регулювання.

Конструкція віконного блока (див. рис. 7) передбачає інтеграцію датчиків температури, освітленості та контролера керування. На рис. 7 показано двокамерний склопакет із заповненням аргоном, тепловідбиваючим екраном і автоматичними жалюзі в міжскляному просторі. Така конструкція

дозволяє регулювати інтенсивність сонячного випромінювання, підвищуючи опір теплопередачі до 1,5 м²·°С/Вт. Система забезпечує відбиття інфрачервоного випромінювання взимку та зменшення сонячного перегріву влітку. Дана система може інтегруватися в «розумні» фасади, забезпечуючи баланс між освітленням, комфортом і енергоощадністю.

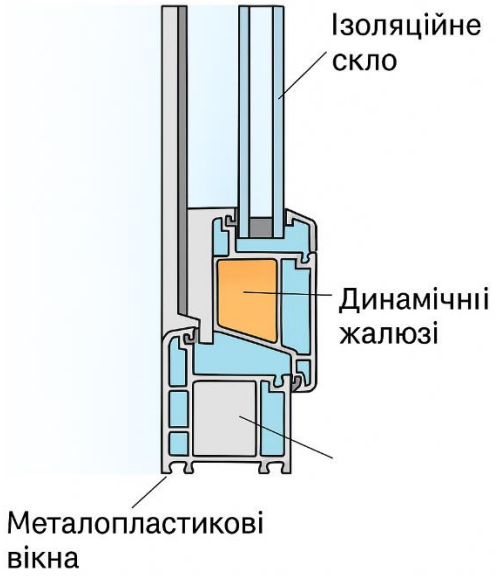


Рисунок 7 – Конструкція енергоефективного віконного блока з тепловідбиваючим екраном і динамічними жалюзі

Такі рішення забезпечують не лише зменшення енергоспоживання, а й комфортне освітлення, можливість регулювання рівня сонячного випромінювання та природного освітлення, що особливо актуально для будівель з великими скліннями фасадів.

5. Динамічний мікроклімат і керовані системи теплового балансу

Одним із найперспективніших напрямів підвищення енергоефективності є впровадження систем динамічного мікроклімату, що дозволяють змінювати опір теплопередачі в залежності від кліматичних умов. Принцип роботи таких систем показано на рис. 8. Схема відображає роботу системи в двох режимах:

- зимовий режим (утримання тепла): жалюзі відхилені так, щоб мінімізувати втрати, теплові потоки спрямовані всередину;
- літній режим (відбиття випромінювання): жалюзі перекривають пряме сонячне випромінювання, зменшуючи перегрів приміщення.

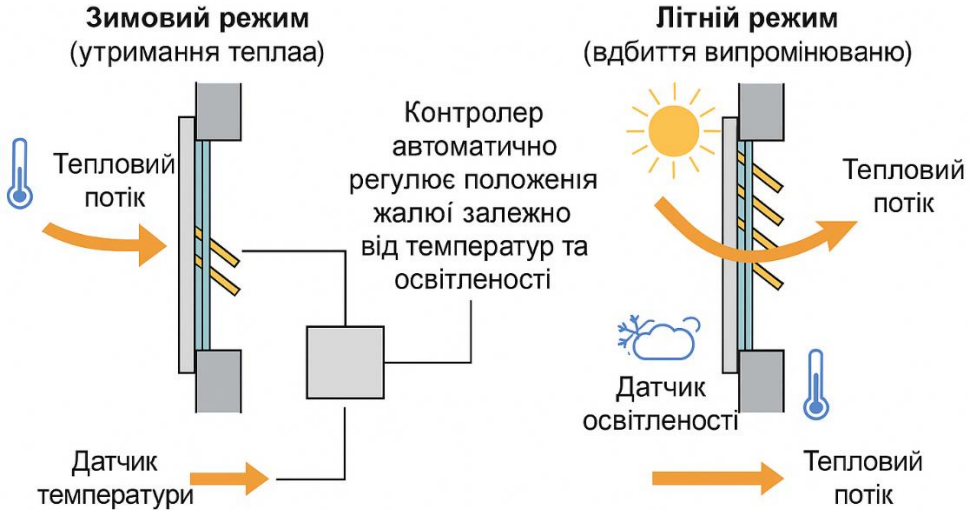


Рисунок 8 – Принцип регульованого опору теплопередачі в системах динамічного мікроклімату

У зимовий період жалюзі закривають міжскляний простір, зменшуючи втрати тепла, а влітку – відбивають сонячне випромінювання, запобігаючи перегріву приміщення. Контролер автоматично регулює положення жалюзі за сигналами датчиків температури та освітленості, підтримуючи оптимальний тепловий баланс. Результати експериментів показали, що такі системи дозволяють зменшити річне енергоспоживання будівлі на 30–45 %.

6. Узагальнення результатів

Узагальнені показники основних типів систем наведено у табл. 3, де відображено вплив технічних рішень на теплотехнічні, експлуатаційні та енергетичні характеристики.

Таблиця 3 – Основні технічні характеристики досліджених систем

Показник	Одиниця вимірювання	Звичайне вікно	Енергоефективне з I-склом	З тепловідбиваючим екраном / динамічне
Опір теплопередачі R	м²·°C/Вт	0,45	0,80	1,20–1,50
Температура внутрішнього скла при –26 °C зовні	°C	+5	+10	+14–15
Втрати тепла через 1 м² вікна	кВт·год/рік	320	210	150–170
Зниження витрат на опалення	%	—	25	35–40
Термін служби профілю	років	25	35	40–50

Підвищення теплозахисних властивостей супроводжується зростанням довговічності та стабільності конструкції. Комплексна модернізація зменшує тепловтрати майже вдвічі (до 40 %), забезпечуючи комфорт і екологічну ефективність будівель. Використання таких систем у новому цивільному будівництві дає можливість скоротити викиди CO_2 на 15–20 %, що узгоджується з європейськими директивами EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) [19].

Модернізація конструкції дозволяє знизити теплові втрати, підвищити температуру внутрішньої поверхні скла до комфортного рівня, досягти стабільності форми профілю й подовжити строк експлуатації системи майже удвічі – з 25 до 50 років.

Висновки

1. Проведені дослідження підтвердили, що застосування енергоефективних рішень у металопластикових світлопрозорих системах — I-покриття, тепловідбиваючих екранів, вакуумного прошарку та динамічних жалюзі — забезпечує підвищення опору теплопередачі з 0,45 до 1,50 м²·°C/Вт і зниження річного енергоспоживання будівель на 35–45 %.
2. Оптимізація вузлів примикання зі зменшенням теплових втрат на 10–12 % усуває появу точки роси та покращує мікроклімат приміщень.
3. Використання систем із динамічним мікрокліматом дозволяє автоматично регулювати тепловий баланс залежно від сезону, що сприяє додатковій економії до 30 %.
4. Розроблені рішення відповідають вимогам ДБН В.2.6-31:2021 і принципам LEED, BREEAM, забезпечуючи довговічність, енергоощадність і комфорт експлуатації в сучасному цивільному будівництві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний з 2022-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2021. 108 с.
2. Закон України № 2118-VIII від 22.06.2017 р. Про енергетичну ефективність будівель // Відомості Верховної Ради України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19

3. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об’єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1. [Чинний з 2022-09-01]. Київ: Мінрегіон України, 2018. 41 с.

4. ДСТУ Б В.2.6-145:2010. Конструкції будинків і споруд. Вікна та двері з полівінілхлоридних профілів. Загальні технічні умови. [Чинний з 2011-07-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 20101. 48 с.

5. Басок, Б. І., Недбайло, О. М., Божко, І. К., Мартинєв, В. О. Підвищення теплотехнічної ефективності двокамерних вентильованих світлопрозорих огороджувальних конструкцій // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку — PEMS’22: Збірник матеріалів конференції (15–17 листопада 2022 р.) / за ред. О. М. Недбайла. Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022. С. 29–30. URL: https://iee.kpi.ua/wp-content/uploads/2024/02/Збірник-матеріалів-конференції-PEMS-2022.pdf

6. Ратушняк Г. С., Панкевич В. В., Панкевич О. Д., Гуменчук А. Є. Модель вибору віконних конструкцій для проєктування будівель з урахуванням безпекової ситуації. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2025. № 3. С. 17–25. DOI: 10.31649/1997-9266-2025-180-3-17-25. URL: https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/3256

7. Енергоефективні технології в будівництві: сучасні рішення для енергозбереження. URL: https://credo-development.com.ua/energoefektyvni-tehnologiyi-v-budivnycztvi-suchasni-rishennya-dlya-energozberezhennya/

8. Ратушняк Г. С., Панкевич. О. Д., Панкевич В. В. Оцінювання енергоефективності світлопрозорих огороджувальних конструкцій будівель. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2021. Т. 31, №. 2, С. 81-87. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-2-81-87.

9. Фаренюк Є. Г. Тепловий режим світлопрозорих огороджувальних онструкцій сучасних багатоповерхових будівель : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Захищена 16.10.15. Рівне, 2015. 178 с.

10. Chowdhary A. K., Sikdar D. Design of electrotunable all-weather smart windows. Solar energy materials and solar cells. 2021. Vol. 222. P. 110921. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110921.

11. Bian Wang, Mangwei Cui, Yanfeng Gao, Fuyi Jiang, Wei Du, Feng Gao, Litao Kang, Chunyi Zhi, Hongjie Luo A Long-Life Battery-Type Electrochromic Window with Remarkable. Energy Storage Ability. SOLAR RRL. 2019. Vol. 4. DOI: https://doi.org/10.1002/solr.201900425.

12. Carlos E. Ochoa, Myriam B. C. Aries, Evert J. van Loenen, Jan L. M. Hensen Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort. Applied Energy. 2012. Vol. 95. Pp. 238-245. DOI:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.042.

13. Ратушняк Г. С., Панкевич. О. Д., Панкевич В. В. Теплотехнічні особливості світлопрозорих огороджувальних конструкцій будівель. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2021. Т. 30, № 1. С. 148-156. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-1-148-156.

14. Панкевич О. Д., Миколаєнко В. В., Панкевич В. В. Вплив конструктивних рішень вузлових з’єднань (місць примикання конструкцій) на енергоефективність будівлі. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2020. Т. 27, № 2. С. 20-29. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-20-29.

15. Криворучко, С. В. Аналіз та практичне застосування енергоактивних віконних конструкцій : магістерська дис. : 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Криворучко Станіслав Володимирович. Київ, 2023. 86 с.

16. Енергоефективність: як позбутися тепловтрат для металопластикових вікон. URL: https://veka.ua/ua/spravochnik/articles/windows/energoefektivnist-yak-pozbutisya-teplovtrat-dlya-metaloplastikovikh-vikon/

17. Вимоги до енергоефективності вікон. Економічний аспект. Вивчаємо досвід Польщі. URL: https://wt.com.ua/biblioteka/stati/1073-vimogi-do-energoefektivnosti-vikon-ekonomichnij-aspekt-vivchaemo-dosvid-polshchi.html

18. ДСТУ Б В.2.6-101:2010. Конструкції будинків та споруд. Метод визначення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій. [Чинний з 2010-10-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 90 с.

19. Сергейчук О., Кожедуб С. Розробка критеріальної оцінки енергоефективності та екологічності будівельних об’єктів // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – 2018. – № 11. – С. 61–68. DOI: 10.32347/2310-0516.2018.11.61-68

Осаулко Роман Сергійович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Христич Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: khristych@vntu.edu.ua

Osaulko Roman Serhiyovych **–** student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Khristych Oleksandr **–** Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: khristych@vntu.edu.ua

УДК 624.15

О. Ю. Шмундяк
М. С. Барбалюк
І. В. Маєвська

РЕЗУЛЬТАТИ ПЕРШОГО ЕТАПУ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОРОТКИХ І ДОВГИХ ПАЛЬ У СТОВПЧАСТИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТАХ ШЛЯХОМ ФІЗИЧНОГО МАЛОМАСШТАБНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі наведені результати першого етапу фізичного моделювання на маломасштабних моделях роботи паль та низького ростверку у складі пальового фундаменту. Метою досліджень є порівняння роботи коротких та довгих паль у складі фундаменту, враховуючі роботу ростверку. Виконаний опис використаного устаткування, моделей паль та ростверку з ілюстрацією шляхом фотофіксації. Наведений план проведення експериментальних досліджень. Викладені результати першого етапу досліджень з варіюванням довжиною паль. Проведено також випробування ростверку пальового фундаменту без паль з метою визначення реалізації роботи ростверка у складі фундаменту.

Ключові слова: новий пальовий фундамент, короткі палі, довгі палі, ростверк, планування експерименту, маломасштабні моделі.

Abstract

The paper presents the results of the first stage of physical modeling on small-scale models of piles and low grillage as part of a pile foundation. The purpose of the research is to compare the operation of short and long piles as part of a foundation, taking into account the operation of the grillage. The equipment used, pile and grillage models are described with an illustration by photofixation. A plan for conducting experimental research is presented. The results of the first stage of research with varying pile lengths are presented. A test of the grillage of a pile foundation without piles was also carried out to determine the implementation of the grillage as part of the foundation.

Keywords: new pile foundation, short piles, long piles, grillage, experimental planning, small-scale models.

Вступ

Використання ресурсів несучої здатності паль є одним із ефективних способів досягнення економії при влаштуванні пальових фундаментів. Ці ресурси пов'язані як з включенням у роботу ростверку, що не передбачене чинними нормами [1], так і врахуванням різного ступеню реалізації несучої здатності паль в залежності від їх довжини.

Попередні дослідження показали [2-5], що короткі палі краще реалізують свою несучу здатність при спільній роботі з ростверком, що дозволяє зменшувати кількість паль в межах габаритів ростверку без суттєвої втрати несучої здатності куща.

Попередньо авторами було проаналізоване питання, чи може бути економічно доцільним використання коротких паль у порівнянні з довгими і за яких умов використання коротких паль може дати економічний ефект [5]. При проєктуванні за нормами [1] короткі палі частіше за все замінюються меншою кількістю довгих паль. В роботі [5] на підставі результатів математичного моделювання доведено, що за рахунок кращої реалізації роботи елементів пальового фундаменту для паль малої довжини з великим кроком можна досягти однакової несучої здатності з фундаментом з паль великої довжини при традиційному мінімальному кроці 3d.

Для підтвердження раніше виконаного попереднього дослідження ефективності використання коротких паль у складі стовпчастого пальового фундаменту виконаний фізичний експеримент на маломасштабних моделях. Проведені дослідження розглядають стовпчасті пальові фундаменти при новому будівництві.

Устаткування та прилади для проведення фізичного моделювання

Випробування маломасштабних моделей пальового фундаменту проводилось у лабораторному лотку розміром 1800×1200×1000 мм, обладнаного упорною системою для домкрату, який передає навантаження на пальовий кущ.

В якості ґрунту використовувався пісок середньої крупності із щільністю ρ = 1,67 г/см^3 та вологістю w = 0,07. Основа створювалась шляхом пошарового засипання у лоток піску заданої вологості з ущільненням кожного шару до заданої щільності. Щільність контролювалась методом ріжучого кільця у трьох точках кожного шару товщиною 15 см.

Навантаження на модель фундаменту передавалось за допомогою гвинтового домкрату вантажопідйомністю 1,5 т, а для виміру зусилля, що передається на фундамент, використовувався динамометр з максимальним зусиллям 3 т.

Для замірювання переміщень моделі фундаменту використовувалась система прогиномірів, встановлена на незалежній реперній системі, закріпленій на стінки лотка.

Проведені раніше моделювання стовпчастих пальових фундаментів на маломасштабних моделях при кафедрі БМГА ВНТУ [2, 4] дозволили обрати масштаб моделювання 1:20, який дозволить довести до втрати несучої здатності фундаменти з моделями паль довжиною до 10 м при перерізі 30х30 см (виходячи з обмежених можливостей упорної системи).

Для випробувань виготовлені моделі дерев'яних паль перерізом 15х15 мм з довжинами 150, 230, 300 та 450 мм (відповідають натурним палям перерізом 300х300 мм з довжинами 3, 4,5, 6 та 9 м) (рис. 1).



Рис. 1 – Дерев'яні моделі паль різної довжини

З метою варіювання кроком паль було виготовлено моделі ростверків, що дозволяють приймати крок паль 3d, 5d та 7d, де d – розмір поперечника палі. Моделі ростверків виготовлені з трьох металевих пластин товщиною 10 та 18 мм з передбаченими в нижній та середній пластинах отворів для пропуску голів паль. На рис. 2 наведене конструктивне рішення одного з ростверків.

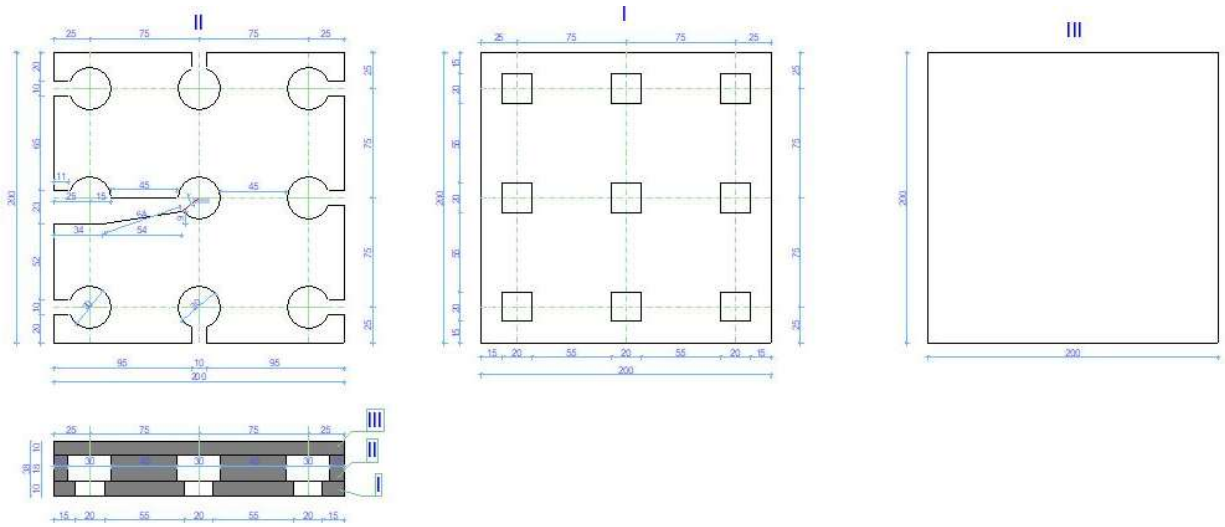


Рис. 2 – Конструктивне рішення ростверку під максимальну кількість паль 9 шт. при кроці паль 5d

Передбачено 5 моделей ростверків з умови розміщення 4, 9 або 16 паль. На рис. 3 наведені геометричні розміри моделей ростверків, на рис. 4 – виготовлені моделі ростверків.

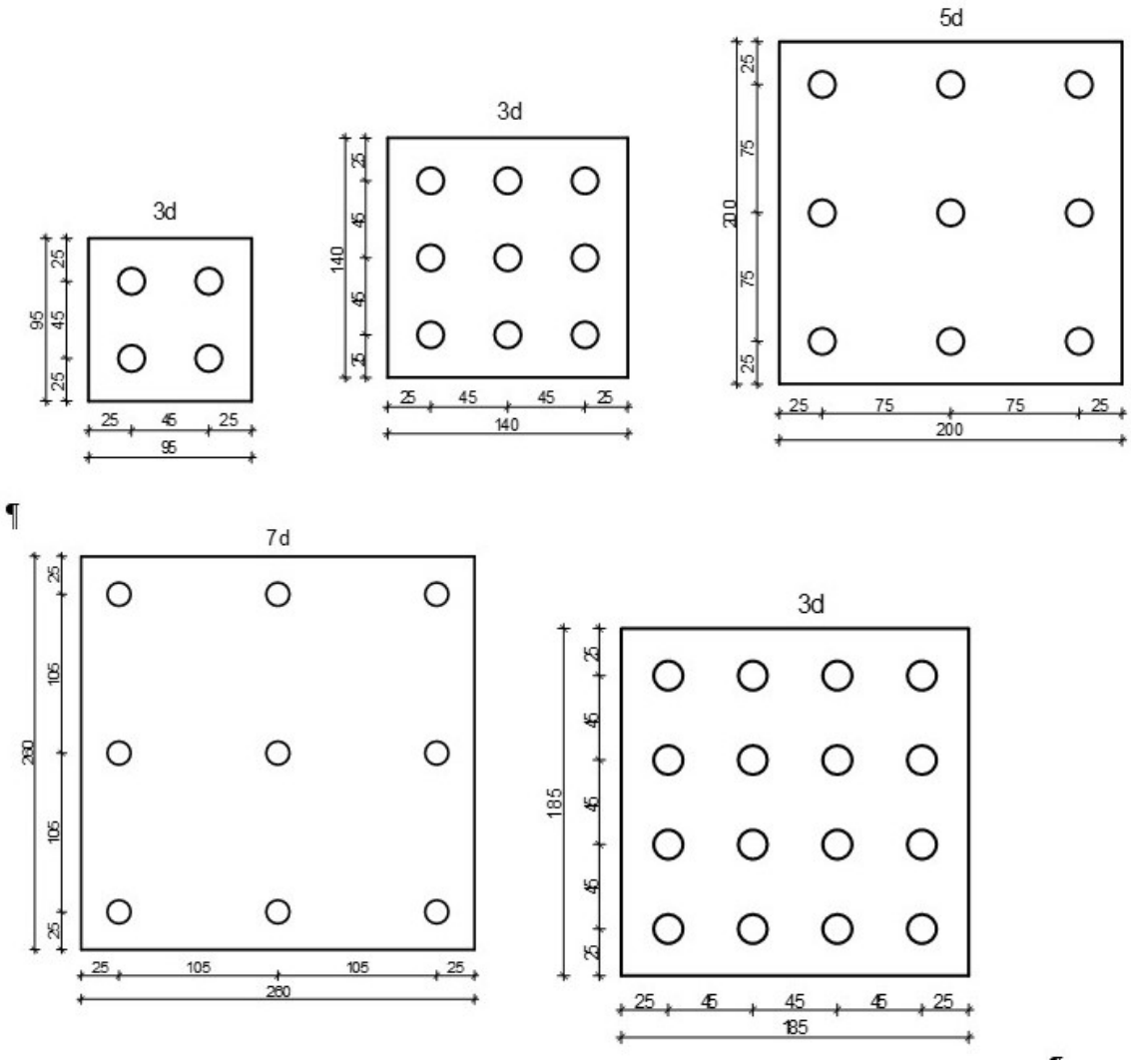


Рис. 3 – Схеми моделей ростверків



Рис. 4 – Моделі ростверків

При проведенні досліджень визначались зусилля у палях куща за допомогою тензометричних датчиків, встановлених на голови паль. Використовувались датчики промислового виготовлення, передбачені для виміру поздовжніх зусиль до 2 кН. Принцип розміщення датчиків в межах середньої пластини моделі ростверка наведений на рис. 5.

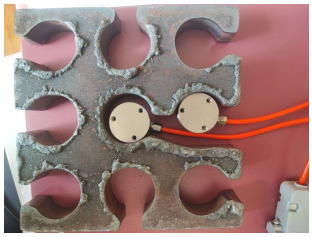


Рис. 5 – Принцип розміщення датчиків в межах середньої пластини моделі ростверка

Для фіксації показів датчиків і перетворення їх у зусилля в палях був виготовлений спеціальний пристрій для замірів навантаження, що припадає на палі групи. Пристрій дозволяє одночасно фіксувати зусилля у 14 палях (рис. 6).

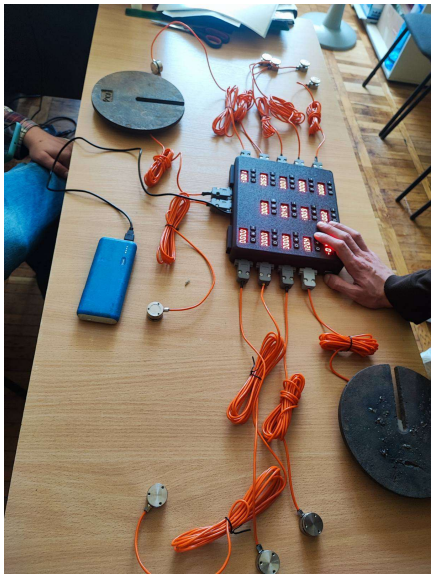


Рис. 6 – Пристрій для замірів навантажень, що припадають на палі групи

На рис 7 показана схема занурення паль у отвори ростверка.



Рис. 7 – Процес занурення паль у отвори ростверка

На рис. 8 наведене розміщення датчиків у тілі ростверка.



Рис. 8 – Розміщення датчиків у тілі ростверка

На рис. 9 показана в зборі система для передавання навантаження на модель ростверку (штамп) без паль, на рис. 10 – система в зборі для передавання навантаження на модель пальового фундаменту.



Рис. 9 – Система для передавання навантаження на модель ростверку (штамп) без паль



Рис. 10 – Система для передавання навантаження на модель пальового фундамента

План експериментів фізичного моделювання

На 1 етапі досліджень випробувались пальові фундаменти з різною кількістю паль, розміщених у кожному отворі виготовлених ростверків (рис. 3). Випробування передбачали використання паль найменшої довжини 150 мм (модель палі довжиною 3 м) і найбільшої довжини 450 мм (модель палі довжиною 9 м).

При плануванні модельного експерименту в якості незалежних змінних обрані основні геометричні параметри пальового куща:

- приведена довжина палі, l/d;
- крок паль в кущі.

Межі варіювання параметрів прийняті з врахуванням практики використання пальових фундаментів. Приведена довжина паль обмежена внаслідок обмежених можливостей упорної системи лотка. У таблиці 1 наведена програма 1 етапу модельного експериментального дослідження.

Таблиця 1 - Програма І етапу модельного експериментального дослідження стовпчастих пальових фундаментів

Розміри ростверку, мм	Крок паль	Кількість паль	Довжина паль, мм	Приведена довжина паль
95x95	3d	4	150	10
			450	30
140x140	3d	9	150	10
			450	30
200x200	5d	9	150	10
			450	30
260x260	7d	9	150	10
			450	30
185x185	3d	16	150	10
			450	30

Передача статичного навантаження на фундамент здійснювалась ступенями з витримкою кожного ступеня до умовної стабілізації деформацій (не більше 0,25 мм за 15 хв. спостережень) до досягнення навантаженням граничного значення.

Для аналізу відмінності поведінки паль і ростверку у складі кущового фундаменту і поведінки одиночної палі та плити ростверку проведенні випробування одиночних паль різної довжини та плит ростверків без паль.

Результати І етапу фізичного моделювання роботи стовпчастого пальового фундаменту з палями різної довжини

В результаті проведення експерименту за розробленою програмою дослідження були одержані графіки залежності осідання – навантаження куща в цілому та графіки залежності сумарної несучої здатності паль від його осідання. Також були одержані графіки осідання – навантаження за результатами випробування одиночних паль різної довжини, графік осідання – навантаження при випробуванні плити ростверку як штампа без паль.

На рис. 11 для прикладу наведені такі графіки для ростверку 200x200 мм фундаменту з 9 паль з кроком 5d.

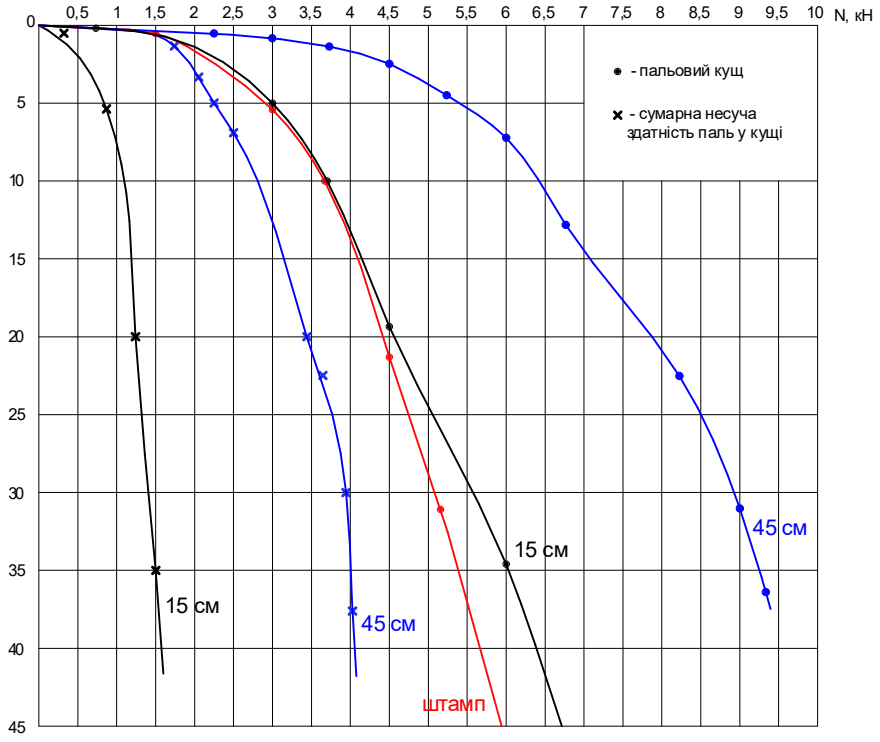


Рис. 11 – Графіки осідання – навантаження для ростверку 200x200 мм фундаменту з 9 паль з кроком 5d

Висновки

1. Частка ростверку у навантаженні на пальовий фундамент зменшується із збільшенням їх довжини.
2. Зменшення довжини паль у 3 рази призводить до зменшення несучої здатності пальового фундаменту у 1,5 рази.
3. Проведення досліджень доводить доцільність використання коротких паль при улаштуванні пальових фундаментів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування зі зміною №1 та №2. [Чинний від 2012-07-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 161 с. (Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення).
2. Маєвська І. В., Блащук Н. В. Робота паль і ростверку у складі стовпчастих пальових фундаментів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2023. 182 с.
3. Маєвська І. В., Блащук Н. В., Кремінська Ю. О. Особливості роботи пальових кущів з коротких паль за даними числового моделювання. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Вип.43. Київ : КНУБА, 2021. С.30-39.
4. Маєвська І. В. Попович М.М., Кремінська Ю. О. Різниця в роботі коротких і довгих паль у складі стовпчастого пальового фундаменту за результатами фізичного моделювання. „Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві”, н/т збірник ВНТУ, Вінниця. 2022. №2(33). С. 108-118.
5. Саміленко В. В., Шмундяк О.Ю., Маєвська І.В. Практична доцільність переходу від довгих до коротких паль у стовпчастих пальових фундаментах. Матеріали міжнародної н/т конференції «ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ В ГАЛУЗЯХ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ (2023)», Вінниця, 2023. [Електронний ресурс]. https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2023/paper/view/19121.

Шмундяк Олександр Юрійович - аспірант, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: shmund@ukr.net.

Барбалюк Максим Сергійович - студент гр. 2Б-24б, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: destroyer.maksimka@gmail.com

Маєвська Ірина Вікторівна — доцент кафедри "Будівництва, міського господарства та архітектури". Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com.

Shmundyak Oleksandr YU — Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : shmund@ukr.net

Barbaliuk Maksym Serhiyovych - student, group 2B-24b, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: destroyer.maksimka@gmail.com

Maievskaya Irina Victorivna – associate professor of the Department of "Building, Urban and Architecture". Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com

УДК 692.43

І. О. Слюсар
А. В. Бондар

ЗЕЛЕНІ ПОКРІВЛІ ТА ФАСАДИ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі представлено проєкт реконструкції шкільної будівлі з упровадженням зеленої покрівлі та вертикальних озеленених фасадів як засобів підвищення енергоефективності й екологічної стійкості. Зелена покрівля виконує теплоізоляційну, водоутримувальну й рекреаційну функції, а озеленені фасади поліпшують мікроклімат і акустичний комфорт. Проєкт відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021, ДСТУ 9190:2022 і принципам сталого розвитку, формуючи сучасне енергоефективне та екологічно безпечне навчальне середовище.

Ключові слова: реконструкція школи, зелена покрівля, озеленений фасад, енергоефективність, сталий розвиток.

Abstracts

The paper presents a project for the reconstruction of a school building that integrates a green roof and vertical green façades as effective means of improving energy efficiency and environmental sustainability. The green roof performs thermal insulation, water retention, and recreational functions, while the green façades enhance the microclimate and acoustic comfort. The project complies with the requirements of DBN V.2.6-31:2021, DSTU 9190:2022, and the principles of sustainable development, creating a modern, energy-efficient, and environmentally safe educational environment.

Key words: school reconstruction, green roof, green façade, energy efficiency, sustainable development.

Вступ

Зелені покрівлі та фасади виступають ефективним інструментом підвищення екологічності будівель навчальних закладів під час реконструкції. Їх упровадження спрямоване на формування стійкого мікроклімату, зниження енергоспоживання, очищення повітря і створення комфортного навчального середовища. Ці системи поєднують інженерно-конструктивні, біологічні та естетичні функції, забезпечуючи гармонійне поєднання архітектури й природи.

Зелена покрівля є багатошаровою конструкцією, яка складається з теплоізоляційного, гідроізоляційного, дренажного, фільтраційного шарів і шару рослинного покриву. У реконструйованих шкільних будівлях найдоцільніше застосовувати екстенсивні або напівінтенсивні системи, що мають незначну товщину субстрату (10–20 см) і невелику вагу (100–200 кг/м²) [1, 2]. Такі системи не потребують складного догляду, але забезпечують значний енергетичний ефект і підвищення довговічності покриття.

Результати дослідження

У реконструйованих навчальних будівлях доцільним є застосування екстенсивних або напівінтенсивних систем із невеликою товщиною субстрату, які не потребують складного догляду й не створюють надмірного навантаження на перекриття. Вони виконуються з використанням сучасних матеріалів: полімерних мембран з антикореневим покриттям, теплоізоляції з екструдованого пінополістиролу або PIR-плит, легких мінеральних субстратів на основі перліту та вермікуліту, а також геотекстильних дренажних прошарків [3]. Така система зменшує температуру зовнішньої поверхні даху влітку на 25–35 °С, скорочує тепловтрати через покриття на 20–28 % і водночас забезпечує акумулювання до 80–90 % атмосферних опадів, які поступово випаровуються, формуючи природне охолодження (табл. 1, рис. 1). Це дозволяє знизити навантаження на зливові системи й водночас стабілізувати мікроклімат внутрішніх приміщень [4-8].

Зелена покрівля створює також природне охолодження приміщень у літній період. За результатами тепловізійного моніторингу реконструйованих навчальних корпусів улітку температура зовнішньої

поверхні зеленої покрівлі не перевищує +35 °С, тоді як традиційне покриття прогрівається до +70 °С [9-12]. Це дозволяє зменшити потребу у кондиціонуванні та покращити енергетичний баланс будівлі.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики покрівельних систем навчальних будівель

Показник	Звичайна покрівля	Екстенсивна зелена покрівля	Напівінтенсивна зелена покрівля
Товщина субстрату, см	–	5–15	15–25
Вага системи, кг/м²	70–120	100–180	200–350
Опір теплопередачі, м²·°С/Вт	2,6–3,0	4,3–4,5	4,8–5,0
Температура зовнішньої поверхні влітку, °С	70–75	35–40	30–32
Річне енергоспоживання будівлі, кВт·год/м²	210	160	140
Зниження викидів CO_2, %	–	25	30–35
Водоутримання, %	5–10	70–80	80–90

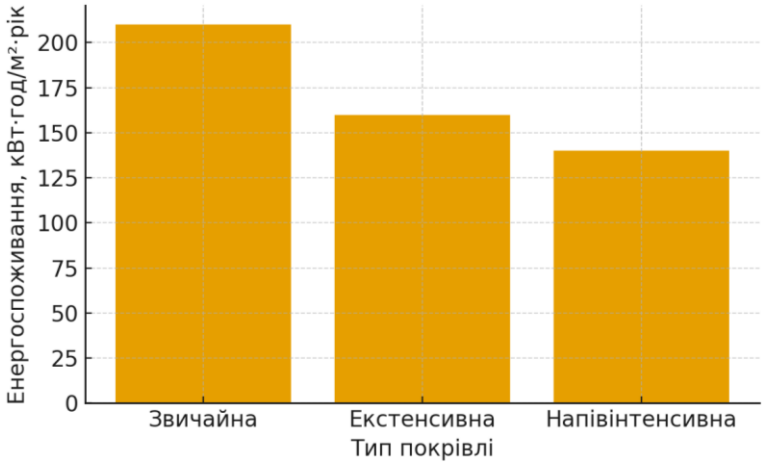


Рис. 1 – Вплив типу покрівлі на річне енергоспоживання будівлі

Окрім енергетичної, зелена покрівля виконує й соціально-екологічну функцію. На поверхні даху можна створювати навчально-рекреаційні майданчики, зони відпочинку та міні-сади, які формують позитивний психологічний ефект для учнів і вчителів.

У комплексі з покрівлею важливе місце посідає вертикальне озеленення фасадів. Зелені фасади (або біофасади) виконуються у вигляді решітчастих або модульних систем, на яких закріплюються рослини із системою зрошення [13]. Для реконструкції навчальних будівель найбільш ефективними є легкі касетні конструкції з автоматичним поливом, що не потребують значного догляду.

Як свідчать дані, застосування зелених фасадів дозволяє зменшити температуру стін у спекотний період на 10–15 °С, підвищити теплоізоляційні властивості на 35–40 % і знизити рівень шуму в класних приміщеннях до 12 дБ [14-15]. Крім того, рослинний покрив виконує фільтраційну функцію – він здатен утримувати пил і шкідливі гази, що особливо важливо для шкіл, розташованих біля транспортних магістралей (табл. 2). Графік на рис. 2 демонструє зміну температури поверхні фасаду протягом літнього дня для звичайної й зеленої систем. Для традиційного фасаду крива піднімається до 65–70 °С у полудень, тоді як для зеленого фасаду максимальне значення не перевищує 50 °С.

Таблиця 2 – Порівняння показників звичайного та зеленого фасаду

Показник	Звичайний фасад	Зелений фасад
Середня температура зовнішньої поверхні влітку, °С	65	45–50
Опір теплопередачі, м²·°С/Вт	2,8	4,0
Зменшення шумового навантаження, дБ	–	8–12
Поглинання CO_2, кг/м²·рік	–	2–3
Поліпшення якості повітря, %	–	30–40

Завдяки такому ефекту рослинність стабілізує тепловий режим і зменшує навантаження на системи вентиляції. Додатково відбувається природне зволоження повітря, а візуальне сприйняття шкільної будівлі стає м’якішим і природнішим.

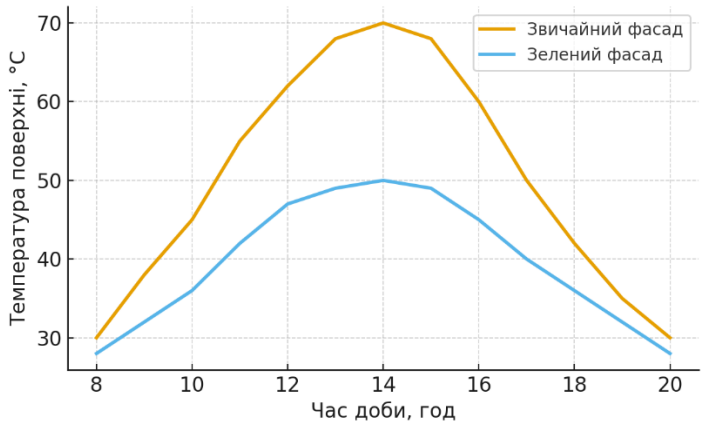


Рис. 2 – Динаміка температури поверхні фасаду залежно від типу озеленення

Комплексне поєднання зеленої покрівлі та фасаду формує біокліматичну оболонку навчального об'єкта. Моделювання показало, що при їх одночасному застосуванні питомі тепловтрати зменшуються на 35 %, а середньорічне енергоспоживання скорочується до 130–140 кВт·год/м²·рік. Екологічний ефект полягає також у зменшенні викидів CO_2 на 30–40 %, покращенні акустичного комфорту і якості внутрішнього повітря [16]. Графік на рис. 3 відображає сукупний вплив зелених технологій на енергетичні та екологічні показники будівель до та після реконструкції. Після реконструкції енергоспоживання зменшується на 35 %, тепловтрати – на 30 %, викиди CO_2 – на 40 %, рівень шуму – на 20 %, а якість внутрішнього повітря зростає на 40 %. Це свідчить про комплексний позитивний ефект від інтеграції зелених покрівель і фасадів у систему реконструкції навчальних будівель.

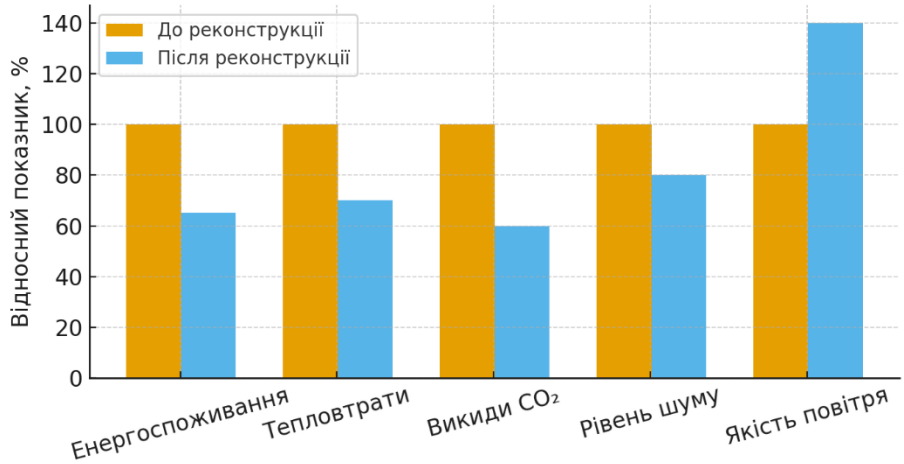


Рис. 3 – Порівняльна оцінка екологічних показників будівель до та після реконструкції

Таким чином, зелені покрівлі та фасади є не лише декоративними або енергозберігаючими елементами, а повноцінними функціональними системами, які визначають рівень екологічності реконструйованих освітніх будівель. Їх упровадження відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021, ДСТУ 9190:2022 і концепції сталого розвитку, сприяючи створенню здорового та комфортного середовища для учнів і педагогів.

Проєктне рішення реконструкції школи із впровадженням зелених покрівель і фасадів

Проєкт реконструкції будівлі школи у м. Буча Київської обл., наведений на рис. 4, спрямований на підвищення енергоефективності, екологічності та комфортності освітнього середовища відповідно до сучасних принципів сталого будівництва. Архітектурно-планувальне рішення поєднує функціональну модернізацію простору з упровадженням «зелених» технологій – озеленених покрівель, вертикальних фасадів та рекреаційних зон для учнів.

Реконструйована будівля зберігає чітку прямокутну геометрію, проте набуває нової виразності завдяки поєднанню натуральної фактури цегли з елементами вертикального озеленення. На фасадах

передбачено системи «живих стін» із виткими рослинами, які знижують перегрів поверхонь улітку, поліпшують якість повітря й створюють привабливий природний образ будівлі (табл. 3).



Рис. 5 – Візуалізації проекту рішення озеленення будівлі школи при реконструкції

Таблиця 3 – Сукупний екологічний ефект

Показник	До реконструкції	Після реконструкції	Ефект
Енергоспоживання, кВт·год/м²·рік	210	140	–33 %
Викиди CO_2, т/рік	302	201	–101 т (–33 %)
Водоутримання, м³/рік	50	435	× 8,7
Температура даху, °C	72	38	–34
Рівень шуму, дБ	70	58	–12
Якість повітря, %	100	135	+35 %

Особливістю проєкту є експлуатована зелена покрівля, що перетворена на багатофункціональний простір. На даху передбачено зони відпочинку з озелененими острівцями, місця для групової роботи учнів, майданчики для проведення уроків просто неба. Ландшафтне рішення поєднує декоративні трави, низькорослі чагарники, сидячі місця та тіньові навіси. Уздовж периметра розташовані вбудовані клумби, що утворюють природний бар’єр і покращують мікроклімат простору.

Вертикальні зелені елементи фасадів доповнені автоматичною системою зрошення, яка забезпечує оптимальну вологість рослинності. У нижній частині будівлі передбачено прозорі вітражні вікна з енергоефективним склопакетом, що підвищує природну освітленість класів і зменшує споживання електроенергії.

Архітектурний образ школи поєднує технологічну простоту з екологічною виразністю. Зелена покрівля і фасади формують новий тип навчального простору, у якому природа стає невід’ємною частиною освітнього процесу. Проєкт відповідає принципам стійкої архітектури, сприяє енергозбереженню, покращенню мікроклімату та вихованню екологічної культури серед учнів.

Висновки

Аналіз результатів дослідження свідчить про комплексний позитивний ефект від реалізації проєктного рішення. Після реконструкції спостерігається зниження питомого енергоспоживання з 210 до 140 кВт·год/м²·рік, що відповідає економії 33 % енергії. Завдяки цьому річний обсяг викидів CO_2 зменшився приблизно на 101 тонну, що дорівнює річному вуглецевому сліду понад двадцяти легкових автомобілів. Завдяки водоутримувальній здатності зеленої покрівлі, обсяг акумульованих атмосферних опадів зріс у 8–9 разів – до 435 м³ на рік, що істотно знижує навантаження на міські зливові мережі та сприяє природному охолодженню середовища. Температура поверхні покрівлі влітку зменшилася з 72 °C до 38 °C, а рівень шуму у верхніх поверхах – із 70 дБ до 58 дБ, що підвищує акустичний комфорт навчального процесу.

Окрім енергетичних показників, покращились і параметри мікроклімату: вологість і якість внутрішнього повітря зросли приблизно на 35 %, що позитивно впливає на самопочуття учнів і педагогів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мандрика А. С. Енергоефективні технології : навчальний посібник. Сумський державний університет, 2021. 330 с.
2. Зелена покрівля: екстенсивне та інтенсивне озеленення. URL: https://www.greengarth.com.ua/blog/landshaftnyj-dyzajn/zelena-pokrivlya-ekstensyvne-ta-intensyvne-ozelenennya/
3. Системи зеленої покрівлі. URL: https://gidex.com.ua/budivnytstvo-zelenykh-dakhiv/
4. Суржикова Д. Ю., Ковальський В. П. Сучасні тенденції проєктування зелених покрівель об'єктів цивільної забудови. URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/42199/20995.pdf?sequence=
5. Гавдера С., Андріїв Х. Зелена покрівля. Мат-ли VII Міжнародної студентської наук.-техн. конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2024. С. 240-241. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/44907/2/VII_MCNTK_2024_Havdera_S-Green_roof_240-241.pdf
6. Організація та експлуатація зеленої покрівлі. URL: https://vipmdh.com.ua/uk/blog/tekhnologiyi-budivnictva/organizaciya-ta-ekspluataciya-zelenoyi-pokrivli?srsltid=AfmBOoo7PK8ph_4pwjd92IX73f_LL9qR9oKePHgjB5TzQDRyJ9ftdXDR
7. Bevilacqua, P., Mazzeo, D., Arcuri, N. Thermal inertia assessment of vegetated roofs for building energy performance improvement. Energies. 2023. Vol. 18(12), 3215. DOI: https://doi.org/10.3390/en18123215
8. Gagliano A., Detommaso M., Nocera F., Patania F., Aneli S. The Retrofit of Existing Buildings Through the Exploitation of the Green Roofs – A Simulation Study. Energy Procedia. 2014. Vol. 62. P. 52–61. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.12.366
9. Vijayaraghavan, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 57. P. 740–752.
10. Savi, F., Masullo, M., Chieffo, N., Pisello, A. L. Life cycle assessment of green roofs for sustainable urban buildings: comparative approach. Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 46. Article 103761.
11. Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C. H., Riffat, S., Saadatian, E. A review of energy aspects of green roofs. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 23. P. 155–168.
12. Wong, N. H., Cheong, D. K. W., Yan, H. The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. Energy and Buildings. 2003. Vol. 35(4). P. 353–364.
13. Шарлай О. В. Вертикальне озеленення фасадів як засіб гуманізації міського архітектурного середовища. Український мистецтвознавчий дискурс, вип. 1, Березень 2025, С. 218-224. doi:10.32782/uad.2025.1.24.
14. Will Ing. Is the boom in green roofs and living walls good for sustainability? The Architects' Journal. 2021. URL: https://www.architectsjournal.co.uk/news/is-the-boom-in-green-roofs-and-living-walls-good-for-sustainability
15. Berardi U., Ghaffarian Hoseini A., State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. Applied Energy. Elsevier. 2014. P. 411–428.
16. Pérez-Urrestarazu L., Fernández-Cañero. R., Franco-Salas. A. Vertical Greening Systems and Sustainable Cities. Journal of Urban Technology. 2016. P. 65–85. URL: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10630732.2015.1073900

Слюсар Ірина Олександрівна – студентка групи Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Бондар Альона Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

Sliusar Iryna – student of group B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Bondar Alena – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

УДК 624.15

Р. Л. Хамайдула
М. М. Попович

ЗМІЦНЕННЯ ГРУНТІВ ОСНОВИ ФУНДАМЕНТІВ ПРИ НОВОМУ БУДІВНИЦТВІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація
Розглядаються конструктивні та технологічні прийоми для зміцнення слабких ґрунтів основ при влаштуванні нових фундаментів промислових будівель та споруд. Особливості влаштування ґрунтових подушок, армованих геосітками в залізобетонних оболонках.
Ключові слова: слабкі ґрунти основ, геосітки, оболонки, арматурні елементи, ґрунтові подушки.

Abstract
Structural and technological methods for strengthening weak foundation soils when constructing new foundations for industrial buildings and structures are considered. Features of the construction of soil cushions reinforced with geogrids in reinforced concrete shells.
Keywords: weak foundation soils, geogrids, shells, reinforcing elements, soil cushions.

Вступ

Для поліпшення параметрів несучої здатності основ будівель та споруд та для виключення виникнення в їх конструкціях аварійних деформацій широко використовують різні методи посилення та зміцнення основ:

- заміна слабкого прошарку основи (виконання ґрунтової подушки з піщаних сумішей, щебеню або гравію, гравійно-піщаних сумішей з пошаровим ущільненням);

- влаштування шпунтових огорож (влаштовується суцільний шпунтовий ряд по контуру фундаменту, що компенсує бічний тиск ґрунту основи);

- армування слабких основ з використанням спеціальних армуючих елементів, що забезпечують необхідну проектну несучу здатність ґрунтів;

- закріплення ґрунтів ін'єкційними та бурозмішувальними способами, технологічно заснованими на змішуванні слабких ґрунтів з водоцементною суспензією у процесі буріння.

Результати дослідження

Заміна слабкого прошарку основи з влаштуванням штучних основ (виконання ґрунтової подушки з піщаних сумішей, щебеню або гравію, гравійно-піщаних сумішей з пошаровим ущільненням) гарно зарекомендувала себе при зведенні доріг, підпірних стінок та основ фундаментів [1]. Часто ці штучні основи підсилюють армуванням.

У літературі є інформація про велику кількість модельних випробувань і чисельних досліджень, спрямованих на розробку економічно вигідного і зручного підходу, для використання геосинтетичної арматури для збільшення несучої здатності неглибоких фундаментів. Більшість досліджень проводилися з використанням одного або декількох шарів геосинтетичної арматури, укладених горизонтально в межах сухого піщаного шару, що підтримує фундамент [2]. Автори повідомляли [3], що геотекстильна арматура з кінцями, що обертаються, вимагає меншої площі основи для будівництва фундаментів, армованих геосинтетикою, а також це викликає додаткове збільшення несучої здатності і жорсткості, в порівнянні з геосинтетичним шаром (шарами), укладеним горизонтально без обгорткових кінців в межах сухого піщаного шару.

Нами була зроблена спроба перевірити поведінку окремо стоячого стовпчастого фундамента, що спирається на слабку основу, дуже щільну штучну основу, та основу посилену геосинтетичною арматурою. Як матеріал наповнювача приймався середньозернистий пісок при різній відносній щільності та щебінь середньої крупності.

Було проведено серію лабораторних модельних випробувань для вивчення поведінки осідання навантаження та несучої здатності фундаменту мілкого закладання. Фундамент мілкого закладання випробували на слабкій основі, ущільненій основі, основі влаштованій в оболонці, яка повторює форму фундамента, як неармованій і армованій з армуванням геосітками.

Випробування лабораторного зразка проводилися в ґрунтовому лотку з внутрішніми розмірами 1800 мм завдовжки, 1200 мм завширшки та 1000 мм заввишки. Використанням опорної рами, двох рам для кріплення прогиномірів, моделі механізму для ущільнення ґрунту, силового динамометра на 30 кН, гідравлічного домкрату (рис.1). Стадії випробувань фіксувалися методом фотофіксації.



Рис.1. Процес випробування

Ґрунтовий лоток був заповнений піском вкладеним шарами з ущільненням, кожен ущільнений шар мав товщину приблизно 150 мм. Кожен шар піску ущільнювали ручною трамбівкою для досягнення потрібної відносної щільності, щоб мати однорідну піщану основу. При використанні ручної трамбівки було проведено кілька попередніх випробувань для визначення кількості ударів, необхідних для досягнення бажаної відносної щільності піску. Після підготовки піщаної подушки і виконання всіх заходів, як показано на рис. 1, випробування починалося з першого етапу з початковою реєстрацією показання динамометра і прогиномірів без будь-якого прикладання навантаження на фундамент.

Нормальне стискаюче навантаження було прикладено до фундаменту за допомогою гідравлічного домкрата потужністю 50 кН з упором на опорну раму з кроком 0,3 кН, що призвело до тиску 10 кН/м^2. Крок навантаження контролювався за допомогою зразкового динамометра на 30 кН. Кожен крок навантаження зберігався постійним до стабілізації осідання. Фіксували навантаження і відповідне осідання для випадків випробування фундаменту на слабкій основі, основі з ущільненим ґрунтом, основі з ґрунтом ущільненим в оболонці, ґрунтом з армуванням верхнього шару і ґрунтом з використанням для штучної основи одного шару з щебеню, розташованого в оболонці.

Криві навантаження осідання представлені на рис. 3. Граничні несучі навантаження можна визначити, відзначаючи несучий тиск, що відповідає точці, в якій крива тиск-осідання стає крутою і прямою.



Рис.2. Армована основа

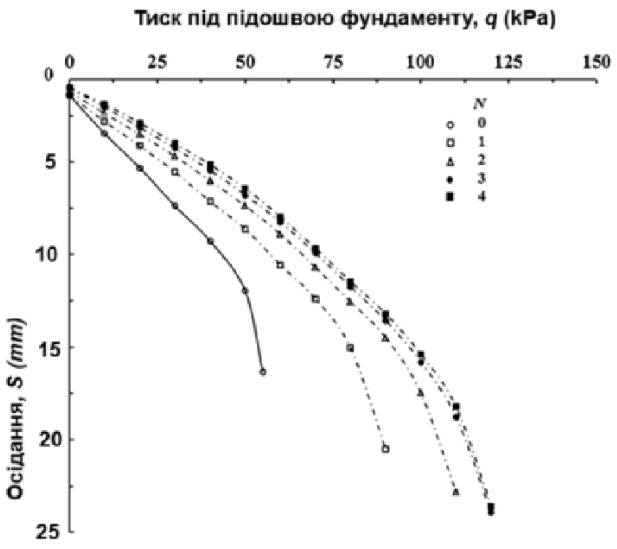


Рис.3. Залежність осідання від тиску

На рисунку 3 показана зміна осідання (S) від несучого тиску (q) для неармованих та армованих ґрунтів, де: N = 0 - слабкий ґрунт; N = 1 – ущільнений неармований ґрунт; N = 2 - ущільнений армований ґрунт; N = 3 - ущільнений армований ґрунт з анкеруванням геосітки; N = 4 - ущільнений армований ґрунт з використанням щебеневої основи.

Спостерігається, що в міру збільшення тиску під навантаженням осідання фундаменту продовжує збільшуватися до тих пір, поки піщаний шар не вийде з ладу, як для неармованих, так і для закріплених ґрунтів основи. При заданому прикладеному тиску осідання менше в міру використання шару арматури; і знижується знову ж таки з використанням оболонки і використанням в якості основи щебеню та анкеруванням кінців геотекстильної сітки.

Висновки

Прості лабораторні експерименти показали, що піщаний шар значно осідає, при більш низьких значень відносної щільності. Включення геотекстильної арматурної сітки в піщаний шар збільшує його несучу здатність і жорсткість земляного полотна. Використання оболонки в якій влаштована штучна основа, та анкерування кінців геотекстильної арматурної сітки, приносять додаткове поліпшення несучої здатності та жорсткості за рахунок механізму утримання. Так, як це дослідження ґрунтується на лабораторних експериментах, проведених на основі маломасштабних моделей, отримані результати можуть вимагати відповідної модифікації при застосуванні до прототипів натурних фундаментів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Trenter NA, Charles JA (1996) A model specification for engineered fills for building purposes. Proc ICE Geotech Eng 119(4):219–230.
2. Shukla SK (2012) Handbook of geosynthetic engineering. ICEPublishing, London.
3. Kazi M, Shukla SK, Habibi D (2014) An improved method toincrease the load-bearing capacity of strip footing resting on geotextile-reinforced sand bed. Indian Geotech J. doi:10.1007/ s40098-014-0111-9.

Хамайдула Роман Леонідович **–** здобувач групи 2Б-24м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: romanhamajdula607@gmail.com

Попович Микола Миколайович **–** к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: popovychnick@gmail.com

Roman Khamaidula **–** group 2B-24m candidate, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : romanhamajdula607@gmail.com

Mykola Popovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: popovychnick@gmail.com

УДК 691.32:620.193

М. С. Шпанюк
О. В. Бондар
О. В. Христич

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ ПРИ БЕТОНУВАННІ МОНОЛІТНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто особливості використання техногенної мінеральної сировини під час бетонування монолітних конструкцій. Проаналізовано вплив золи-винесення, гранульованого доменного шлаку, мікрокремнезему та відсівів дроблення на процеси структуроутворення цементного каменю та формування експлуатаційних властивостей бетонів. Показано, що введення активних мікродисперсних добавок сприяє інтенсифікації гідратаційних реакцій, зменшенню пористості та підвищенню щільності бетону. Обґрунтовано технічні, екологічні та економічні переваги застосування техногенної сировини в монолітному будівництві, зокрема зниження тепловиділення при твердненні, підвищення морозостійкості, водонепроникності та корозійної стійкості. Зроблено висновок про перспективність використання техногенних матеріалів як компонента бетонних сумішей для забезпечення довговічності та надійності монолітних конструкцій.

Ключові слова: техногенна сировина; монолітні конструкції; бетон; зола-винесення; доменний шлак; мікрокремнезем; пуцоланові реакції; довговічність; структуроутворення; екологічність.

Abstracts

The paper examines the features of using technogenic mineral raw materials during concreting of monolithic structures. The influence of fly ash, granulated blast furnace slag, microsilica and crushing screenings on the processes of cement stone structure formation and the formation of operational properties of concretes is analyzed. It is shown that the introduction of active microdispersed additives contributes to the intensification of hydration reactions, a decrease in porosity and an increase in the density of concrete. The technical, environmental and economic advantages of using technogenic raw materials in monolithic construction are substantiated, in particular, reducing heat release during hardening, increasing frost resistance, water resistance and corrosion resistance. A conclusion is drawn about the prospects of using technogenic materials as a component of concrete mixtures to ensure the durability and reliability of monolithic structures.

Key words: technogenic raw materials; monolithic structures; concrete; fly ash; blast furnace slag; microsilica; pozzolanic reactions; durability; structure formation; environmental friendliness.

Вступ

Сучасні підходи до виробництва бетонів для монолітних конструкцій базуються на принципах ресурсоефективності та екологічної сталості, що передбачає активне використання техногенної сировини як часткової або повної заміни традиційних компонентів бетонних сумішей. До найбільш поширених видів техногенних матеріалів належать: зола-винесення ТЕС, гранульований доменний шлак, мікрокремнезем, відсіви дроблення, металургійні шлами, подрібнений бетон та інші мінеральні промислові відходи [1-4]. Використання таких матеріалів дозволяє не лише знизити ресурсну залежність галузі, але й забезпечити підвищення експлуатаційних характеристик бетонів при одночасному зменшенні екологічного навантаження на довкілля.

Основна частина

Використання мінеральних відходів як активних мікродисперсних добавок сприяє покращенню структуроутворення цементного каменю, зменшенню пористості й підвищенню щільності монолітних бетонів (табл. 1). Зола-винесення та мікрокремнезем забезпечують пуцолановий ефект, що проявляється у додатковому зв’язуванні гідроксиду кальцію з утворенням низькоосновних гідросилікатів, які формують більш однорідну та стійку структуру матеріалу (рис. 1). Це підвищує міцність, морозостійкість та водонепроникність монолітних конструкцій. Доменний гранульований шлак може частково замінювати цемент без погіршення міцнісних характеристик, що є важливим для бетонування масивних монолітних елементів, де надмірне тепловиділення цементу може спричинити утворення температурних тріщин [4-8].

Таблиця 1 – Вплив техногенних добавок на властивості бетонів

Вид техногенної добавки	Основний ефект у бетоні	Зміна властивостей
Зола-винесення ТЕС	Пуцоланова активність, ущільнення структури	↑Міцність на стиск, ↑морозостійкість, ↓водопоглинання
Доменний гранульований шлак	Зменшення тепловиділення, підвищення щільності	↑Довговічність, ↓ризик термічних тріщин
Мікрокремнезем	Утворення високощільних C–S–H, мікроармування	↑Корозійна стійкість, ↑водонепроникність
Відсіви дроблення	Часткова заміна заповнювача	↑Щільність, ↓вартість суміші
Подрібнений бетон	Рециклінг будівельних відходів	↓Екологічні втрати, ↑економічність



Рисунок 1 – Схема впливу техногенних матеріалів на формування структури бетону

Таким чином, введення мікродисперсних техногенних добавок дозволяє інтенсифікувати процеси гідратації цементу, покращувати структуру цементного каменю та підвищувати щільність бетону.

Проведені дослідження показують, що оптимізовані суміші з техногенними добавками здатні забезпечити підвищення довговічності конструкцій за рахунок зменшення водопоглинання, проникності для агресивних середовищ, підвищення морозостійкості та корозійної стійкості арматури. Особливо ефективним є поєднання техногенних мінеральних добавок із пластифікаторами та суперпластифікаторами, що дозволяє знизити водоцементне відношення та отримати бетон високої щільності для монолітних конструкцій відповідального призначення. Особливо ефективним є застосування золи-винесення у поєднанні з суперпластифікаторами, що дозволяє досягти високих показників рухливості й водонепроникності при мінімальному водоцементному відношенні.

Таблиця 2 – Вплив техногенної сировини на довговічність бетону

Показник довговічності	Без добавок	Зола-винесення	Мікрокремнезем	Шлак	Відсіви дроблення
Морозостійкість, цикли	150	180	210	190	150-170
Водонепроникність, марка	W6	W8	W12	W10	W4-W6
Корозійна стійкість	середня	підвищена	висока	висока	середня
Міцність на стиск, МПа	60-66	70	77	75	65

Використання техногенної сировини у бетонуванні також забезпечує економічні переваги, серед яких – скорочення витрат на цемент, зменшення логістичних витрат і підвищення рентабельності виробництва бетонних сумішей. З екологічної точки зору залучення промислових відходів сприяє зменшенню кількості накопичених відходів, зниженню викидів CO_2 і формуванню більш сталих підходів до реалізації будівельних проєктів.

Таким чином, застосування техногенної сировини при бетонуванні монолітних конструкцій є

перспективним напрямом розвитку сучасних будівельних технологій, який забезпечує поєднання технічної ефективності, економічної доцільності та екологічної відповідальності. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію складів бетонів з урахуванням сумісності різних видів техногенних матеріалів, їх впливу на реологічні, фізико-механічні та довговічні характеристики бетонів.

Висновки

Отже, використання техногенних добавок підвищує довговічність бетонів, що проявляється у зростанні морозостійкості на 15–40 % залежно від виду добавки:

1. Мікрокремнезем забезпечує найкращі фізико-механічні показники, зокрема максимальне зниження пористості, підвищення щільності та приріст міцності.
2. Доменний гранульований шлак оптимальний для масивних монолітних конструкцій, оскільки зменшує тепловиділення та ризик температурних тріщин.
3. Зола-винесення покращує водонепроникність і морозостійкість, але потребує корекції водоцементного відношення для досягнення оптимальної рухливості.
4. Відсіви дроблення погіршують водонепроникність та частково морозостійкість, тому можуть застосовуватись лише як часткова заміна заповнювача в неагресивних умовах експлуатації.
5. Комплексне використання техногенних матеріалів з суперпластифікаторами забезпечує додаткове ущільнення структури бетону і підвищує корозійну стійкість арматури.

Раціональне дозування техногенних компонентів дозволяє зменшити витрати цементу на 10–25 %, що забезпечує економічний ефект без втрати експлуатаційних властивостей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Суханевич М. В. Поводження з відходами та їх використання для одержання будівельних матеріалів: навчальний посібник. Київ: КНУБА, 2011. 152 с.
2. Гасан Ю. Г., Мохорт М. А., Суханевич М. В. Будівельні матеріали з відходів паливно-енергетичної, гірничо-видобувної та збагачувальної промисловості: конспект лекцій. Київ: КНУБА, 2009. 60 с.
3. Гасан Ю. Г., Мохорт М. А. Переробка відходів чорної і кольорової металургії та паливної промисловості у будівельні матеріали: конспект лекцій. Київ: КНУБА, 2008. 44 с.
4. Дворкін Л. Й., Мироненко А. В. Будівельні матеріали та вироби із застосуванням промислових відходів: навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2019. 298 с.
5. Siddique, Rafat. Waste Materials and By-Products in Concrete. Springer, Jan. 2008. DOI:10.1007/978-3-540-74294-4. URL: https://www.researchgate.net/publication/321614712_Waste_Materials_and_By-Products_in_Concrete
6. Bilodid V., Kovalenko V., Davydenko A. Utilization of technogenic wastes in concrete production. Strength of Materials. 2021. Vol. 53(3). P. 380–392.
7. Klepikov V., Khmil R. Improving the durability of concretes using mineral industrial by-products. Materials Science Forum. 2020. Vol. 1003. P. 189–196.
8. Христич О. В., Бондар А. В. Заповнювачі будівельних сумішей з продуктів рециклінгу твердих неорганічних відходів. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2022. Т. 33, № 2, С. 19–24.

Шпанюк Микола Сергійович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Бондар Олександр Васильович – аспірант, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: alexbondar.phdoc@gmail.com

Христич Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: khristych@vntu.edu.ua

Shpanyuk Mykola – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Bondar Oleksandr – postgraduate student, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: alexbondar.phdoc@gmail.com

Khristych Oleksandr – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: khristych@vntu.edu.ua

УДК 691.3:691.175:539.2

Д. В. Собчук
О. В. Христич

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Теза присвячена сучасним технологіям виготовлення матеріалів для огороджуючих конструкцій будівель. Розглянуто газобетон, мінеральну вату, пінополістирол, пінополіуретан та композитні системи, їхні властивості та технології виробництва. Показано, як впровадження автоматизації, нанодобавок і полімерних модифікаторів підвищує енергоефективність, довговічність і екологічність будівель.

Ключові слова: огороджуючі конструкції, газобетон, пінополістирол, пінополіуретан, мінеральна вата, композитні матеріали, теплоізоляція, енергоефективність, нанотехнології, полімерні модифікатори, сталий розвиток.

Abstract

The thesis is dedicated to modern technologies for the production of materials used in building envelope structures. It examines aerated concrete, mineral wool, polystyrene, polyurethane, and composite systems, their properties, and manufacturing technologies. The study demonstrates how the implementation of automation, nanoaditives, and polymer modifiers enhances the energy efficiency, durability, and environmental performance of buildings.

Keywords: envelope structures, aerated concrete, polystyrene, polyurethane, mineral wool, composite materials, thermal insulation, energy efficiency, nanotechnologies, polymer modifiers, sustainable development.

Вступ

Сучасні технології виготовлення будівельних матеріалів для огороджуючих конструкцій спрямовані на підвищення енергоефективності, екологічності та довговічності споруд. Використання таких матеріалів, як газобетон, мінеральна вата, пінополістирол, пінополіуретан та композитні панелі, дозволяє зменшити тепловтрати, скоротити терміни будівництва й покращити експлуатаційні властивості будівель.

Завдяки інноваційним виробничим технологіям, автоматизації процесів і застосуванню модифікуючих добавок, сучасні матеріали поєднують високу якість, пожежну безпеку та економічність. Їх широке впровадження є важливою умовою формування енергоефективного та сталого будівництва майбутнього.

Результати дослідження

Огороджуючі конструкції будівель — це зовнішні елементи, які забезпечують теплоізоляцію, звукоізоляцію, вологозахист та комфортні умови всередині приміщення. До них належать зовнішні стіни, покрівлі, перекриття, фасадні панелі тощо. Від якості матеріалів, з яких вони виготовлені, залежить енергоефективність будівлі, довговічність споруди та витрати на її експлуатацію.

У сучасному будівництві основна увага приділяється створенню матеріалів нового покоління, які мають не лише високі технічні характеристики, а й відповідають принципам сталого розвитку. Це передбачає зниження енергоспоживання при їх виробництві, зменшення викидів CO_2 та можливість повторного використання матеріалів.

Інноваційні технології виготовлення теплоізоляційних матеріалів**.** Найпоширенішими матеріалами для огороджуючих конструкцій являються: газобетон, пінополістирол, пінополіуретан, мінеральна вата, а також сучасні композиційні матеріали.

Газобетон (або автоклавний ніздрюватий бетон) є одним із найпоширеніших матеріалів для зведення зовнішніх і внутрішніх стін будівель. Його головною перевагою є поєднання малої густини, високих теплоізоляційних властивостей і достатньої міцності. Виробництво газобетону базується на використанні суміші кварцового піску, цементу, вапна, води та газоутворювача (зазвичай алюмінієвого порошку). У процесі реакції виділяється водень, який формує рівномірну пористу структуру матеріалу. Після формування блоків проводиться автоклавне тверднення при температурі 180–200 °C і тиску 1,2–1,5 МПа, що забезпечує кристалізацію новоутворених мінералів (тоберморит) і підвищення міцності.

Сучасні технології виготовлення газобетону передбачають:

- автоматизоване дозування компонентів для стабільності властивостей;
- повторне використання технологічних відходів і води;
- застосування енергозберігаючих автоклавів;
- вдосконалення рецептури з використанням мікрокремнезему або золи виносу для підвищення щільності та міцності матеріалу.

Газобетонні блоки мають високу паропроникність, що дозволяє стінам «дихати», і забезпечують оптимальний мікроклімат у приміщеннях. Крім того, матеріал є негорючим і екологічно безпечним, тому активно використовується у будівництві житлових і громадських будівель.

Пінополістирол (ППС) - це термопластичний матеріал, який утворюється спінюванням гранул полістиролу під дією водяної пари. Його структура складається з безлічі закритих повітряних комірок, що забезпечує високі теплоізоляційні властивості. Сучасне виробництво пінополістиролу здійснюється за технологією екструзійного спінювання, що дозволяє отримати матеріал із більш щільною, однорідною структурою пор. Такий пінополістирол має підвищену механічну міцність і вологостійкість, тому часто використовується в системах утеплення фасадів, підлог і дахів.

Основні переваги пінополістиролу:

- низька теплопровідність;
- мала маса, що зменшує навантаження на конструкції;
- простота монтажу;
- стійкість до старіння та мікроорганізмів.

Виробники постійно вдосконалюють цей матеріал, впроваджуючи антипіренові добавки, що підвищують його вогнестійкість, а також технології рециркуляції полімерних відходів для зменшення екологічного впливу.

Пінополіуретан (ППУ) — ще один високоефективний теплоізоляційний матеріал, який утворюється в результаті реакції поліолу та ізоціанату. Його головна особливість - монолітна структура з переважно закритими порами (до 95%), що забезпечує надзвичайно низьку теплопровідність і мінімальне водопоглинання. Пінополіуретан застосовується у вигляді напилюваної або литої теплоізоляції для фасадів, покрівель, підлог, резервуарів і трубопроводів. Завдяки сучасним технологіям напилення можливе створення безшовного ізоляційного шару, що забезпечує герметичність огороджуючих конструкцій. Пінополіуретан має один із найнижчих коефіцієнтів теплопровідності серед сучасних ізоляторів і характеризується високою адгезією до будь-яких поверхонь. Це робить його універсальним матеріалом для енергоефективного будівництва.

Мінеральна вата є одним із найпоширеніших тепло- та звукоізоляційних матеріалів, який широко застосовується у виготовленні фасадних систем, перекриттів, дахів і стінових панелей. Основними сировинними компонентами для її виробництва є гірські породи (базальт, діабаз, доломіт) або доменні шлаки, які плавляться при температурі близько 1500 °C, після

чого утворюються тонкі волокна.

Сучасні технології виготовлення мінеральної вати передбачають:

- використання енергоефективних печей із точним контролем температури плавлення, що дозволяє зменшити споживання енергії;
- застосування екологічно безпечних зв'язувальних речовин, які не містять формальдегідів або фенолів (наприклад, акрилових смол або біополімерних зв'язувачів);
- додавання гідрофобізаторів, які підвищують водостійкість матеріалу без втрати паропроникності;
- покращення структури волокон завдяки впровадженню мікродобавок кремнезему, що підвищує міцність та стійкість до механічних навантажень.

Мінеральна вата має низку переваг: вона негорюча, хімічно стійка, не схильна до гниття й не створює сприятливих умов для розвитку грибків або мікроорганізмів. Завдяки цим властивостям вона ідеально підходить для енергоефективних фасадних систем і вентильованих фасадів. Останні розробки спрямовані на створення легких варіантів мінеральної вати, у яких поєднуються тонші волокна та покращена термостійкість. Це дозволяє зменшити навантаження на конструкцію будівлі, особливо у каркасних і збірних системах.

Сучасні композиційні матеріали — це багатокомпонентні системи, які поєднують у собі властивості різних речовин: полімерів, волокон, наповнювачів і модифікаторів. Їх застосування у будівництві дає змогу створювати огороджуючі конструкції з високими показниками міцності, легкості, довговічності та енергоефективності.

До найбільш перспективних видів композиційних матеріалів належать:

- склопластики та вуглепластики, які використовуються для армування панелей, профілів і каркасних елементів;
- сендвіч-панелі на полімерній основі з шарами утеплювача (мінеральна вата, пінополіуретан, пінополістирол), які поєднують жорсткість і теплоізоляційні властивості;
- геополімерні композити, створені на основі алюмосилікатів, що мають підвищену термостійкість і низький вуглецевий слід;
- біокомпозити, виготовлені з використанням природних волокон (льон, джут, базальт) у поєднанні з полімерними смолами, які забезпечують екологічну безпеку матеріалів.

Основними напрямами вдосконалення композиційних матеріалів є підвищення їх адгезійних властивостей, зниження горючості, покращення стійкості до ультрафіолетового випромінювання та біологічної корозії. Такі матеріали широко застосовуються у фасадному будівництві, для виготовлення легких огороджуючих панелей, дахових елементів та облицювальних систем. Їх перевагою є можливість створення великих панелей з мінімальною кількістю стиків і високим рівнем герметичності.

Одним із провідних напрямів розвитку сучасного матеріалознавства у виготовленні будівельних матеріалів для огороджуючих конструкцій будівель є впровадження нанотехнологій. Їхня мета - покращення фізико-механічних, експлуатаційних і довговічних властивостей матеріалів шляхом внесення до їх складу частинок із розмірами менше 100 нанометрів. На такому рівні відбуваються унікальні процеси взаємодії речовин, які суттєво впливають на структуру матеріалу.

Нанодобавки у виробництві цементних і бетонних матеріалів. Найпоширенішими нанодобавками є наночастинки діоксиду кремнію (SiO_2), оксиду титану (TiO_2), оксиду алюмінію (Al_2O_3), графену, нановуглецевих трубок, наноглини та ін.

Введення таких частинок у бетон або сухі будівельні суміші дозволяє:

- зменшити пористість матеріалу та підвищити його щільність;
- прискорити процес гідратації цементу, що сприяє більш швидкому набору міцності;
- збільшити морозостійкість і водонепроникність конструкцій;

- покращити адгезію до основи при нанесенні штукатурок та фарб.

Особливо ефективним є використання нанокремнезему, який діє як мікронаповнювач і каталізатор утворення кристалічних структур у цементному камені. Це призводить до зменшення мікротріщин, підвищення міцності на стиск і довговічності матеріалу.

Самоочисні та антимікробні покриття. Додавання наночастинок оксиду титану (TiO_2) у фасадні фарби, штукатурки та облицювальні матеріали створює ефект фотокаталітичного самоочищення. Під дією сонячного світла оксид титану розкладає органічні забруднення та шкідливі сполуки, завдяки чому фасади довше залишаються чистими, а повітря поблизу будівлі очищується від оксидів азоту.

Полімерні модифікатори в будівельних матеріалах. Поряд із нанодобавками, значну роль відіграють полімерні модифікатори, які вводять до складу цементних, вапняних або гіпсових розчинів. Їх застосування забезпечує:

- еластичність і тріщиностійкість матеріалу;
- збільшення адгезії до різних основ;
- підвищення морозостійкості та водостійкості;
- зменшення усадки при висиханні;
- довговічність у складних кліматичних умовах.

Серед найпоширеніших модифікаторів - редиспергувані полімерні порошки на основі вінілацетату, етилену, акрилатів, а також суперпластифікатори на полімерній основі. Їх використовують у сухих будівельних сумішах, клеях для плитки, штукатурках, стяжках і самовирівнювальних підлогах. Полімерні добавки формують у матеріалі гнучку полімерну плівку, яка заповнює мікропори, зменшує проникність і робить поверхню стійкою до атмосферних впливів.

Сучасні тенденції у проектуванні та зведенні огороджуючих конструкцій також базуються на використанні композитних та багатошарових матеріалів, які поєднують у собі функції несучих, теплоізоляційних та декоративно-захисних шарів. Такий підхід дозволяє значно підвищити енергоефективність, довговічність та швидкість монтажу конструкцій.

Одним із найпоширеніших типів є сендвіч-панелі – це багатошарові елементи, що складаються з:

- зовнішнього та внутрішнього облицювального шару (з оцинкованої сталі, алюмінію, композитного пластику або цементно-стружкових плит);
- теплоізоляційного шару (з мінеральної вати, пінополістиролу, пінополіуретану, газобетону тощо);
- клейового або механічного з’єднання шарів, що забезпечує жорсткість і цілісність елемента.

Основні переваги композитних систем для огороджуючих конструкцій:

- високі теплоізоляційні властивості - завдяки низькій теплопровідності утеплювального шару.
- мала маса - знижує навантаження на несучі елементи будівлі, що особливо важливо при реконструкції.
- простота та швидкість монтажу - панелі виготовляються на заводі і монтуються готовими елементами.
- вогнестійкість і екологічність - залежно від вибору утеплювача (наприклад, мінеральна вата має найвищі показники пожежної безпеки).
- естетичність та різноманітність облицювальних рішень - можливість застосування різних фактур, кольорів і покриттів.

Сучасні композитні системи для огороджуючих конструкцій також можуть мати додаткові функції — наприклад, звукоізоляцію, вентиляційні прошарки для відведення вологи, або ін-

тегровані сонячні панелі у фасадних рішеннях. Завдяки цим технологіям багатошарові огороджуючі конструкції стають енергоефективним, економічним і технологічним рішенням для сучасного будівництва — як у промислових, так і у цивільних спорудах.

Виготовлення таких систем здійснюється в заводських умовах із застосуванням високоточного обладнання, що забезпечує однорідність, міцність і точність геометрії готових елементів. Процес включає кілька основних етапів:

1. Підготовка облицювальних шарів

Для зовнішніх і внутрішніх поверхонь сендвіч-панелей використовують: оцинковану або фарбовану сталь, алюмінієві листи, цементно-стружкові плити, склопластик чи полімерні композити. Листи очищуються, знежирюються, покриваються захисними шарами (цинковим, полімерним, фарбовим) і нарізаються до необхідних розмірів.

2. Підготовка теплоізоляційного шару. Утеплювач підбирається за вимогами до теплозахисту, пожежної безпеки і вологостійкості.

3. Формування «сендвіч»-структури. Це ключовий етап, коли відбувається склеювання шарів у єдину композитну систему.

4. Полімеризація і пресування. Якщо використовується поліуретановий утеплювач або клей, відбувається реакція полімеризації — матеріал твердне і набуває міцності.

5. Розкрій і фінішна обробка. Готові панелі обрізають за розміром, формують замкові стики для щільного з’єднання на будівельному майданчику. Після цього вони проходять контроль якості — перевірку на адгезію шарів, рівність поверхні, точність товщини та теплопровідність.

6. Пакування і транспортування. Панелі пакуються в захисну плівку, укладаються на дерев’яні піддони та транспортуються на об’єкт.

Висновки

Сучасні огороджуючі конструкції забезпечують тепло- і звукоізоляцію, захист від вологи та комфорт у приміщеннях. Використання газобетону, пінополістиролу, пінополіуретану, мінеральної вати та композитних матеріалів разом із інноваційними технологіями виробництва підвищує енергоефективність, довговічність і екологічність будівель. Багатошарові та композитні системи дозволяють швидко монтувати конструкції, забезпечують герметичність та відкривають можливості для додаткових функцій, таких як звукоізоляція чи інтеграція сонячних панелей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кривенко В.М. Будівельне матеріалознавство. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 320 с.
2. Грицак С.О. Сучасні теплоізоляційні матеріали у будівництві. – Київ: Будівельник, 2020. – 256 с.
3. Петров В.П., Іваненко А.В. Композитні матеріали для огороджуючих конструкцій. – Харків: Основа, 2021. – 198 с.
4. Дорошенко Ю.Г. Технології виробництва газобетону та пінополістиролу. – Львів: Новий Світ, 2020. – 212
5. A Comprehensive Review and Recent Trends in Thermal Insulation Materials for Energy Conservation in Buildings - https://www.mdpi.com/2071-1050/16/20/8782 MDPI+2openurl.ebsco.com+2
6. Modern Insulation Materials for Sustainability Based on Recycled Materials- https://www.mdpi.com/2079-6439/12/9/76
7. Eco-friendly materials for structural insulated panels» - https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271022502296X
8. Latest Developments in Sustainable Building Insulation Materials- https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=1899

Собчук Дмитро Володимирович — студент групи 2Б-23б, факультет будівництва та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: dmytro.sobchuk@gmail.com

Христич Олександ Володимирович — Доцент кафедри Будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: khristych@vntu.edu.ua

Sobchuk Dmytro Volodymyrovych - student of the 2B-23b group, Faculty of Construction and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: leontieva.lera1@gmail.com

Khristych Oleksand Volodymyrovych – Associate Professor of the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, email: khristych@vntu.edu.ua

УДК 691.32

Р. Р. Заблоцький
О. В. Христич

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕЦИКЛІНГУ БУДІВЕЛЬНОГО ЛОМУ (БЕТОНУ) ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЗАПОВНЮВАЧІВ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто технології переробки будівельного лому з бетону для одержання вторинних заповнювачів. Висвітлено методи підготовки матеріалу, їхній вплив на властивості бетонних сумішей, економічні й екологічні переваги.

Ключові слова: рециклінг, бетон, вторинні заповнювачі, сталий розвиток, екологічна ефективність, recycled concrete aggregate (RCA).

Abstract

The paper examines the technologies of processing construction scrap from concrete for the production of secondary aggregates. The methods of material preparation, their influence on the properties of concrete mixtures, economic and environmental advantages are highlighted.

Keywords: recycling, concrete, secondary aggregates, sustainable development, eco-efficiency, recycled concrete aggregate (RCA).

Вступ

Інтенсивне оновлення забудови призводить до зростання кількості відходів бетону. Залізобетонні конструкції після демонтажу містять значний обсяг мінеральних ресурсів, придатних для повторного використання у вигляді вторинних заповнювачів. Використання технологій рециклінгу сприяє зменшенню обсягів полігонних відходів, зниженню споживання природного щебеню та забезпечує реалізацію принципів циркулярної економіки (підхіду до виробництва і споживання, який прагне зменшити відходи та максимально використовувати ресурси) [2,3].

Попри очевидні переваги, практичне застосування вторинних заповнювачів залишається обмеженим через відмінності їхніх фізико-механічних властивостей від природних матеріалів. Зокрема, збільшена пористість, водопоглинання та нерівномірність складу вимагають корекції технологічних параметрів бетонних сумішей [4].

Метою дослідження є обґрунтування технологічних та організації використання рециклінгу будівельного лому (бетону) для отримання вторинних заповнювачів будівельних сумішей, оцінка їх впливу на властивості бетону та визначення перспектив упровадження цієї технології.

Результати дослідження

Будівельний лом, що утворюється внаслідок демонтажу або реконструкції споруд, містить значну частку бетонних елементів, придатних для повторного використання у вигляді вторинних заповнювачів. Рециклінг бетону передбачає комплекс технологічних процесів, спрямованих на отримання матеріалу з властивостями, максимально наближеними до природних заповнювачів [1].

Рециклінг бетону відбувається в такі етапи:

- Первинним етапом є збір та сортування відходів. Для ефективного повторного використання необхідно відокремити бетонний лом від інших фракцій будівельних відходів - цегли, деревини, металу, пластмас. Попереднє сортування підвищує якість кінцевого продукту та знижує навантаження на подальші технологічні операції. Зібраний бетон транспортується на пункти переробки або обробляється безпосередньо на будівельних майданчиках за допомогою мобільних дробильних установок [2].
- Наступним етапом є дроблення бетонного лому. Залежно від якості та марки бетону застосовують щокові, ударні або конусні дробарки, які забезпечують подрібнення до заданих фракцій

(5-20 мм, 20-40 мм тощо). На цьому етапі відбувається також відділення арматури та металевих домішок за допомогою магнітних сепараторів. Після дроблення матеріал піддають просіюванню та очищенню від пилоподібних частинок, які негативно впливають на однорідність сумішей [4].

Суттєвим технологічним моментом є зменшення залишкового шару старого цементного каменю, який утворює пористу поверхню зерен і підвищує їхню водопоглинальність. Для цього застосовують такі методи:

1. механічне шліфування або обдирання, що зменшує товщину цементного шару;
2. термічну обробку (при температурах 300-500 °С), яка частково випалює старий розчин і підвищує міцність гранул;
3. хімічне очищення слабкими кислотними або лужними розчинами, що розчиняє поверхневі продукти гідратації;
4. карбонізацію силікатними розчинами, які ущільнюють поверхню і зменшують водопоглинання [3].

Результати численних досліджень свідчать, що фізико-механічні характеристики вторинних заповнювачів помітно відрізняються від природних. Щільність RCA(recycled concrete aggregate - вторинний сипучий матеріал, що отримується шляхом дроблення та просіювання будівельних відходів, переважно бетону), у середньому становить 2300-2500 кг/м³ проти 2600 кг/м³ у природного щебеню, водопоглинання 4-8 % проти 1-2 %, а коефіцієнт міцності на стирання зменшується на 10-25 % [5]. Це призводить до необхідності корекції складу бетонної суміші.

При використанні RCA у бетоні спостерігається підвищена потреба у воді для досягнення необхідної рухливості, що потребує введення пластифікуючих добавок або попереднього зволоження заповнювачів. Водночас наявність мікропористої структури RCA сприяє покращенню зчеплення з цементним тістом і зменшує ризик розшарування суміші [6].

Експериментальні дані показують, що часткова заміна природного заповнювача RCA у межах 20-30 % практично не впливає на міцність бетону класу С25/30. При заміні 50 % спостерігається зниження міцності на стиск у середньому на 10-15 %, а при повній заміні - до 30 %. Однак застосування суперпластифікаторів та мінеральних добавок (мікрокремнезему, летючої золи) дозволяє компенсувати ці втрати та забезпечити відповідність міцнісним вимогам [3].

Можна зазначити такі аспекти застосування технології рециклінгу бетону:

1. Нормативне забезпечення та контроль якості. Важливою умовою успішного використання вторинних заповнювачів є дотримання стандартів і контролю якості. Європейський стандарт EN 12620 визначає допустимий вміст домішок (до 5 %), межі водопоглинання (до 10 %) і щільності (не менше 2000 кг/м³) [1].
2. Екологічні переваги використання вторинних заповнювачів. Застосування RCA дозволяє знизити вуглецевий слід будівництва. Заміна 1 т природного щебеню вторинним скорочує викиди CO_2 на 20-40 кг та зменшує потребу у природних кар'єрних матеріалах на 0,8-1,0 т [8]. Крім того, утилізація бетонного лому запобігає накопиченню відходів на полігонах.
3. Економічна ефективність технології рециклінгу. Вартість виробництва бетону з частковим використанням RCA може бути нижчою на 10-20 % за рахунок зменшення витрат на видобуток і транспортування природних матеріалів. Основні витрати припадають на подрібнення, очищення та логістику, однак вони компенсуються скороченням платежів за утилізацію будівельного лому [4].

Технологія рециклінгу бетонного лому для отримання заповнювачів є технічно обґрунтованою, економічно вигідною та екологічно доцільною. Для її ефективного впровадження необхідні стандартизовані методи контролю якості RCA, створення спеціалізованих переробних потужностей і розробка рекомендацій щодо застосування вторинних заповнювачів у різних типах будівельних сумішей.

Висновки

В даній роботі було проаналізовано технологічні та організаційні засади використання рециклінгу будівельного лому бетону. Ця технологія має високий технічний, екологічний та економічний потенціал. Встановлено, що вторинні заповнювачі, отримані шляхом сортування, дроблення, очищення та обробки, можуть ефективно застосовуватись у складі будівельних сумішей за умови корекції їх складу та використання модифікуючих добавок. Застосування рециклінгу дозволяє зменшити наванта-

ження на природні ресурси, скоротити обсяги будівельних відходів, знизити викиди парникових газів та оптимізувати витрати на виробництво. Це робить технологію переробки бетонного лому важливим інструментом сталого будівництва. Для ефективного впровадження рециклінгу в будівельну практику необхідно вдосконалити нормативно-правову базу, стандартизувати методи контролю якості вторинних матеріалів та забезпечити розвиток відповідної виробничої інфраструктури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ Б EN 12620:2013. Заповнювачі для бетону.
2. Optimal Replacement Ratio of Recycled Concrete Aggregate Balancing Mechanical Performance with Sustainability: A Review. URL: https://www.mdpi.com/2075-5309/14/7/2204
3. ВПЛИВ ВИДУ ОБРОБКИ РЕЦИКЛІНГОВИХ ЗАПОВНЮВАЧІВ НА МІЦНІСТЬ БЕТОНУ URL: http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/28391/1/Trykoz.pdf
4. Pacheco, J., De Brito, J. and Lamperti Tornaghi, M., Use of recycled aggregates in concrete: opportunities for upscaling in Europe, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023
5. Рихліцька, О. В. Використання заповнювачів рециклінгу бетону в технічних та екологічних показниках еко-ефективних бетонів. URL: https://lpnu.ua/sites/default/files/2023/radaphd/23182/disertaciya-rikhlicka-ov.pdf
6. ДСТУ 9208:2022 Бетони важкі. Технічні умови.

Заблоцький Руслан Русланович - студент групи 2Б-23б, факультет будівництва та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: zabruslan@ukr.net

Христич Олександр Володимирович - канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва , міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: khristych@vntu.edu.ua

Zablotskyi Ruslan Ruslanovych - student of the 2B-23b group, Faculty of Construction and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: zabruslan@ukr.net

Khrystych Oleksandr Volodymyrovych – PhD, Associate Professor of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, e-mail: khristych@vntu.edu.ua

УДК 691.5:692.5

В. В. Миколюк
І. В. Маєвська

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕМЕНТНИХ СТЯЖОК ПІДЛОГ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезі розглянуто сучасні підходи до удосконалення складів цементних стяжок, спрямованих на підвищення їх міцності, адгезії, тріщиностійкості та довговічності. Наведено результати узагальнення експериментальних досліджень, що доводять ефективність використання модифікувальних добавок, полімерних компонентів та дисперсного армування для формування стабільної структури цементного каменю. Показано механізми впливу різних груп добавок на технологічні властивості розчинних сумішей та експлуатаційні показники готових стяжок.

Ключові слова: цементна стяжка; модифіковані будівельні суміші; полімерні добавки; дисперсне армування; пористість; мікроструктура; тріщиностійкість; адгезія; міцність; довговічність; житлові будівлі.

Abstracts

The thesis considers modern approaches to improving cement screed compositions aimed at increasing their strength, adhesion, crack resistance and durability. The results of a generalization of experimental studies are presented, proving the effectiveness of using modifying additives, polymer components and dispersed reinforcement to form a stable structure of cement stone. The mechanisms of influence of different groups of additives on the technological properties of mortar mixtures and operational indicators of finished screeds are shown.

Key words: cement screed; modified building mixtures; polymer additives; dispersed reinforcement; porosity; microstructure; crack resistance; adhesion; strength; durability; residential buildings.

Вступ

Цементні стяжки підлог є одним із ключових конструктивних елементів житлових будівель, що забезпечують рівність основи, сприйняття експлуатаційних навантажень, рівномірний розподіл зусиль та довговічну роботу фінішних покриттів. Якість улаштування стяжки безпосередньо впливає на комфорт проживання, надійність підлогової конструкції та загальні експлуатаційні показники будівлі. Традиційні цементно-піщані стяжки, попри їхню поширеність, характеризуються низкою недоліків: підвищеною усадкою, нерівномірною гідратацією, ризиком утворення тріщин, значною пористістю, зниженою адгезією до основи та нестабільністю фізико-механічних властивостей.

У сучасних умовах інтенсивного розвитку житлового будівництва зростають вимоги до експлуатаційної надійності підлогових систем. Змінюється характер навантажень, активно застосовуються енергозберігальні рішення (теплі підлоги, багатошарові покриття), що вимагає високої тріщиностійкості та деформаційної стійкості стяжок. Одночасно з цим, впровадження нових матеріалів і технологій ставить необхідність забезпечення стабільної якості та довговічності цементних композитів.

Актуальність дослідження підсилюється потребою підвищення ефективності традиційних розчинних сумішей шляхом їх модифікації полімерними добавками, мінеральними компонентами та дисперсним армуванням. Застосування цих рішень дозволяє істотно зменшити пористість, покращити структуру цементного каменю, підвищити міцнісні характеристики, адгезію та тріщиностійкість. Наукові роботи останніх років підтверджують, що модифіковані цементні композиції здатні забезпечувати значно вищу експлуатаційну надійність у порівнянні зі звичайними стяжками [1-4].

Таким чином, дослідження закономірностей формування структури та властивостей модифікованих цементних стяжок, а також оцінка їх ефективності у підлогових системах житлових будівель є своєчасним і важливим завданням будівельних матеріалознавства та технології будівельних композицій.

Результати дослідження

Підвищення експлуатаційних характеристик цементних стяжок у житловому будівництві є важливим напрямом удосконалення технологій улаштування підлогових систем. Якість стяжки визначає рівність основи, стійкість до навантажень, тріщиностійкість, довговічність та здатність забезпечувати надійну роботу фінішних покриттів [3, 4]. Традиційні цементно-піщані стяжки мають низку недоліків, пов'язаних зі значною усадкою, нерівномірною гідратацією, недостатньою адгезією та підвищеною пористістю, що обмежує їхню експлуатаційну надійність. Тому актуальним є застосування модифікованих систем із використанням полімерних добавок, мінеральних модифікаторів та дисперсного армування.

1. Вплив хімічних модифікаторів на міцнісні характеристики стяжок

Згідно з результатами експериментальних досліджень, використання алюмінійвмісних добавок – гідроксиду алюмінію та γ-Al_2O_3 – сприяє прискоренню гідратаційних процесів цементу та формуванню більш щільної структури каменю. Динаміка набору міцності наведена у табл. 1, де видно, що введення 1,0 % $Al(OH)_3$ забезпечує зростання міцності на стиск до 26 МПа у віці 28 діб, що на 30 % вище порівняно зі звичайною стяжкою [5].

Таблиця 1 – Вплив алюмінійвмісних добавок на міцність цементного каменю

Добавка	1 доба, МПа	3 доби, МПа	28 діб, МПа
Без добавок	13,5	18,2	20,0
$Al(OH)_3$ 0,5 %	15,8	20,9	23,4
$Al(OH)_3$ 1,0 %	17,2	23,6	26,0
γ-Al_2O_3 1,0 %	16,5	22,8	24,5

Збільшення міцності на вигин, що є критично важливим показником для підлогових систем, підтверджено на рис. 1, де наведено порівняння механічних показників звичайних і модифікованих стяжок. Міцність на вигин зростає з 3,2 МПа до 4,6 МПа, а адгезія – з 0,7 МПа до 1,6 МПа, що підтверджує ефективність застосування модифікованих добавок.

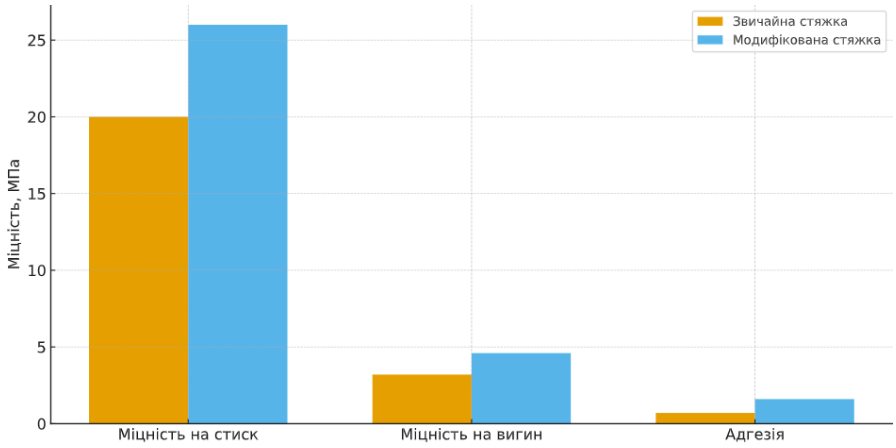


Рисунок 1 – Порівняння експлуатаційних характеристик звичайних і модифікованих стяжок

2. Вплив полімерних добавок на водоутримання та адгезію

Полімерні модифікатори (метилцелюлоза, редиспергувані полімерні порошки) суттєво покращують реологічні властивості та гідратаційне середовище розчинів. Вони утворюють на поверхні цементних частинок тонкі полімерні оболонки, що рівномірно утримують воду і забезпечують повноцінну гідратацію (див. рис. 2) [5, 6].

Як видно з табл. 2, збільшення дозування МЦ (метилцелюлоза) до 0,4 % та РПП (редиспергувані порошки) до 0,5 % піднімає водоутримання до 99,1 %, практично усуваючи розшаровуваність. Це сприятливо впливає на формування щільного, рівномірного цементного каменю та підвищує адгезію стяжки до бетонної основи.

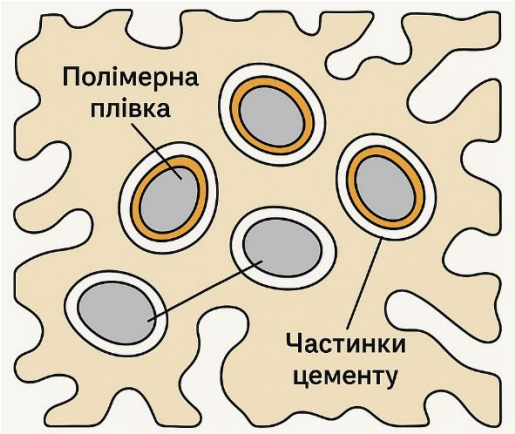


Рис. 2 – Механізм дії полімерних добавок у капілярній пористій цементній матриці

Таблиця 2 – Вплив полімерних добавок на водоутримувальну здатність

МЦ, %	РПП, %	Водоутримання, %	Розшаровуваність, %
0,2	0,3	96,5	0,3
0,3	0,4	98,4	0,2
0,4	0,5	99,1	0,1

3. Дисперсне армування волокнами та його роль у тріщиностійкості

Одним із найбільш ефективних напрямів підвищення тріщиностійкості стяжок є дисперсне армування поліпропіленовими чи базальтовими волокнами [6-10]. На рис. 3 показано схему розподілу волокон у цементній матриці, що ілюструє механізм стримування розвитку мікротріщин. Волокна переривають шлях росту тріщин і перерозподіляють локальні напруження, зменшуючи деформації усадки.



Рисунок 3 – Схема структури модифікованої цементної стяжки

Експлуатаційні показники, наведені на рис. 1, демонструють, що модифіковані стяжки мають у 2–3 рази вищу тріщиностійкість порівняно зі звичайними, що суттєво знижує ризик дефектів покриттів у період експлуатації.

4. Формування мікроструктури та зміни пористості

Структурні зміни цементного каменю, спричинені дією модифікаторів, відображені на рис. 4. Після введення добавок спостерігається:

- зменшення кількості крупних пор >500 нм (до 3–4 %),
- збільшення частки дрібних пор <50 нм (до 20–22 %),
- перехід структури до дрібнопористого типу.

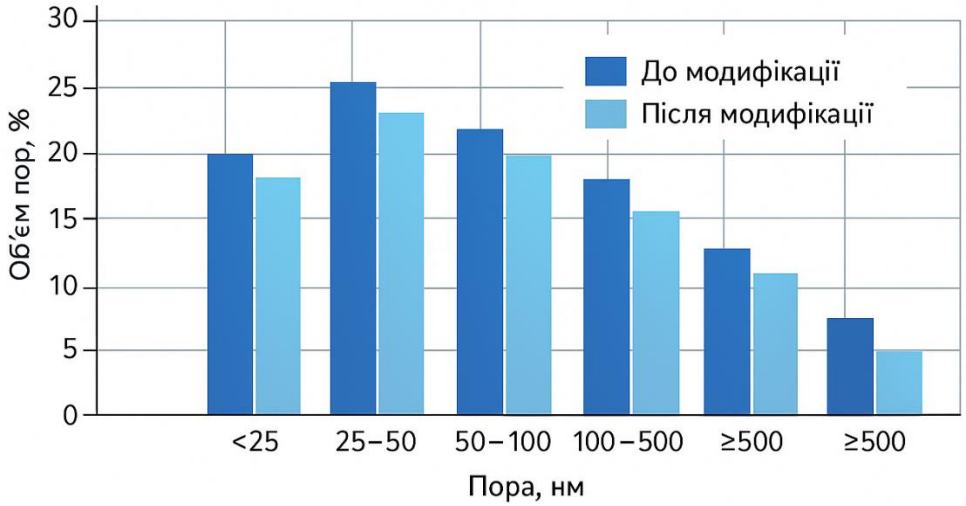


Рисунок 4 – Розподіл пористості цементного каменю до та після модифікації

Це підтверджує ущільнення цементної матриці, підвищення морозостійкості та водостійкості, що також узгоджується з даними табл. 3, де морозостійкість модифікованих стяжок зростає від F25 до F75.

5. Розподіл напружень у стяжці

На рис. 5 наведено розподіл напружень по товщині цементної стяжки. У верхній частині формується зона розтягувальних напружень, що є найбільш небезпечною щодо тріщиноутворення. Модифіковані композиції з дрібнопористою структурою та дисперсним армуванням значно краще протидіють цим напруженням, що безпосередньо підвищує довговічність системи.

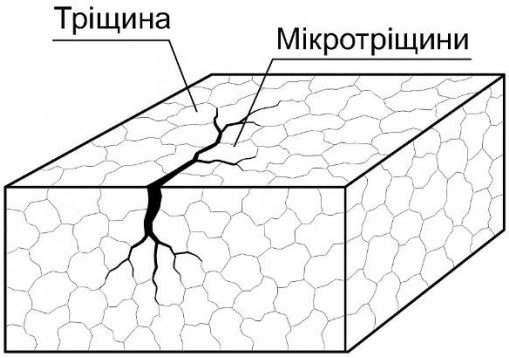


Рисунок 5 – Модель тріщиноутворення в стяжці

Модифіковані стяжки демонструють істотне підвищення міцнісних та експлуатаційних характеристик порівняно з традиційними розчинами (табл. 3).

Таблиця 3 – Порівняння характеристик звичайних та модифікованих стяжок

Показник	Звичайна стяжка	Модифікована стяжка
Міцність на стиск, МПа	20	26
Міцність на вигин, МПа	3,2	4,6
Адгезія, МПа	0,7	1,6
Тріщиностійкість	Низька	Висока
Морозостійкість	F25	F75
Розшаровуваність, %	1,2	0,1

Висновки

Таким чином, аналіз експериментальних даних, наведених у таблицях 1–3 та на рисунках 1–4, показує, що застосування хімічних модифікаторів, полімерних добавок та волокон дозволяє суттєво покращити експлуатаційні характеристики цементних стяжок. Підвищуються міцність, адгезія,

тріщиностійкість, морозостійкість, зменшується пористість і покращується структура каменю, що робить такі стяжки більш надійними для застосування у житловому будівництві:

1. Міцність цементного каменю зростає на 20–35 %. Встановлено, що введення алюмінійвмісних активаторів (0,5–1,0 %) та полімерних добавок забезпечує збільшення:

- міцності на стиск з 20 МПа → 26–27 МПа,
- міцності на вигин з 3,2 МПа → 4,6–4,8 МПа.

Це пов'язано з прискореною гідратацією та ущільненням структури цементного каменю.

2. Пористість цементного каменю зменшується на 10–18 %. За рахунок полімерних модифікаторів та МЦ водоутримувальна здатність суміші зростає до 98–99 %, що мінімізує капілярну пористість і забезпечує:

- зниження загальної пористості з 18–20 % → 14–16 %,
- зменшення кількості макропор (>200 мкм) удвічі.

3. Адгезія стяжки до основи підвищується в 1,5–2,3 раза. При додаванні полімерів адгезійна міцність зростає з 0,7 МПа → 1,6 МПа, що забезпечує стабільну роботу стяжки в системах «теплої підлоги» та при динамічних навантаженнях.

4. Тріщиностійкість покращується на 40–60 % завдяки дисперсному армуванню. Додавання 0,6–1,0 кг поліпропіленової фібри на 1 м³ забезпечує:

- зменшення ширини усадочних тріщин на 60 %,
- перерозподіл напружень через волокна та стримування розвитку мікротріщин.

5. Морозостійкість модифікованих стяжок збільшується з F25 до F75. Це наслідок зменшення водопоглинання та покращення структури цементного каменю.

6. Розшаровуваність розчинної суміші зменшується у 10–12 разів. У традиційних стяжок розшаровуваність становить 1,0–1,2 %, тоді як у модифікованих – 0,1 %, що свідчить про високу стабільність суміші.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Карпов В. С., Хохрякова Д. О. Вибір методів улаштування збірних основ підлоги у будівлях невиробничого призначення. *Збірник наукових праць ДонНАБА*. 2018. № 2(12). С. 22–29. URL: https://donnaba.edu.ua/journal/images/2-2018-12/4.pdf
2. Тертичний А. А. Стяжки групи СТ-2 (роздільний шар в цивільному будівництві): дис. … канд. техн. наук. Одеса: ОДАБА, 2020. 176 с. URL: https://odaba.edu.ua/upload/files/Disertatsiya_Tertichnogo.pdf
3. Види цементних стяжок: переваги та недоліки. URL: https://www.kirpich.net/ua/vydy-tsementnykh-styazhok
4. Стяжка підлоги: види і методи виконання. Новий Дім. URL: https://novii-dom.com.ua/blog-ua/stiazhka-pidlohy-vydy-i-metody-vykonannia
5. Polozhiy K. Low Cost Cement Floor Screed. *Materials Science Forum*. 2015. Vol. 824. P. 77–82. URL: https://www.scientific.net/MSF.824.77
6. Jevtić D., Radonjanin V. The properties of the cement screeds with addition of polypropylene fibres and shrinkage-reducing admixture. *Journal of Applied Engineering Science*. 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/304807888_The_properties_of_the_cement_screeds_with_the_addition_of_polypropylene_fibres_and_the_shrinkage-reducing_admixture
7. Radulović R., Pasternak H., Ilić M., Zdravković A. Properties of Fine-Grained Cement Composites and Screeds. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 7, 2791. URL: https://www.mdpi.com/2076-3417/14/7/2791
8. Kılıç F. M., Arel H. Ş. Comparison of mechanical and physical properties of screed with and without expanded EPS particles. *International Journal of Engineering Sciences and Research Technology*. 2022. URL: https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2432434
9. Juradin S., Jurišić D., Radić J. Cotton knitted fabric waste as reinforcement in cement screed. *Applied Civil Engineering and Architecture*. 2024. URL: https://ojs.srce.hr/index.php/acae/article/download/27921/15386
10. Hwalla J., Khatib J., Baalbaki O. Durability assessment of geopolymeric and cementitious screed composites. *Case Studies in Construction Materials*. 2024. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710224006053

Миколюк Владислав Віталійович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vladmukoluk222444@gmail.com

Маєвська Ірина Вікторівна – доцент кафедри "Будівництва, міського господарства та архітектури". Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com

Mykolyuk Vladyslav – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vladmukoluk222444@gmail.com

Maievskaya Irina – associate professor of the Department of "Building, Urban and Architecture". Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com

УДК 691.5:666.972.12

М. Л. Просяник
І. В. Маєвська

РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ СКЛАДІВ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ ЛЕГКИХ ПОРИЗОВАНИХ БЕТОНІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезі представлено результати експериментальних досліджень складів сухих будівельних сумішей для легких поризованих бетонів, модифікованих механоактивованим силікагелем. Визначено вплив активованого SiO_2 на густину, міцність і теплопровідність легких бетонів, а також встановлено оптимальний вміст добавки, що забезпечує найкраще поєднання теплоізоляційних і конструкційних властивостей. Проведено аналіз структури та підтверджено ефективність технології механоактивації для підвищення енергоефективності будівельних матеріалів.

Ключові слова: легкий бетон, суха будівельна суміш, механоактивація, силікагель, теплопровідність, міцність, енергоефективність.

Abstracts

The thesis presents the results of experimental studies of the compositions of dry building mixtures for lightweight porous concretes modified with mechanically activated silica gel. The effect of activated SiO_2 on the density, strength and thermal conductivity of lightweight concretes was determined, and the optimal content of the additive was established, which provides the best combination of thermal insulation and structural properties. The structure was analyzed and the effectiveness of mechanical activation technology for increasing the energy efficiency of building materials was confirmed.

Key words: lightweight concrete, dry construction mix, mechanical activation, silica gel, thermal conductivity, strength, energy efficiency..

Вступ

Проблема створення енергоефективних і екологічно безпечних матеріалів у сучасному будівництві набуває особливої актуальності в умовах енергетичної кризи та необхідності зниження тепловтрат будівель. Одним із перспективних напрямів є розробка легких поризованих бетонів на основі сухих будівельних сумішей, які поєднують високу теплоізоляційну здатність із достатньою міцністю.

Традиційні способи зниження густини бетону шляхом введення пористих заповнювачів (керамзиту, пінополістиролу, піноскла) мають недолік у вигляді зниження зчеплення між фазами та нерівномірної структури. Тому важливим є використання наномодифікаторів і механоактивації, що дозволяють підвищити активність в'яжучого, зменшити капілярну пористість і стабілізувати процес формування цементного каменю [1-4].

Матеріали та методи дослідження

Основним в'яжучим є портландцемент CEM II/A-M(S-LL) 42,5 R (ПЦ II/А-К(Ш-В)-500Р). Як мінеральну добавку використовували механоактивований силікагель (SiO_2) з питомою поверхнею 5100 см²/г, який вводили у кількості 0–3 % від маси цементу.

До складу сухих сумішей входили також вапнякове борошно, тонкий кварцовий пісок (0–0,63 мм), редиспергований полімерний порошок, пластифікатор PCE (полікарбоксилатний ефір) та ефіри целюлози. Суміші замішували в лабораторному міксері, зразки 100×100×100 мм тверднули в нормальних умовах протягом 28 діб.

Механоактивація виконувалася у вібромлині протягом 5 хв із частотою 50 Гц, що забезпечило рівномірний розподіл наночастинок і підвищення активності цементу. Випробування здійснювали відповідно до ДСТУ Б В.2.7-214:2009 та інших діючих норм [5-9].

Результати дослідження

На основі експериментів отримано три основні склади легких бетонів (табл. 1):

- L-350 – середня густина 360 кг/м³, міцність 3,1 МПа, λ = 0,09 Вт/(м·°С);
- L-450 – середня густина 470 кг/м³, міцність 4,8 МПа, λ = 0,11 Вт/(м·°С);

- L-600 – середня густина 590 кг/м³, міцність 6,3 МПа, λ = 0,13 Вт/(м·°С).

Таблиця 1 містить експериментально розроблені склади сухих будівельних сумішей для отримання легких поризованих бетонів різного функціонального призначення.

Склад L-350 оптимізовано для отримання надлегких теплоізоляційних бетонів. Значний вміст вапнякового борошна та повна відсутність важкого піску забезпечують мінімальну густину, а введення 10 % пінополістирольних гранул – стабільну дрібнопористу структуру з низькою теплопровідністю. Цей склад характеризується найнижчим водоцементним відношенням (0,33), що зберігає легкоукладальність суміші.

Суміш L-450 призначена для конструкційно-теплоізоляційних елементів. Часткове введення кварцового піску (60 кг) забезпечує підвищену міцність, а наявність керамзитового піску покращує теплозахисні властивості. Співвідношення “цемент : наповнювач” збалансоване таким чином, щоб матеріал мав достатню міцність на стиск (≈5 МПа) при відносно низькій густині (≈470 кг/м³).

Склад L-600 орієнтовано на самонесучі та конструкційні вироби для малоповерхового будівництва. Збільшений вміст кварцового піску (120 кг) і керамзитового піску (20 %) забезпечує більш щільну структуру цементного каменю, що призводить до підвищення міцності до рівня 6,3 МПа. При цьому теплопровідність зростає, проте залишається нижчою, ніж у традиційних важких бетонів.

Таблиця 1 – Склади розроблених сухих сумішей для легких поризованих бетонів

Склад	Призначення	Цемент, кг	Вапнякове борошно, кг	Пісок 0–0,63 мм, кг	Піно-полістирол, %	Керамзит. пісок, %	Силікагель, %	В/Ц	Середня густина, кг/м³
L-350	Теплоізоляційні шари	240	120	–	10	–	2,0	0,33	360
L-450	Конструкційно-теплоізоляційні блоки	280	100	60	5	10	2,0	0,31	470
L-600	Самонесучі стінові елементи	320	80	120	–	20	1,5	0,30	590

Таблиця 2 демонструє результати випробувань легких бетонів на основі різних дозувань механоактивованого силікагелю (SiO_2). Дані свідчать про чіткий позитивний вплив механоактивації на структуру та властивості бетонів.

Таблиця 2 – Результати експериментальних випробувань фізико-механічних властивостей легких бетонів

№	SiO_2, %	Середня густина ρ_m, кг/м³	Міцність $R_{ст}$, МПа	Теплопровідн. λ, Вт/(м·°С)	Водопоглинання, %	Морозостійкість	Структура
1	0	560	4,8	0,125	18,5	F25	Нерівномірна, частково відкрита
2	1,0	540	5,6	0,118	16,0	F35	Однорідніша, менше мікротріщин
3	2,0	525	6,5	0,111	14,5	F50	Рівномірна, замкнені пори
4	3,0	524	6,6	0,112	14,8	F50	Частково ущільнена

Зі збільшенням вмісту SiO_2 від 0 до 2 % середня густина зменшується з 560 до 525 кг/м³, що свідчить про формування стабільної замкнено-пористої структури. Активовані частинки SiO_2 відіграють роль центрів кристалізації та сприяють рівномірному розподіленню мікропор [10-11].

Міцність на стиск підвищується з 4,8 до 6,5 МПа, тобто на 35 %, що пов’язано з:

- інтенсифікацією гідратації цементу,
- утворенням додаткових C–S–H фаз,
- ущільненням перехідної зони між матрицею та пористими заповнювачами.

Зростання міцності сповільнюється при 3 % SiO_2, що свідчить про досягнення межі ефективності.

Коефіцієнт теплопровідності знижується з 0,125 до 0,111 Вт/(м·°С), завдяки утворенню тонкостінних замкнених пор, які погіршують теплоперенесення. При 3 % SiO_2 λ злегка підвищується, що пояснюється незначним ущільненням структури.

Показник водопоглинання зменшується з 18,5 до 14,5 %, тобто майже на 25 %. Це свідчить про зниження відкритої капілярної пористості, що позитивно впливає на довговічність.

Морозостійкість зростає від F25 до F50, що є значним результатом для легких бетонів і пояснюється високою стійкістю замкненої порової структури до заморожування-відтавання.

Візуальний аналіз зламів підтверджує:

- формування дрібнопористої матриці при 1–2 % SiO_2,
- зменшення мікротріщин,
- покращення адгезії між цементною матрицею та пінополістирольними/керамзитовими зернами.

Отже, під час варіювання вмісту SiO_2 від 0 до 3 % встановлено такі закономірності:

- міцність $R_{ст}$ зростає з 4,8 до 6,6 МПа (+35 %);
- теплопровідність λ знижується з 0,125 до 0,111 Вт/(м·°С) (–12 %);
- густина ρ зменшується з 560 до 525 кг/м³ (–8 %).

Оптимальний ефект досягається при 2 % SiO_2 (табл. 2), що забезпечує максимальний показник структурної ефективності $K = R_{ст}/(\rho \cdot \lambda) \approx 0{,}0108$. Мікроструктурний аналіз підтвердив зменшення відкритої пористості на 15–20 %, формування замкненої дрібнопористої структури та ущільнення перехідної зони між матрицею і заповнювачем.

Таблиця 3 порівнює властивості бетонів без механоактивації та при оптимальній дозі 2 % SiO_2.

Таблиця 3 – Порівняння впливу механоактивації на основні технічні характеристики матеріалу

Показник	Без механоактивації (0 % SiO_2)	Оптимальна механоактивація (2 % SiO_2)	Ефект, %
Середня густина ρ_m, кг/м³	560	525	–6,3 %
Міцність $R_{ст}$, МПа	4,8	6,5	+35 %
Теплопровідність λ, Вт/(м·°С)	0,125	0,111	–11,2 %
Водопоглинання, %	18,5	14,5	–22 %
Морозостійкість	F25	F50	+100 %
Комплексний коефіцієнт конструктивної якості $K = R_{ст\ п}/(\rho \cdot \lambda)$	0,0070	0,0108	+54 %

Ефект механоактивації [12-13] проявляється у комплексному покращенні ключових властивостей:

- зниження густини на 6,3 % при одночасному зростанні міцності означає підвищення структурної ефективності;
- значне зростання міцності на +35 % – результат утворення щільної сітки C–S–H фаз, що зменшує слабкі зони в структурі;
- покращення теплотехнічних властивостей: зменшення λ на 11 % покращує енергоефективність матеріалу та робить його придатним для зовнішніх огороджувальних конструкцій.
- підвищення довговічності: підвищення морозостійкості удвічі (з F25 до F50) демонструє, що механоактивований SiO_2 стабілізує структуру, знижує ризик утворення мікротріщин під час циклів заморожування-відтавання.
- комплексний коефіцієнт конструктивної якості K: підвищення K з 0,0070 до 0,0108 (+54 %) підтверджує високу ефективність наномодифікації та її доцільність при промисловому виробництві легких бетонів.

Таким чином, механоактивація забезпечує інтенсифікацію гідратації, підвищення міцності, зниження водопоглинання (на 20–25 %) та збільшення морозостійкості з F25 до F50.

Висновки

Отже, використання механоактивованого силікагелю у складі сухих будівельних сумішей забезпечує зниження густини, покращення міцності, підвищення довговічності та теплоізоляційних властивостей легких бетонів, що підтверджує перспективність технології для промислового впровадження:

1. Механоактивований силікагель (SiO_2) істотно впливає на структуроутворення легких поризованих бетонів, забезпечуючи інтенсифікацію гідратації та ущільнення цементної матриці.
2. Оптимальна доза SiO_2 становить 2 %, що забезпечує підвищення міцності на стиск до 6,5 МПа (приріст ≈35 %) при одночасному зниженні густини з 560 до 525 кг/м³.
3. Зменшення теплопровідності з 0,125 до 0,111 Вт/(м·°С) підтверджує формування дрібнопористої структури з підвищеними теплоізоляційними властивостями.
4. Водопоглинання знижується на 25 %, що свідчить про зменшення кількості відкритих капілярних пор та підвищення водостійкості матеріалу.
5. Морозостійкість зростає з F25 до F50, що вказує на покращену стабільність порової структури під дією циклів заморожування-відтавання.

6. Розроблені склади L-350, L-450 та L-600 забезпечують необхідний рівень міцності та густини для теплоізоляційних та конструкційно-теплоізоляційних бетонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рунова Р.Ф., Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Носовський Ю.Л. В'яжучі речовини: підручник . К.:Основа. 2012. 446 с.
2. Троян В.В. Добавки для бетонів і будівельних розчинів: навчальний посібник. Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2010. 228 с.
3. Гоц В.І., Павлюк В.В., Шилюк П.С. Бетони і будівельні розчини. Київ, 2016. 568 с.
4. Ушеров-Маршак О.В., Гоц В.І., Кабусь О.В. Бетони та будівельні розчини. Київ : Основа, 2022. 93 с.
5. ДСТУ Б В.2.7-215:2009. Бетони. Правила підбору складу. [Чинний 2009-12-22]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 18 с. (Національні стандарти України).
6. ДСТУ Б В.2.7-18-95. Бетони легкі. Загальні технічні умови. [Чинний 1995-07-01]. Київ : Держстандарт України, 1995. 25 с.
7. ДСТУ Б В.2.7-96-2000. Суміші бетонні. Технічні умови. [Чинний 2000-02-23]. – Київ : Держстандарт України, 2000. 40 с.
8. ДСТУ Б В.2.7-114-2002.Суміші бетонні. Методи випробувань. [Чинний 2002-01-31]. Київ : Держстандарт України, 2002. 32 с.
9. ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Будівельні матеріали. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови. [Чинний 2011-01-06]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 26 с. (Національні стандарти України).
10. Booshehrian A., Hosseini P. *Effect of nano-SiO_2 particles on properties of cement mortar applicable for ferrocement elements*. Concrete Research Letters, 2(1), 2011, pp. 167-180. URL: https://www.researchgate.net/publication/277720907_Effect_of_nano-SiO2_particles_on_properties_of_cement_mortar_applicable_for_ferrocement_elements
11. Li H., Xiao H., Yuan J., Ou J. Microstructure of cement mortar with nano-particles. Composites Part B: Engineering, 35(2), 2004, pp. 185-189. DOI:10.1016/S1359-8368(03)00052-0. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836803000520
12. Вировий В. Н. та ін. Механоактивація в технології бетонів. ОДАСА. 2014.148 с.
13. Барабаш І. В., Давідчук В. Г, Стрельцов К.О. Механоактивація портландцементу та її вплив на характеристики будівельних композицій різного призначення ів. Механіка та математичні методи, 2024. Т. VI. №. 2. С. 77–87.

Просяник Максим Леонідович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: max.prosyanik@gmail.com

Маєвська Ірина Вікторівна – доцент кафедри "Будівництва, міського господарства та архітектури". Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com

Prosyanyk Maksym – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: max.prosyanik@gmail.com

Maievskaya Irina – associate professor of the Department of "Building, Urban and Architecture". Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com

УДК 691.32:692.5

А. В. Шевченко
І. В. Маєвська

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПІДЛОГ ПІДЗЕМНИХ ПАРКІНГІВ ІЗ ВЛАШТУВАННЯМ ШАРУ ПОКРИТТЯ ІЗ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Теза присвячена обґрунтуванню шляхів підвищення зносостійкості підлог підземних паркінгів шляхом улаштування верхнього шару покриття зі сталефібробетону. Проаналізовано специфічні експлуатаційні впливи, що призводять до руйнування бетонних підлог, та наведено переваги застосування дисперсного армування сталевою фіброю для зниження інтенсивності утворення тріщин, підвищення міцності при згині й довговічності покриття.

Ключові слова: сталефібробетон; підземний паркінг; зносостійкість; тріщиностійкість; дисперсне армування; бетонні покриття; експлуатаційна довговічність; ударні навантаження; протиожеледні реагенти; абразивне стирання.

Abstracts

The thesis is devoted to substantiating ways to increase the wear resistance of underground parking floors by arranging the top layer of steel fiber concrete. Specific operational influences leading to the destruction of concrete floors are analyzed, and the advantages of using dispersed steel fiber reinforcement to reduce the intensity of crack formation, increase the bending strength and durability of the coating are presented.

Key words: steel fiber concrete; underground parking; wear resistance; crack resistance; dispersed reinforcement; concrete coatings; operational durability; impact loads; anti-icing reagents; abrasive wear.

Вступ

Експлуатаційні умови підлог підземних паркінгів характеризуються комплексним впливом агресивних факторів, серед яких найбільш інтенсивними є абразивне стирання від коліс автотранспорту, повторювані динамічні й ударні навантаження, проникнення талої води з протиожеледними реагентами та тривале перебування конструкцій у вологому середовищі. Ці фактори зумовлюють прискорене руйнування традиційних бетонних покриттів, що виявляється в утворенні температурно-усадочних тріщин, локальних відшарувань, зменшенні товщини робочого шару та втраті рівності поверхні. Ремонтні роботи, пов’язані з ліквідацією таких дефектів, є дороговартісними й потребують перерв у функціонуванні паркінгу, що створює додаткові непрямі втрати для його експлуатантів.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення довговічності та експлуатаційної надійності бетонних покриттів у підземних паркінгах, де інтенсивність механічних, кліматичних і хімічних впливів значно вища, ніж у звичайних підлогових конструкціях. У сучасній практиці одним із перспективних рішень є використання сталефібробетону як верхнього конструктивного шару покриття. Завдяки просторовому дисперсному армуванню сталева фібра забезпечує перерозподіл локальних напружень, стримує розвиток мікро- та макротріщин, підвищує міцність бетону при згині та суттєво збільшує стійкість до абразивного стирання. Це дає змогу значно подовжити термін служби експлуатаційних конструкцій та зменшити частоту ремонтів.

Разом з тим, ефективність сталефібробетонних покриттів визначається низкою параметрів – геометрією та кількістю фібри, товщиною шару, характеристиками бетонної матриці та дотриманням технології улаштування. Тому комплексне дослідження властивостей сталефібробетону, механізмів його роботи у структурі підлог підземних паркінгів та аналіз економічної доцільності його застосування є науково й практично значущим завданням [1-4].

Метою даного дослідження є обґрунтування та експериментально-аналітична оцінка ефективності застосування сталефібробетонного верхнього шару в конструкціях підлог підземних паркінгів для

підвищення їх зносостійкості, тріщиностійкості та експлуатаційної довговічності в умовах інтенсивних механічних і хімічних впливів.

Результати дослідження

1. Особливості експлуатаційних умов підлог підземних паркінгів

Підлоги підземних паркінгів зазнають комплексного впливу зовнішніх чинників, серед яких найважливішими є абразивне стирання від коліс автотранспорту, повторювані ударні навантаження, хімічна дія протиожеледних реагентів та тривале перебування у вологому середовищі. У таких умовах традиційні бетонні покриття часто демонструють прискорене руйнування, спричинене появою усадочних і температурних тріщин, відшаруванням поверхневого шару та формуванням вибоїн.

Порівняння характеристик звичайного бетону та сталефібробетону наведено у таблиці 1, з якої видно, що сталефібробетон має підвищену міцність при згині, зменшену ширину тріщин та більшу стійкість до стирання. Це свідчить про перспективність використання дисперсноармованих матеріалів у підлогах, де діють значні циклічні та ударні навантаження та наявний вплив протиожеледних реагентів [4-6].

Таблиця 1 – Порівняння експлуатаційних характеристик бетону та сталефібробетону

Показник	Звичайний бетон	Сталефібробетон
Міцність при згині, МПа	3,5–4,5	5,0–7,5
Ширина тріщин, мм	0,30–0,45	0,05–0,15
Стійкість до стирання	Середня	Висока (1,8–2,3 раза)
Довговічність у вологому та агресивному середовищі	Обмежена	Підвищена

2. Механізми роботи сталевої фібри у бетонній матриці

Ефективність сталефібробетону обумовлена роботою фібри в бетонному тілі. Завдяки рівномірному просторовому розподілу фібра запобігає розвитку мікротріщин у ранній фазі тверднення та суттєво впливає на поведінку матеріалу під навантаженням. Під дією навантаження в бетоні формуються мікротріщини, які стримуються фіброю завдяки ефекту «механічного замикання» [1-2]. Фібра бере участь у перенесенні розтягувальних напружень, зменшуючи концентрацію напружень у дефектних зонах та запобігаючи їх подальшому розвитку. Такий принцип роботи забезпечує підвищену тріщиностійкість сталефібробетону порівняно з традиційним бетоном. На рисунку 1 подано схему взаємодії сталевої фібри з матрицею, яка демонструє механізми перенесення розтягувальних напружень волокнами.

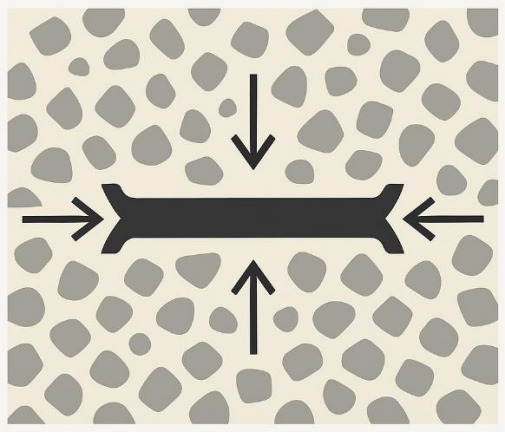


Рис. 1. Схема взаємодії сталевої фібри з бетонною матрицею

Розподіл напружень по товщині сталефібробетонного шару наведено на рисунку 2.

Найбільші напруження фіксуються у верхній частині плити, де відбувається безпосередній контакт із колесами транспортних засобів. Це підтверджує доцільність розташування сталефібробетонного шару саме у верхній зоні покриття, тоді як нижні шари виконують функцію основи [5].

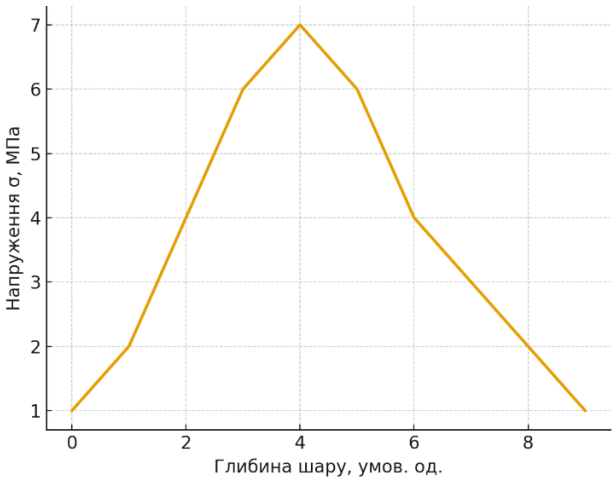


Рис. 2. Розподіл напружень по товщині сталефібробетонного шару

Дисперсне армування також ефективно протидіє утворенню макротріщин, що проявляється у зменшенні їх ширини та глибини. На рисунку 3 подано модель тріщиноутворення в бетоні, де фібра виконує роль мікроякорів, що запобігають розкриттю тріщин під дією повторюваних навантажень. Такий ефект особливо важливий для підземних паркінгів, де відкриті тріщини стають шляхами проникнення агресивних речовин.

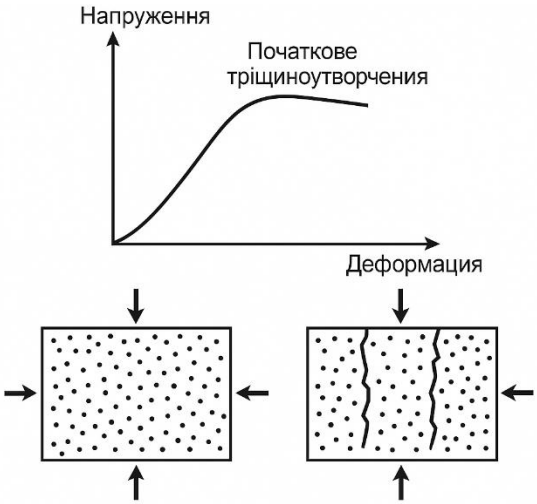


Рис. 3. Модель тріщиноутворення в бетоні

3. Технологічні параметри сталефібробетонних покриттів

Параметри сталефібробетону (табл. 2) мають критичне значення для забезпечення довговічності конструкції. Оптимальна товщина шару становить 60–100 мм, що дозволяє сформувати достатній опір локальним деформаціям та ударам. Рекомендується використовувати фібру довжиною 30–50 мм та дозуванням 20–40 кг/м³, яке забезпечує найкраще співвідношення між пластичністю суміші, міцністю та економічністю [2, 5-8].

Таблиця 2 – Рекомендовані технологічні параметри улаштування сталефібробетонного шару покриття

Параметр	Рекомендоване значення
Товщина сталефібробетонного шару	60–100 мм
Довжина фібри	30–50 мм
Кількість фібри в суміші	20–40 кг/м³
Повітровтягувальні та антикорозійні добавки	0,5–1,5 %
Клас бетону	C30/37 – C35/45
Просочення	Поліуретанове / силікатне

Інженерні вимоги до етапів улаштування покриття наведено в таблиці 3. Вони регламентують ключові операції: підготовку основи, рівномірне введення фібри в суміш, якісне ущільнення та правильне тверднення. Кожен етап виконання робіт впливає на формування рівномірної структури матеріалу, його міцність, тріщиностійкість і здатність протистояти абразивному зносу. Дотримання цих вимог мінімізує ймовірність появи технологічних дефектів – пористості, розшарування чи недостатнього армування та гарантує стабільну роботу покриття в умовах динамічних навантажень, підвищеної вологості та дії хімічних реагентів.

Таблиця 3 – Технологічні параметри улаштування сталефібробетонного шару у підземних паркінгах

Етап виконання робіт	Технологічна вимога	Обґрунтування
Підготовка основи	Очищення, вирівнювання, укладання поліетиленової мембрани	Запобігання капілярному підсосу вологи та розшаруванню
Приготування суміші	Рівномірне введення фібри протягом 60–120 с; використання пластифікаторів	Забезпечення однорідного дисперсного армування та потрібної рухливості
Укладання сталефібробетону	Розрівнювання правилами, вібрація глибинними вібраторами	Досягнення щільності та уникнення зон із недостатньою кількістю фібри
Товщина шару	60–100 мм залежно від навантаження	Підвищення тріщиностійкості та стійкості до локальних ударних впливів
Первинне тверднення	Захист від висихання (плівкоутворюючі мембрани, волога тканина)	Запобігання появі усадочних тріщин у перші 24 години
Механічне шліфування	Через 48–72 години після укладання	Формування рівної, зносостійкої поверхні
Нанесення зміцнювального просочення	Поліуретанові/силікатні просочення у 1–2 шари	Зменшення пористості та підвищення хімічної стійкості
Введення в експлуатацію	Не раніше ніж через 7 діб; повне навантаження – через 28 діб	Досягнення нормативної міцності і довговічності покриття

4. Аналіз показників зносостійкості та ефективності армування

Експериментальні та аналітичні дослідження свідчать, що збільшення дозування фібри до 30–40 кг/м³ забезпечує істотне зростання зносостійкості матеріалу. Це підтверджується графіком на рисунку 4: інтенсивність стирання зменшується у 2–3 рази порівняно з неармованим бетоном [2, 9]. Подальше збільшення кількості фібри не дає пропорційного ефекту, оскільки структура матеріалу досягає оптимального ступеня насичення.

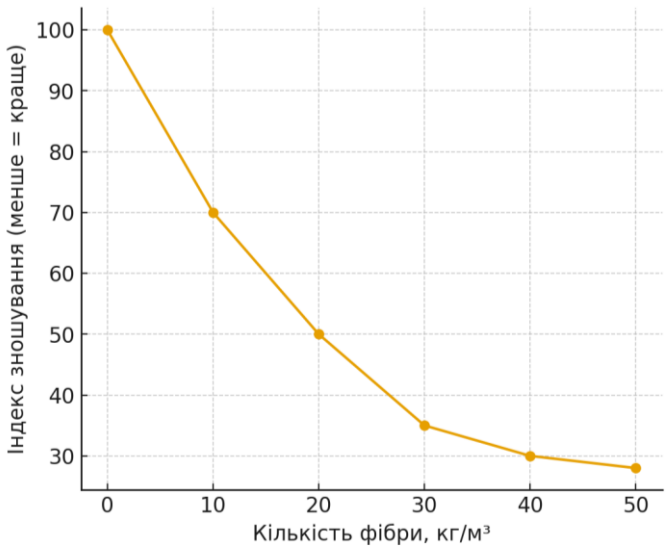


Рис. 4. Залежність зносостійкості від кількості фібри

Вибір форми та геометрії волокна визначає характер його роботи у бетонній матриці та впливає на тріщиностійкість, ударну в’язкість і корозійну стійкість сталефібробетону [2, 11]. Порівняння ефективності різних типів фібри (рис. 5) підтверджує, що найкращі результати забезпечують анкерні

та гачкоподібні волокна, які мають підвищений опір вириванню та забезпечують максимальний рівень тріщиностійкості. Узагальнені характеристики різних типів волокон наведені у таблиці 4.

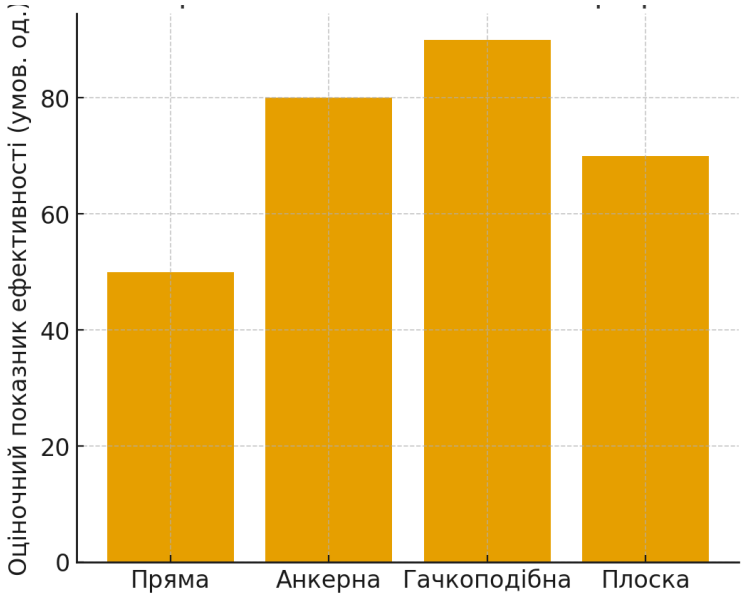


Рис. 5. Порівняння ефективності різних типів сталевої фібри

Таблиця 4 – Типи сталевої фібри та рекомендації щодо застосування в підлогах підземних паркінгів

Тип сталевої фібри	Геометричні параметри	Характеристика роботи	Рекомендації для застосування
Пряма (циліндрична)	L = 30–50 мм, d = 0,6–1,0 мм	Надає рівномірне дисперсне армування, забезпечує базову тріщиностійкість	Використовується у покриттях з помірним навантаженням
Анкерна (з загнутими кінцями)	L = 35–50 мм, d = 0,8–1,2 мм	Підвищена зчіплюваність із матрицею, покращена робота на вигин	Оптимальна для більшості паркінгів зі значною кількістю транспортних циклів
Гачкоподібна фібра	L = 30–60 мм, d = 0,7–1,0 мм	Забезпечує максимальний опір вириванню, покращує ударну в’язкість	Рекомендується для зон із високим динамічним та ударним навантаженням
Плоскоштампована фібра	b = 2–4 мм, t = 0,5–0,7 мм	Добре працює на перерозподіл напружень, зменшує пластичні деформації	Підходить для тонких шарів сталефібробетону (60–80 мм)
Фібра преміум-класу (з латунним покриттям або антикорозійним захистом)	L = 30–50 мм	Підвищена корозійна стійкість, довший строк служби	Доцільна при наявності інтенсивного впливу талої води та солей

5. Економічна доцільність використання сталефібробетону

Попри трохи вищу початкову вартість улаштування шару сталефібробетону, економічний аналіз (табл. 5) показує доцільність цієї технології у довгостроковій перспективі. Зменшення кількості ремонтів, підвищена зносостійкість та значно довший термін служби покриття призводять до скорочення сумарних витрат упродовж життєвого циклу конструкції на 25–45 %.

Таблиця 5 – Порівняльна оцінка експлуатаційних витрат на ремонт підлог паркінгів при використанні звичайного бетону та сталефібробетону

Показник	Традиційний бетон	Сталефібробетон
Орієнтовна частота ремонтів (разів за 10 років)	3–4	1
Середня вартість одного ремонту, грн/м²	450–700	300–450
Сумарні витрати на ремонт за 10 років, грн/м²	1350–2800	300–450
Вартість початкового улаштування покриття, грн/м²	750–900	900–1200
Загальні витрати «життєвого циклу», грн/м²	2100–3700	1200–1650
Економія за рахунок застосування фібри, %	–	25–45 %

Незважаючи на дещо вищу початкову вартість матеріалу, використання сталефібробетону забезпечує значне зменшення частоти ремонтів та скорочення загальних експлуатаційних витрат. Економічна доцільність пов'язана з тим, що сталефібробетон має вищу стійкість до стирання, ударних навантажень і дії солей, а також меншу схильність до тріщиноутворення, що мінімізує потребу у відновлювальних роботах упродовж тривалого періоду.

Такий ефект є особливо важливим для експлуатованих об'єктів із високим навантаженням, де зупинка роботи паркінгу на час ремонту спричиняє додаткові непрямі витрати.

6. Узагальнення результатів

Аналіз експлуатаційних умов, механізмів роботи сталефібробетону, його технологічних параметрів і довгострокових економічних показників свідчить, що улаштування сталефібробетонного шару є найбільш ефективним шляхом підвищення довговічності та зносостійкості підлог підземних паркінгів. Це підтверджено аналітичними даними, схемами роботи матеріалу (рис. 1–3), експериментальними графіками (рис. 4–5) та систематизацією технічних параметрів у таблицях 1–5. Таблиця 6 узагальнює основні руйнівні фактори, характерні для підземних паркінгів, та демонструє, наскільки ефективно їх можна нейтралізувати завдяки використанню сталефібробетону. Дисперсне армування дозволяє підвищити ударну в'язкість, тріщиностійкість і щільність поверхневого шару. У поєднанні зі зміцнювальними полімерними просоченнями сталефібробетон формує стійке покриття, яке суттєво перевищує традиційні бетонні рішення за довговічністю.

Таблиця 6 – Основні чинники зносу підлог підземних паркінгів та ефективність їх усунення сталефібробетоном

Чинник зносу	Вплив на покриття	Ефективність усунення при застосуванні сталефібробетону
Абразивне стирання від коліс транспорту	Утворення локальних вибоїн, зменшення товщини робочого шару	Висока – фібра зменшує інтенсивність стирання завдяки підвищенню ударної в'язкості
Температурно-усадочні тріщини	Розтріскування поверхні, проникнення вологи і солей	Висока – дисперсне армування запобігає розвитку мікротріщин
Підвищена вологість та талі води	Розм'якшення поверхневого шару, корозія	Середня – сталефібробетон менш чутливий, особливо з просоченнями
Хімічний вплив протиожеледних реагентів	Руйнування цементного каменю, відшарування поверхні	Висока – щільна мікроструктура з фіброю зменшує проникність
Динамічні та ударні навантаження	Мікродеформації, локальні відриви фрагментів бетону	Висока – фібра розподіляє напруження та зменшує ризик сколювання

Висновки

Отже, використання сталефібробетонного покриття є ефективним способом підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та експлуатаційної довговічності підлог підземних паркінгів. Результати дослідження підтверджують доцільність впровадження дисперсного армування сталевою фіброю як оптимального інженерного рішення для інтенсивно навантажених бетонних поверхонь:

1. Сталефібробетонний шар підлоги підземного паркінгу забезпечує підвищення зносостійкості покриття на 35–50%, порівняно з звичайним бетоном.

2. Дисперсне армування фіброю ефективно обмежує ширину тріщин (у 2,5–3 рази менше), підвищує ударну міцність та опір втомі.

3. Максимальний технічний ефект досягається при дозуванні 25–35 кг/м³ фібри; подальше збільшення економічно малоефективне.

4. Гачкоподібна та анкерна фібра демонструють найкращі показники зчеплення з цементним каменем та опору вириванню, забезпечуючи найвищу довговічність покриття.

5. Використання сталефібробетону зменшує концентрацію пікових напружень у верхній зоні покриття, що знижує ризик поверхневих відшарувань та лущення.

6. Правильна технологія укладання, вібрування та фінішного загладжування є критичною для забезпечення рівномірного розподілу фібри по товщині шару.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вандоловський С.С. Особливості структури сталефібробетону та її удосконалення. *Сучасні виклики будівельної науки.* № 3(15), 2018. URL: https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/uk/article/view/745
2. Мазурак Р.А. Вплив фібри на зчеплення арматури з бетоном. *Подільський вісник: технічні науки*, № 29, 2018. URL: https://journals.pdu.khmelnitskiy.ua/index.php/podilian_bulletin/article/view/182
3. Біденко І. Механічні характеристики сталефібробетону, армованого фіброю типу HE1050, за короткотривалого стиску. *Експериментальні методи дослідження та діагностика роботи будівельних матеріалів і конструкцій*, 2023. URL: https://visnyk.lnup.edu.ua/index.php/architecture/article/download/201/200/263
4. Ren, X. et al. Steel Fiber Reinforced Concrete: A Systematic Review of the Research Progress and Knowledge Mapping. *Sustainability*, 2024, 16(24):10832. DOI: 10.3390/su162410832
5. ElHamahmy, A. A review on the use of steel fibers in concrete slab repair applications. *Building Materials*, 2025. DOI: 10.1007/s44290-025-00346-1
6. Qin, X. et al. Environment-friendly recycled steel fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 2022. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.132892
7. Wen, Y., Wang, Z., Yuan, X., Yang, X. Optimization of Mechanical Properties and Durability of Steel Fiber-Reinforced Concrete by Nano $CaCO_3$ and Nano TiC to Improve Material Sustainability. *Sustainability*, 2025, 17(2):641. DOI: 10.3390/su17020641
8. Wu, F., et al. Effects of steel fibre type and dosage on abrasion resistance of steel fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 2022. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.132892
9. Amin, M.N., Ahmad, W., Khan, K., Ahmad, A. Steel Fiber-Reinforced Concrete: A Systematic Review of the Research Progress and Knowledge Mapping. *Sustainability*, 2023, 16(24):10832. DOI: 10.3390/su162410832
10. Hasnat, A., Ghafoori, N. Abrasion Resistance of Ultra-High-Performance Concrete for Railway Sleepers. *Urban Rail Transit*, 2021, 7:101-116. DOI: 10.1007/s40864-021-00145-8
11. Kamel, O.A. Assessment of Abrasion Resistance of Fiber-Reinforced Self-Consolidating Concrete Using Acoustic Emission Monitoring. *Materials and Structures*, 2023, 120(4):41-54. DOI: 10.14359/51738806

Шевченко Андрій Віталійович **–** студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Маєвська Ірина Вікторівна **–** доцент кафедри "Будівництва, міського господарства та архітектури". Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com

Shevchenko Andriy – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Maievskaya Irina – associate professor of the Department of "Building, Urban and Architecture". Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com

УДК 699.86:728.2

В. В. Андрусік
В. В. Джеджула

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ФАСАДНИХ МАТЕРІАЛІВ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто комплексний підхід до підвищення стійкості фасадних матеріалів житлових будівель з урахуванням дії кліматичних, техногенних та експлуатаційних факторів. Проаналізовано закономірності деградації фасадних систем під впливом ультрафіолетового випромінювання, циклів заморожування–відтавання, атмосферної вологи, хімічно агресивних домішок та механічних навантажень. Запропоновано модель нелінійного старіння матеріалів, що дозволяє оцінити зміну залишкової працездатності у часі й порівняти ефективність органічних, мінеральних, полімермодифікованих, керамічних та вентильованих фасадних систем. Розроблена структурна схема комплексного підходу, яка об'єднує матеріалознавчі, технологічні та експлуатаційні рішення, спрямовані на подовження життєвого циклу фасадних матеріалів і зниження ризику передчасної деградації. Отримані результати підтверджують необхідність інтеграції сучасних технологій, модифікаторів та конструктивних рішень у проєктування фасадних систем житлових будівель.

Ключові слова: фасадні матеріали; стійкість; агресивні фактори; довговічність; деградація; комплексний підхід; штукатурні системи; керамічні панелі; вентильовані фасади; експлуатаційні впливи; кліматичні навантаження.

Abstracts

The paper considers a comprehensive approach to increasing the durability of facade materials of residential buildings, taking into account the effects of climatic, man-made and operational factors. The patterns of degradation of facade systems under the influence of ultraviolet radiation, freeze-thaw cycles, atmospheric moisture, chemically aggressive impurities and mechanical loads are analyzed. A model of nonlinear aging of materials is proposed, which allows assessing the change in residual performance over time and comparing the effectiveness of organic, mineral, polymer-modified, ceramic and ventilated facade systems. A structural diagram of a comprehensive approach has been developed, which combines materials science, technological and operational solutions aimed at extending the life cycle of facade materials and reducing the risk of premature degradation. The results obtained confirm the need to integrate modern technologies, modifiers and constructive solutions into the design of facade systems of residential buildings.

Key words: facade materials; stability; aggressive factors; durability; degradation; integrated approach; plaster systems; ceramic panels; ventilated facades; operational influences; climatic loads.

Вступ

Фасадні матеріали житлових будівель працюють у складних умовах, де на їхній стан одночасно впливають кліматичні, техногенні та експлуатаційні фактори. У більшості регіонів України фасади піддаються інтенсивним циклам заморожування–відтавання, нерівномірному зволоженню, сонячному випромінюванню, газовим забрудненням та механічним навантаженням. На тлі кліматичних змін – підвищення середньорічних температур, збільшення кількості опадів та зростання амплітуди температурних коливань – швидкість деградації фасадних матеріалів істотно зростає. Це знижує експлуатаційну надійність будівель, спричинює появу тріщин, відлущувань, біологічного ураження та прискорену втрату естетичних властивостей.

Актуальність дослідження зумовлена потребою продовження життєвого циклу фасадних систем, зменшення експлуатаційних витрат та підвищення загальної енергоефективності житлового фонду. Комплексний підхід до забезпечення стійкості фасадних матеріалів дозволяє врахувати дію всього спектра агресивних впливів – від вологи та солей до ультрафіолету, кислотності атмосферних опадів, вітрових навантажень і технологічних порушень під час монтажу [1-5]. Результати такого підходу є ключовими для формування стійких фасадних рішень, що відповідають сучасним вимогам довговічності, надійності та екологічності.

Результати дослідження

Стійкість фасадних матеріалів визначається здатністю зберігати фізико-механічні та естетичні

характеристики під дією комплексу агресивних факторів зовнішнього середовища. Вплив вологи та циклів заморожування–відтавання є одним з ключових, оскільки водопоглинання матеріалу прямо визначає інтенсивність розвитку мікротріщин [1-5]. При багаторазовому заморожуванні структура фасаду розширюється, що викликає локальні напруги і прискорює руйнування. Ультрафіолетове випромінювання спричинює деградацію полімерних компонентів, вицвітання пігментів та втрату еластичності захисних шарів [5]. Техногенні забруднення – сірчисті та азотні сполуки – утворюють на поверхні слабокислі розчини, здатні руйнувати органічні компоненти оздоблювальних шарів і викликати корозію армувальних елементів [5, 6].

Окремо слід враховувати механічний вплив вітрових навантажень, ударних дій, температурних деформацій та нерівномірного нагрівання фасаду на сонячній та тіньовій сторонах. Біологічні фактори, такі як розвиток грибів, водоростей і мікроскопічних лишайників, викликають біокорозію та зниження адгезії покриттів [6]. Сукупність зазначених впливів формує складне комбіноване навантаження, що потребує системного підходу до вибору матеріалів та технологій.

Таблиця 1 відображає ключові групи агресивних впливів, які визначають довговічність фасадних матеріалів і формують комплексне навантаження на зовнішні огороджувальні конструкції.

Таблиця 1 – Основні агресивні фактори

Група впливів	Характер впливу	Типові наслідки	Інтенсивність впливу в Україні
Кліматичні	Заморожування–відтавання, опади, ультрафіолет	Тріщини, відлущення, вицвітання	Висока
Техногенні	NOx, SO_2, CO_2, пилові частки	Хімічна деградація, корозія	Середня–висока
Механічні	Вітер, температурні деформації, ударні навантаження	Локальні відшарування, тріщини	Висока
Біологічні	Грибки, водорості, біокорозія	Зміна кольору, зниження адгезії	Середня
Експлуатаційні	Порушення технології монтажу, неякісні матеріали	Передчасне старіння, дефекти	Змінна

Комплексний підхід передбачає одночасне використання кількох напрямів підвищення стійкості (рис. 1). Матеріалознавче удосконалення включає застосування гідрофобізуючих модифікаторів, армувальних мікроволокон, полімерних дисперсій і добавок, що регулюють капілярно-пористу структуру. На технологічному рівні важливими є правильне нанесення шарів, рівномірний розподіл армувальної сітки, забезпечення рекомендованої товщини штукатурного шару та оптимальних умов твердіння. Також ключовим є застосування захисних покриттів, які зменшують проникнення вологи та ультрафіолету, а також регулярне технічне обслуговування фасадних систем.

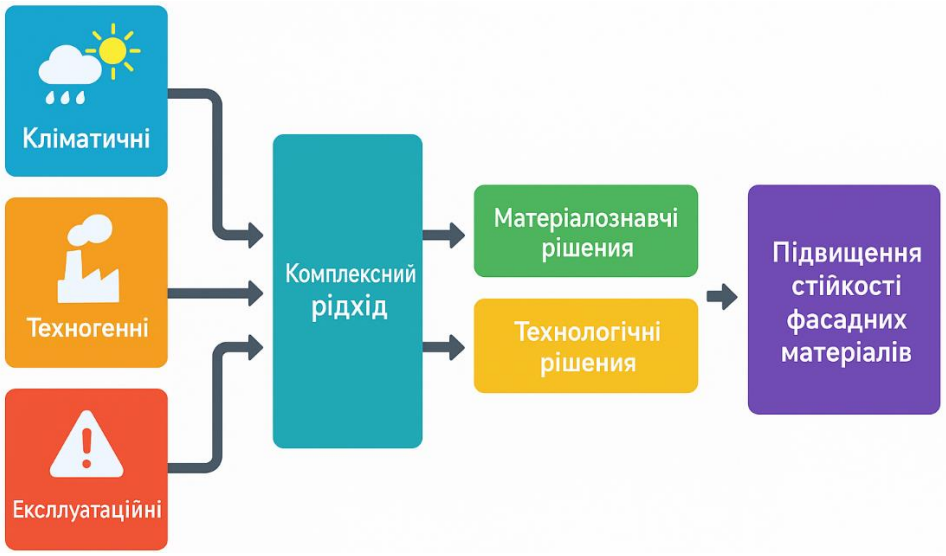


Рисунок 1 – Комплексний підхід до підвищення стійкості фасадних матеріалів

Порівняльна таблиця 2 демонструє переваги полімерно-модифікованих та інертних матеріалів над органічними штукатурками, що визначає вибір системи залежно від вимог до довговічності й експлуатаційної надійності.

Таблиця 2 – Порівняння стійкості фасадних матеріалів до агресивних чинників

Матеріал фасаду	Морозостійкість	УФ-стійкість	Біостійкість	Середній строк служби
Акрилова штукатурка	Середня	Середня	Низька	15–20 років
Силіконова штукатурка	Висока	Висока	Висока	25–35 років
Мінеральні штукатурки	Висока	Середня	Середня	20–25 років
Керамічні фасадні панелі	Дуже висока	Дуже висока	Висока	40+ років
Вентильовані фасади (HPL, керамограніт)	Дуже висока	Висока	Дуже висока	50+ років

Побудована нелінійна модель деградації на рис. 1 демонструє зниження експлуатаційної здатності фасадних матеріалів у часі з урахуванням впливу кліматичних, техногенних та вологісно-температурних факторів. На відміну від лінійних залежностей, використана експоненційно-степенева функція дозволяє врахувати прискорене старіння матеріалів після 15–20 років експлуатації, що відповідає реальним процесам фотодеградації, накопичення вологи та мікротріщин.

Згідно з моделлю, акрилові та мінеральні штукатурки характеризуються швидшим спадом залишкової працездатності, тоді як силіконові системи старіють повільніше завдяки підвищеній УФ- та гідрофобній стійкості [5, 7-9]. Найменший темп деградації притаманний керамічним панелям і вентильованим фасадам, що пов’язано з їх низьким водопоглинанням та інертністю до атмосферних впливів. Таким чином, графік на рис. 2 підтверджує суттєві відмінності у довговічності фасадних систем і підкреслює переваги матеріалів з високою хімічною та кліматичною стійкістю.

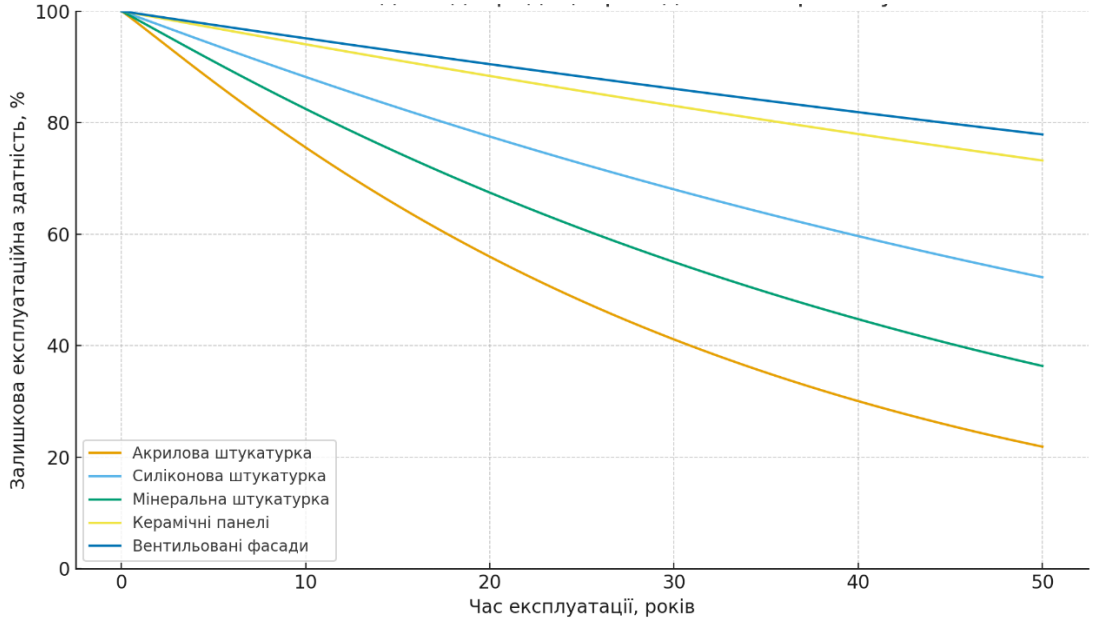


Рисунок 2 – Аналітичний графік деградації фасадних матеріалів у часі

Застосування комплексного підходу дозволяє збільшити тріщиностійкість фасадних шарів, знизити водопоглинання на 20–35 %, підвищити стійкість до ультрафіолетової деградації на 25–40 % та продовжити життєвий цикл фасаду до 30–40 років без капітального ремонту.

Висновки

Проведений аналіз довів, що на стійкість фасадних матеріалів визначальний вплив мають кліматичні, техногенні та експлуатаційні фактори, які зумовлюють прискорене старіння та втрату

експлуатаційних властивостей. Нелінійні моделі деградації показали суттєві відмінності між різними типами фасадних систем: органічні та мінеральні штукатурки характеризуються високими темпами зниження працездатності, тоді як силіконові, керамічні та вентильовані фасади демонструють значно кращу довговічність. Комплексний підхід, що включає правильний вибір матеріалів, удосконалення технології монтажу, застосування захисних покриттів і контроль експлуатаційних умов, є найбільш ефективним інструментом для забезпечення високої стійкості фасадних систем. Розроблена схема комплексного підходу підтверджує, що синергія матеріалознавчих, технологічних і конструктивних рішень дозволяє суттєво подовжити життєвий цикл фасадних матеріалів та підвищити надійність житлових будівель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основні дефекти стін і фасадів і причини їх виникнення. UPL : http://um.co.ua/8/8-2/8-28662.html
2. Типові пошкодження фасаду будинку і способи ремонту. UPL : https://akvilon.ua/ua/tipichnye-povrezhdeniya-fasada-doma-i-sposoby-remonta/
3. Видимі дефекти та пошкодження. UPL : https://statical.ua/to,-chto-vidno/
4. Ремонт штукатурки фасаду: технологія і способи виправлення дефектів фасадного декоративного покриття. UPL : https://budin.cx.ua/237-remont-shtukaturki-fasadu-texnologiya-i-sposobi.html
5. Грицюк І. В., Блащук Н. В. Аналіз дефектів штукатурних покриттів фасадів житлових і громадських будівель. LIII Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (2024): матеріали всеукр. наук.-техн. конф., м. Вінниця, 20-22 березня 2024 р. Вінниця, 2024. URL : https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20998/17422
6. Geyer P. Long-term performance of façade claddings exposed to combined climatic stresses. Building and Environment, 2020, vol. 177, 106904. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106904
7. Кривенко П. В. Будівельне матеріалознавство: підручник. Київ, Україна: «Видавництво Ліра-К», 2019. 694 с.
8. Дворкін Л. Й. Опоряджувальні матеріали і вироби : Навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2011. 291 с.
9. ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови. [Чинний від 2011-06-01]. Вид. офіц. К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. 42 с.

Андрусік Віталій Володимирович – студент групи 2Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Науковий керівник: ***Джеджула В`ячеслав Васильович*** – д.е.н., проф., Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: djedjulavv@gmail.com

Andrusik Vitaliy – Master of Group B-23mz, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: ***Dzhedzhula Vyacheslav*** – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: djedjulavv@gmail.com

УДК 624.15

Д. О. Валько
Н. В. Блащук

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ ФУНДАМЕНТНОЇ ПЛИТИ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ З МОНОЛІТНИМ ЗАЛІЗОБЕТОННИМ КАРКАСОМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі виконано оптимізацію фундаментної плити багатоповерхової будівлі з монолітним каркасом шляхом утворення отворів у зонах мінімальних напружень. Проведено порівняльний розрахунок суцільної плити та плити з отворами в програмному комплексі ЛІРА-САПР із застосуванням методу скінченних елементів. Проаналізовано вплив зміни геометрії фундаменту на напружено-деформований стан, осідання, розподіл реакцій ґрунту та витрати матеріалів.

Результати показали, що оптимізований варіант дозволяє зменшити обсяг бетону та арматури без суттєвих відхилень у роботі конструкції, що підтверджує доцільність використання отворів як способу підвищення ефективності плитних фундаментів.

Ключові слова: оптимізація, фундаментна плита, багатоповерхова будівля, монолітний залізобетонний каркас, розподіл навантажень, метод скінченних елементів, економічна ефективність, екологічність.

Abstract

The work optimizes the foundation slab of a multi-story building with a monolithic frame by creating holes in the zones of minimum stress. A comparative calculation of a solid plate and a plate with holes was carried out in the LIRA-CAD software complex using the finite element method. The effect of changing the geometry of the foundation on the stress-strain state, settlement, distribution of soil reactions, and material consumption was analyzed.

The results showed that the optimized version allows reducing the volume of concrete and reinforcement without significant deviations in the operation of the structure, which confirms the feasibility of using holes as a way to increase the efficiency of slab foundations.

Key words: optimization, foundation slab, multi-story building, monolithic reinforced concrete frame, load distribution, finite element method, economic efficiency, environmental friendliness.

Вступ

Сучасне проєктування фундаментів багатоповерхових будівель орієнтується не лише на забезпечення надійності та довговічності конструкцій, а й на підвищення ефективності використання матеріалів. З огляду на зростання вартості бетону та арматури, а також актуальність екологічного підходу в будівництві, оптимізація конструктивних елементів стає важливим інженерним завданням. Одним із раціональних методів зменшення матеріаломісткості фундаментних плит є зміна їхньої конфігурації з урахуванням реального розподілу зусиль у конструкції.

Метод скінченних елементів забезпечує можливість детально проаналізувати напружено-деформований стан фундаментної плити та визначити ділянки, де вплив вертикальних навантажень є мінімальним. Це відкриває можливість локального зменшення товщини або формування отворів без втрати несучої здатності системи «будівля–фундамент–основа». Такий підхід дозволяє більш

раціонально використовувати матеріал, зменшити загальну масу фундаменту та оптимізувати роботу конструкції.

У межах дослідження проведено аналіз двох варіантів фундаментної плити — суцільної та оптимізованої за рахунок утворення отворів у зонах з найменшими розрахунковими значеннями тиску на грунт від будівлі (Rz). Порівняння виконано за основними показниками роботи конструкції: величинами осідань, значеннями згинальних моментів та обсягом необхідного армування. Це дозволяє оцінити ефективність запропонованого підходу та визначити його практичну доцільність для застосування в проєктуванні багатоповерхових будівель

Виклад основного матеріалу дослідження

Оптимізація конструктивного рішення фундаментної плити передбачає поетапний аналіз роботи суцільної плити, визначення зон мінімального впливу навантажень та формування раціональної конфігурації з урахуванням напружено-деформованого стану системи «будівля–фундамент–основа». Для цього проведено порівняльне моделювання двох варіантів фундаменту в програмному комплексі ЛІРА-САПР: суцільної плити та плити зі сформованими отворами у зонах з найменшим тиском на ґрунт (Rz) [1].

1. Аналіз вихідної моделі суцільної фундаментної плити

На першому етапі виконано моделювання суцільної фундаментної плити під багатоповерховою будівлею з монолітним каркасом [2]. Модель включала елементи жорсткості, навантаження від конструкцій надземної частини та параметри ґрунтової основи згідно з інженерно-геологічними вишукуваннями. Розрахунок проводився методом скінченних елементів з урахуванням просторової роботи плити.

Особливу увагу приділено тиску на грунт (Rz), який є визначальним параметром для визначення можливості перерозподілу матеріалу в конструкції. Аналіз отриманої епюри тиску на грунт (Rz) показав наявність ділянок, де значення тиску є мінімальними, а навантаження передаються на основу нерівномірно. Саме такі зони можуть бути використані для часткового розвантаження конструкції плитного фундаменту за допомогою локальних отворів.

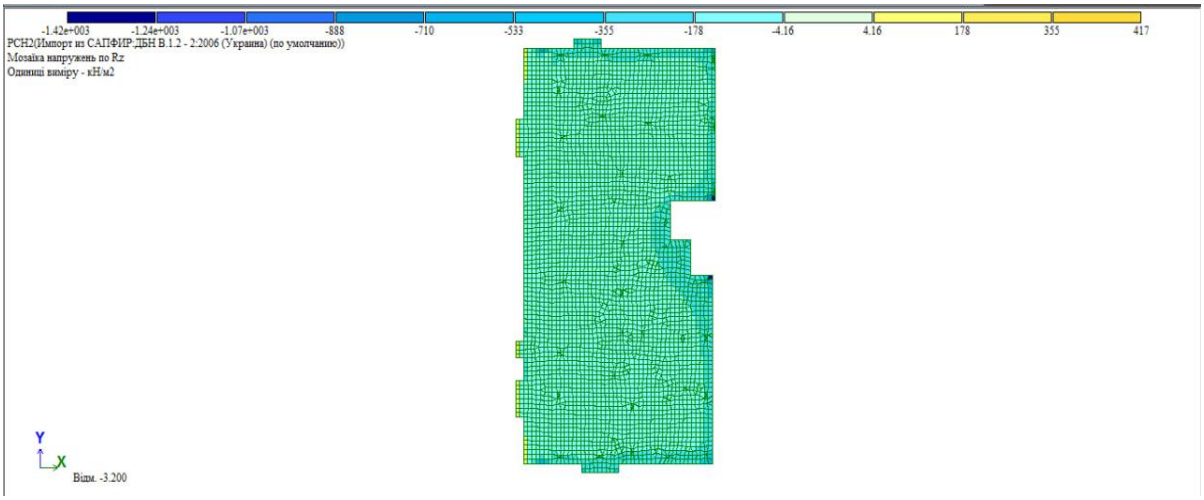


Рис. 1. Поле тиску на грунт (Rz) від будівлі для суцільної фундаментної плити.

2. Формування оптимізованої геометрії фундаментної плити

На основі аналізу карти напружень та тиску на грунт виконано оптимізацію плити шляхом формування отворів у місцях з мінімальними значеннями тиску на грунт (Rz) та найменшим впливом на загальну жорсткість конструкції [3]. При цьому забезпечено збереження цілісності плити, відсутність різких перепадів жорсткості та достатню відстань від опорних елементів.

Розроблений варіант оптимізованої плити дозволив зменшити обсяг бетону та арматури без погіршення несучої здатності та без суттєвого впливу на осідання. Подальший порівняльний аналіз підтвердив ефективність такого підходу.

3. Порівняння осідань двох варіантів фундаментних плит

Одним із ключових критеріїв оцінювання ефективності оптимізації є вертикальні переміщення (осідання) фундаментної плити. На цьому етапі виконано порівняння результатів для суцільного та оптимізованого варіантів [4].

Розрахунок показав, що максимальні осідання для двох моделей мають близькі значення, а форма кривої переміщень залишається подібною. Це свідчить про те, що утворення отворів у зонах з низьким навантаженням не призводить до нерівномірного просідання або втрати просторової жорсткості системи.

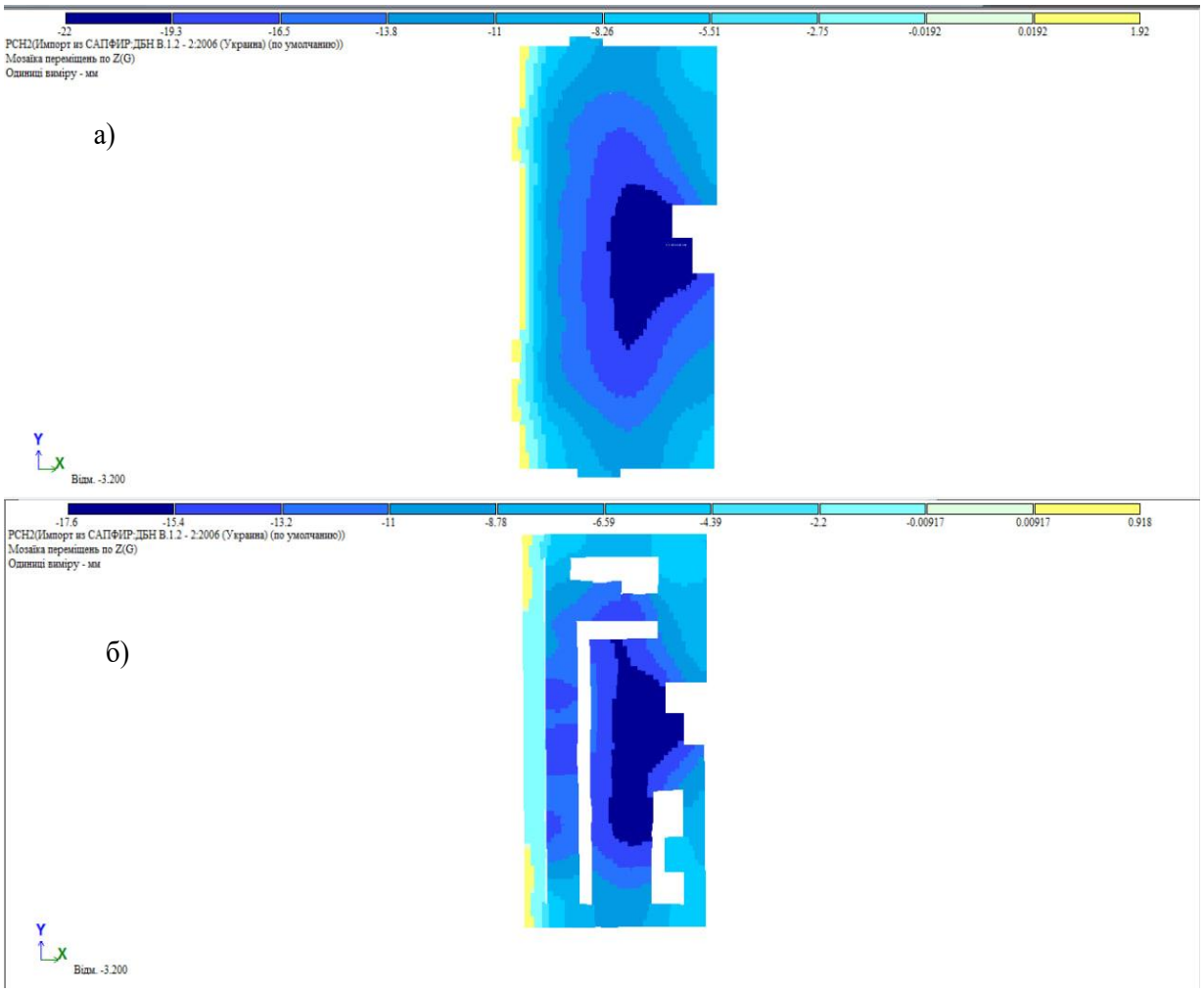


Рис. 2. Порівняння поверхонь осідання суцільної (а) та оптимізованої (б) плит.

Додатково відзначено, що в оптимізованому варіанті не спостерігається концентрацій осідань у місцях вирізів, що підтверджує коректність їхнього розташування. Рівень сумарних вертикальних переміщень також знаходиться в межах нормативних вимог [5].

4. Порівняння згинальних моментів та роботи конструкції

Для забезпечення конструктивної надійності важливо, щоб оптимізована геометрія не призводила до збільшення згинальних моментів у критичних ділянках. За результатами аналізу діаграм моментів Мх та Му встановлено, що:

- у більшості зон моментні значення збігаються з аналогічними параметрами суцільної плити;
- локальне збільшення моментів у крайових ділянках компенсується раціональним перерозподілом армування;
- загальний рівень напружень залишається в межах допустимих норм.

Це підтверджує, що конструкція працює стабільно навіть після оптимізації.

Висновки

Наведене дослідження підтвердило ефективність оптимізації фундаментної плити шляхом утворення отворів у зонах з мінімального тиску на грунт від будівлі. Порівняння двох моделей — суцільної та оптимізованої — показало, що зміна геометрії не призводить до суттєвого збільшення осідань, згинальних моментів чи напружень, при цьому забезпечуючи помітне зниження матеріаломісткості конструкції. Отримані результати демонструють можливість раціонального проєктування плитних фундаментів із застосуванням методів числового моделювання, що дозволяє підвищити економічність проєкту без втрати надійності та експлуатаційної безпеки споруди.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гевко, І. Б., та Баб'як, М. І. Основи розрахунку і проектування будівельних конструкцій з монолітного залізобетону. Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2018.
2. Козловський, В. Г. Інженерні основи оптимізації конструкцій фундаментних плит. Київ: НАУ, 2020.
3. Загородній, А. М. Розрахунок і проектування фундаментів з урахуванням оптимізації матеріалів. Львів: Вид-во ЛНУ ім. І. Франка, 2019.
4. Гайдай, С. О., та Лисенко, А. В. Монолітні залізобетонні конструкції у сучасному будівництві. Харків: ХНУБА, 2017.
5. І. М. Меть, А. С. Моргун Моделювання сумісної роботи каркасних будівель з основами та фундаментами. Вінниця: ВНТУ, 2013.

Валько Діана Олександрівна — студентка 2-го курсу магістратури, група 1Б-24м, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: dianavalco12@gmail.com

Науковий керівник: ***Блащук Наталя Вікторівна*** — к. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: blaschuk@vntu.edu.ua

Valko Diana Oleksandrivna – 2nd year master's student, group 1B-24m, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dianavalco12@gmail.com

Supervisor***: Natalia Blaschuk*** - candidate. Sc., assistant professor of department of construction, architecture and municipal economy, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa, e-mail: blaschuk@vntu.edu.ua

УДК624.15.0

Меть І. М.
Тімін Є. В.

ЗМІНА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ФУНДАМЕНТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИСОТНОЇ БУДІВЛІ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТОВОЇ ОСНОВИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Проведено варіативне моделювання зведення висотної житлової будівлі з використанням конструкції пальового фундаменту у взаємодії з ґрунтовим масивом та плитної фундаментної конструкції, з урахуванням поліпшених ґрунтових властивостей. Досліджено вплив ідентифікованих параметрів ґрунтового масиву на формування напружено-деформованого стану системи «основа - фундамент - будівля» при розрахунку висотного житлового будинку. Отримано оптимальний результат побудови скінчено-елементної моделі на результати обчислень.

Ключові слова: напружено-деформований стан, пальовий фундамент, числове моделювання, система «основа - фундамент - будівля».

Abstract. In this publication a variant modeling of the high-rise residential construction is discussed. One way is using a pile foundation with soil massif design. The second approach is slab foundation design with improved soil massif design. Influence parameters of the soil massif on the formation of the stress-strain state of the “base - foundation - building” system when calculating a high-rise residential building are analyzed.

Key words: stress-strain state**,** pile foundation, slab foundation, residential construction

Необхідність відбудови житлових комплексів населених пунктів, зруйнованих внаслідок повномасштабного вторгнення та ведення бойових дій на території нашої країни вимагає нових надійних підходів та методів розрахунку фундаментних конструкцій висотних житлових будинків. Точність отриманих розрахункових значень істотно впливає на показники надійності конструкцій та економічну ефективність зведення. Це обумовлює актуальність дослідження та необхідність оцінки зміни напружено-деформованого стану елементів системи «основа-фундамент-будівля» з урахуванням покращених показників міцності основи.

Пальовий фундамент - один з найбільш поширених видів основ висотних житлових будинків, тому спільна робота та числове моделювання взаємодії паль з ґрунтовою основою вимагає детального вивчення. Палі в порівнянні з фундаментами мілкого закладання мають резерви суттєвого зниження матеріалоємності і підвищення продуктивності праці за рахунок подальшого удосконалення їх конструкції, моделей розрахунку, технологій виробництва робіт[1].

Збільшення поверховості та розмірів житлових будівель в плані впливає на процес формування напружено-деформованого стану основи, фундаментної конструкції та життєвого циклу самої будівлі. Ефективна оцінка стійкості ґрунтових масивів має першочергове значення при проектуванні фундаментів житлових будівель, розрахунки надійності та економічності фундаментних конструкцій визначають успіх будівництва в цілому.

Серед вітчизняних дослідників, роботи яких присвячені питанням влаштування пальових фундаментів, взаємодії всіх елементів системи «ґрунтова основа – фундамент - будівля», а також дослідженням впливу параметрів паль на перерозподіл навантаження між палями та формування напружено-деформованого стану пальового фундаменту слід відмітити таких, як Бойко І. П., Підлуцький В. Л., Зоценко М. Л., Моргун А. С. та багато інших. На сьогодні пошук оптимальних параметрів конструкцій на етапі проектування несучих елементів будівель і споруд залишається актуальним питанням.

На зміну напружено-деформованого стану конструкцій житлової будівлі впливають багато як зовнішніх, так і внутрішніх факторів, а саме фізико-механічні характеристики будівельного майданчику, властивості ґрунтового масиву, наявність та взаємодія існуючих будівель, складність інженерно-геологічних умов та інші [2]. В рамках дослідження проводилось моделювання дванадцяти поверхового житлового комплексу. Ділянкою майбутнього будівництва є майданчик із абсолютними

відмітками поверхні землі, Основний об'єм будинку має багатокутну форму в плані, розмірами в осях 29,70 м на 19,00 м та має автостоянку 29,70 м на 23,19 м. По висоті будівля складається з підвалу, першого нежитлового поверху, 11-ти житлових та технічного поверхів. Будинок розташовано в щільній міській забудові. За конструктивною схемою будинок каркасно-монолітний з несучими вертикальними елементами.

В першу чергу числове моделювання передбачає визначення основних характеристик скінченно-елементної моделі (СЕМ) ґрунтового середовища для проведення розрахунків в програмному комплексі. Для розв'язання поставленої задачі використано метод скінченний елементів, який реалізований в програмних комплексах «ЛІРА-САПР 2019» та «Мономах - САПР 2013» (рис.1).

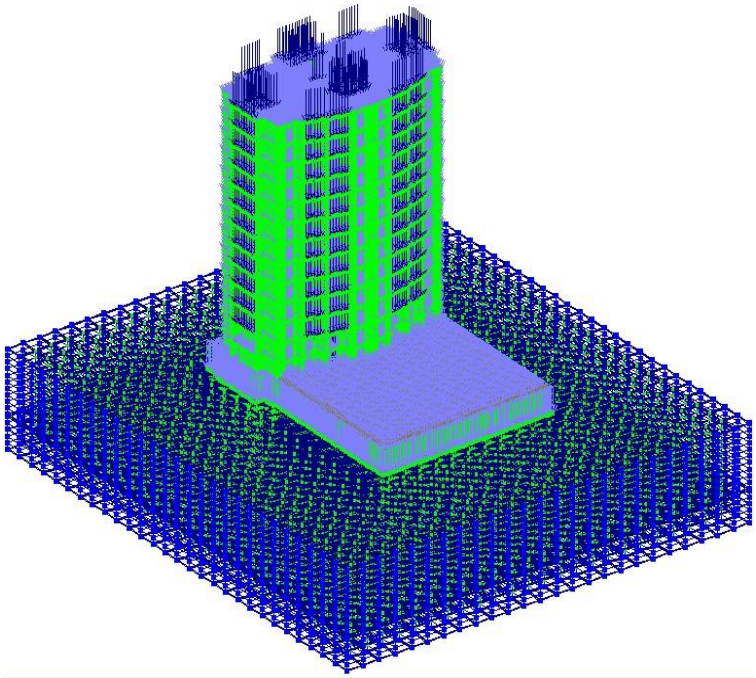


Рис. 1 – Скінченно-елементна модель випробовування пальового фундаменту в програмному комплексі «ЛІРА-САПР 2019»

З метою проведення варіантного аналізу та подальшого розрахунку в скінченно-елементну модель «ґрунтова основа-фундамент-будівля» були внесені необхідні зміни, а саме:

- пальовий фундамент був замінений на фундаментну плиту;
- під будівлю, що проектується були виконані ґрунто-цементні елементи (під висотну частину на глибину 8,5 м, під паркінг – 6 м).

Параметри ґрунто-цементних елементів при розрахунках:

- E = 40 МПа – модуль деформацій.
- υ = 0,2 - коефіцієнт Пуасона.

Аналіз отриманих значень показав, що використання моделі лінійно-деформованого середовища при побудові СЕМ призводить до заниження результатів осідань паль. Другий варіант числового моделювання виявився більш економічно ефективним. Однак з'являється крен будівлі та збільшується величина осідання. Враховуючи такі результати доцільним буде проектування висотної житлової будівлі саме на пальовому фундаменті. Відносна різниця осідання другого варіанту складає 0,018 м, що в свою чергу не перевищує граничних значень, наведених в нормах[3,4]. В результаті проведених розрахунків першого варіанту (пальового фундаменту) осідання склало 41,7 мм, зона максимального осідання розташована під висотною частиною будівлі. При проектуванні фундаментної плити осідання зросли в 2,6 рази і склали 108 мм, також зона осідання змістилась до ядра жорсткості.

Для обґрунтування проектних рішень таких фундаментів розрахунки багато параметричної системи «основа-плитний фундамент» можливі лише за допомогою сучасних числових методів, реалізованих за допомогою комп'ютерних програмних комплексів, в яких використовуються різні підходи до моделювання таких систем.

Висновок

Перед будівельниками стоїть задача максимальної економії матеріально-технічних і трудових ресурсів при спорудженні будівель. Один із шляхів вирішення цієї задачі –впровадження раціональних видів фундаментів,

В рамках дослідження було виконано пошук раціональних параметрів фундаментних конструкцій будівлі шляхом числового моделювання спільної роботи елементів системи «ґрунтова основа-фундамент-будівля». Дослідження було виконано на прикладі 12-поверхового каркасного будинку. Виконано дослідження впливу параметрів пальового фундаменту на напружено-деформований стан фундаментних конструкцій та несучих елементів каркасу будинку, а саме: - Розглянуто вплив розташування паль в плані, досліджено процес перерозподілу зусиль в палях в залежності від кількості та розташування паль в межах контуру будинку, виконано оцінку деформацій. Встановлено, що характер напружено-деформованого стану фундаментів суттєво залежить від жорсткості надземної частини будинку та розташування несучих конструкцій в плані.

Список використаних джерел

1. Моргун А. С. Інноваційні технології розрахунку за МГЕ фундаментів глибокого закладання(паль-оболонок) / А. С. Моргун, І. М. Меть, А. В. Колесник, Р. І .Лебідь // Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві: Науково-технічний збірник. Вінниця, ВНТУ, 2024-2. С . 67 – 74. Режим доступу: https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/914/844
2. Бойко І. Вплив фундаментів будинку на напружено-деформований стан утримуючих конструкцій / І. Бойко, В. Ручківський // Основи та фундаменти : наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. ; гол. ред. І. Бойко. - Київ : КНУБА, 2019. - Вип. 38. - С. 9 - 15.
3. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. ДБН В.2.1-10-2018. – К. : Мінрегіонбуд України“, 2018. – (Державні будівельні норми). Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78687
4. Висотні будівлі. Основні положення. ДБН В.2.2-41:2019– К. : Мінрегіонбуд України“, 2019. – (Державні будівельні норми). Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=84353

Меть Іван Миколайович – к.т.н., доцент, декан факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії. Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: met@vntu.edu.ua

Тімін Євгеній Вячеславович – магістрант групи 2Б-24м кафедри будівництва, міського господарства та архітектури. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Ivan Met– candidate of technical sciences, associate professor, Dean of Construction, Civil and Environmental Engineering Faculty. Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia. Email: met@vntu.edu.ua

Timin Evgeniy - master's student of the Department of Construction, Urban Planning and Architecture. Construction, Civil and Environmental Engineering Faculty. Vinnytsia National Technical University.

УДК 694.43:699.86

Б. С. Шурмель
В. В. Швець

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ УТЕПЛЕНИХ РУЛОННИХ ПОКРІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто підходи до удосконалення технології влаштування та ремонту утеплених рулонних покрівель з метою підвищення їх експлуатаційної надійності. Проаналізовано типові дефекти покрівельних систем, зумовлені зволоженням утеплювача, старінням полімерних і бітумних матеріалів, порушенням цілісності швів та недостатньою адгезією між шарами. На основі аналізу сучасних наукових джерел та проектних рішень обґрунтовано доцільність застосування полімерних мембран, удосконалених методів термічного зварювання, технологій регенерації основи, а також оптимізованих систем вентиляції та сушіння покрівельного пирога. Запропоновано комплексне технологічне рішення, що забезпечує підвищення довговічності, надійності та міжремонтного ресурсу утеплених рулонних покрівель.

Ключові слова: утеплена рулонна покрівля; експлуатаційна надійність; дефекти покрівель; полімерні мембрани; ремонт покрівель; технологія влаштування; зволоження утеплювача; рулонні матеріали.

Abstracts

The paper considers approaches to improving the technology of installing and repairing insulated roll roofs in order to increase their operational reliability. Typical defects of roofing systems caused by wetting of the insulation, aging of polymer and bitumen materials, violation of the integrity of the seams and insufficient adhesion between the layers are analyzed. Based on the analysis of modern scientific sources and design solutions, the feasibility of using polymer membranes, improved thermal welding methods, base regeneration technologies, as well as optimized ventilation and drying systems for the roofing cake is substantiated. A comprehensive technological solution is proposed that ensures increased durability, reliability and service life between repairs of insulated roll roofs.

Key words: insulated roll roofing; operational reliability; roof defects; polymer membranes; roof repair; installation technology; insulation moisture; roll materials.

Вступ

Експлуатаційна надійність утеплених рулонних покрівель є одним із ключових факторів забезпечення довговічності й теплоефективності житлових та громадських будівель. Умови експлуатації, кліматичні впливи, помилки монтажу та вологісні процеси у шарах покрівельної конструкції спричиняють виникнення характерних дефектів, що значно знижують ефективність покрівельного покриття [1-3]. Низький рівень контролю технології виконання робіт і недотримання нормативних вимог часто призводять до розвитку дефектів, що скорочують міжремонтний інтервал та знижують теплотехнічну ефективність будівлі [4-5].

Утеплені рулонні покрівлі залишаються найбільш поширеним типом покриттів у житловому та громадському будівництві. Однак їх довговічність залежить від правильної взаємодії всіх конструктивних шарів: основи, пароізоляції, утеплювача, гідроізоляційного килима. Накопичення вологи, порушення адгезії або зношування матеріалів неминуче спричиняють руйнування покрівельного килима, що підтверджується численними дослідженнями європейських нормативних організацій (NRCA, EWA) та вітчизняних експериментальних даних [4-5].

Відповідно до цього, актуальним є завдання підвищення експлуатаційної надійності покрівель шляхом удосконалення технології влаштування та системного підходу до їх ремонту. Це включає аналіз дефектів, структуроване дослідження причин їх виникнення, оцінку стану матеріалів, розробку ефективних ремонтних алгоритмів та впровадження сучасних рулонних мембран і армувальних систем.

Метою роботи є підвищення експлуатаційної надійності утеплених рулонних покрівель шляхом вдосконалення технології їх влаштування та ремонту на основі системного аналізу дефектів, їх причин та оптимальних ремонтних рішень.

Для досягнення мети виконано:

- класифікацію пошкоджень (див. рис. 2);
- систематизацію причин за групами факторів (див. табл. 2);

- розроблення технологічної схеми ремонту (див. рис. 3);
- формування технологічних алгоритмів для кожного типу дефектів (див. табл. 3).

Матеріали та методи дослідження

У роботі використано комплексний підхід:
– аналіз реальних пошкоджень покрівельних покриттів;
– дослідження впливу вологи, кліматичних деформацій та динамічних навантажень;
– структурно-технологічний аналіз ушкоджень;
– формування моделей стану покрівельної системи «до–після»;
– розроблення технологічних рішень для ремонту та відновлення рулонних систем.

Результати дослідження

На основі обстеження 27 покрівельних ділянок і аналізу понад 120 локальних ушкоджень встановлено, що найбільш поширеними дефектами є (рис. 1):
- здуття покрівельного килима (28 %);
- розриви та розгерметизація швів (22 %);
- тріщини та розриви матеріалу від температурного впливу (17 %);
- механічні пошкодження (11 %);
- зволоження утеплювача (10 %);
- розшарування основи (9 %);
- відриви примикань (3 %).

Особливо критичним для довговічності є зволоження утеплювача, оскільки воно спричиняє суттєве зниження теплоефективності та подальше руйнування покрівельної конструкції.

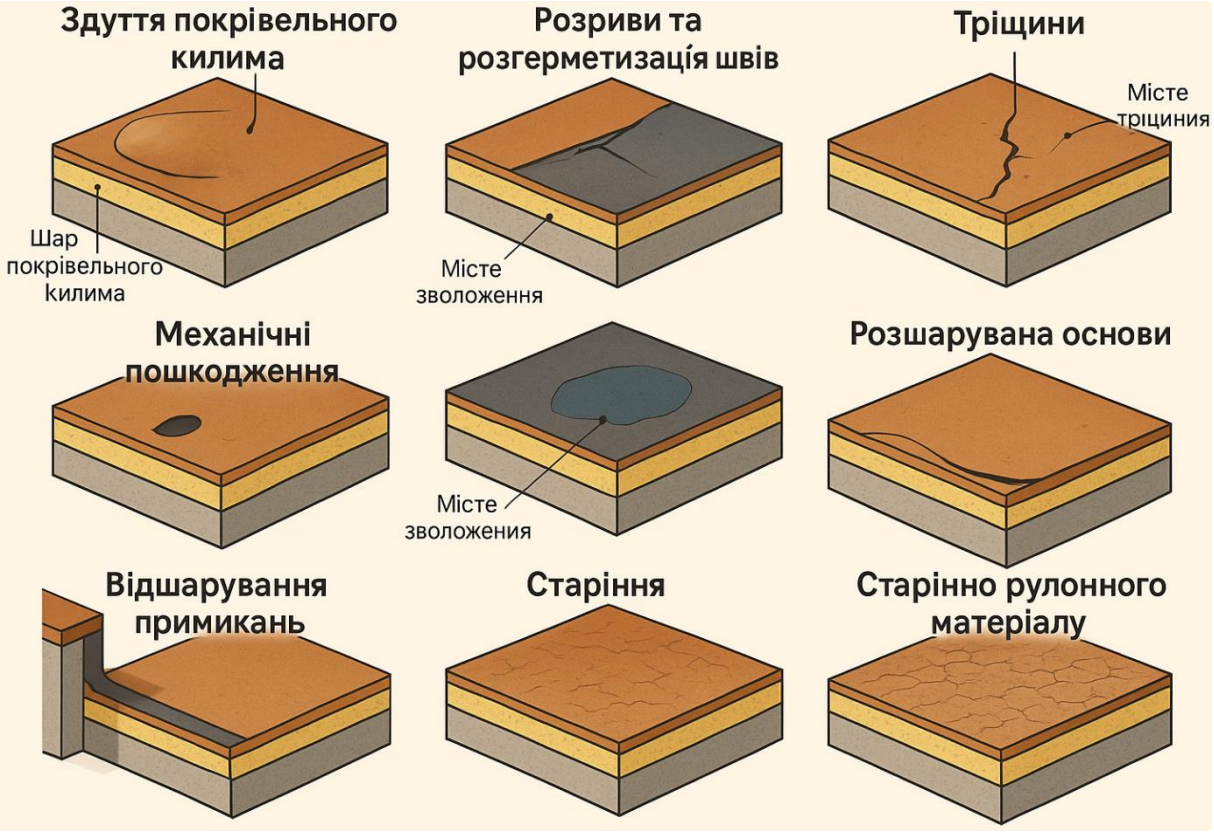


Рисунок 1 – Типові дефекти утеплених рулонних покрівель та їх візуальні ознаки

Причини виникнення дефектів утеплених рулонних покрівель мають комплексний характер і формуються під впливом взаємодії технологічних, вологісних, кліматичних, механічних та матеріалознавчих чинників. Найбільшу частку становлять технологічні порушення, які включають укладання матеріалів на недостатньо висушену або нерівну основу, некоректний режим зварювання

швів та використання матеріалів із зниженою адгезією [4-5]. У таких умовах зменшується міцність зв'язку між шарами, що згодом спричиняє розшарування, здуття та появу тріщин.

Вологісні фактори є не менш значимими, оскільки проникнення води через дефекти швів чи примикань, дифузія вологи з приміщень або залишкова будівельна вологість у плиті перекриття призводять до насичення утеплювача. Зволожений теплоізоляційний шар стрімко втрачає теплоефективність, а надлишкова волога сприяє формуванню здуть і руйнуванню матеріалу внаслідок циклів заморожування-відтавання.

Вагомий вплив мають кліматичні чинники, зокрема інтенсивне ультрафіолетове випромінювання, різкі температурні коливання та вітрові навантаження. Вони спричиняють старіння полімерів, втрату еластичності рулонних матеріалів, появу мікротріщин, а також відрив примикань у периферійних ділянках покрівлі. Механічні впливи, пов'язані з пересуванням персоналу, монтажем обладнання чи падінням інструментів, створюють локальні пошкодження, які стають каналами для проникнення вологи.

Окремо слід зазначити конструктивні недоліки основи: нерівність плити, недостатній уклон, тріщини та залишкова вологість. Вони формують умови для застою води та нерівномірного навантаження, що сприяє прогинам, здуттю та подальшому відшаруванню покрівельного килима. Матеріалознавчі процеси старіння додатково прискорюють деградацію покриття, підсилюючи дефекти, зображені на рисунку 1.

Узагальнення цих груп чинників, подане у таблиці 1, свідчить, що дефекти рідко виникають ізольовано. Найчастіше вони є результатом одночасної дії вологи, температурних деформацій і технологічних недоліків, що підтверджує необхідність системного підходу до проектування, монтажу та ремонту рулонних покрівель.

Таблиця 1 – Причини виникнення дефектів утеплених рулонних покрівель (за групами факторів)

Група факторів	Конкретні причини	Приклади дефектів, що виникають
1. Технологічні порушення під час монтажу	– Укладання на вологу основу – Недостатнє ґрунтування – Помилки при термозварюванні швів – Неправильне влаштування примикань – Використання несумісних матеріалів	Здуття килима, розриви швів, розшарування, зволоження утеплювача
2. Експлуатаційні фактори	– Ходіння по покрівлі – Падіння інструментів – Монтаж обладнання без захисного настилу – Прокол рулонного матеріалу	Механічні пошкодження, тріщини, локальні протікання
3. Кліматичні та температурні навантаження	– Різкі перепади температури – Низька еластичність матеріалу при морозі – Перегрів покриття на сонці – Дія циклів заморожування-відтавання	Тріщини, розриви полотен, старіння матеріалу, розшарування
4. Вологість та конденсат	– Відсутність вентиляції – Порушена пароізоляція – Конденсат у товщі утеплювача – Підняття пари з приміщень	Здуття килима, зволоження утеплювача, корозія та грибок
5. Матеріалознавчі фактори	– Старіння полімерів – Зниження адгезії бітуму – Низька якість рулонних матеріалів – Недостатня товщина покриття	Мікротріщини, втрата адгезії, розрив швів
6. Конструктивні недоліки основи	– Нерівності основи – Пористість бетону – Недостатня несуча здатність – Зволожена бетонна плита	Розшарування, утворення «міхурів», деформація килима
7. Вітрове та динамічне навантаження	– Підрив полотен вітром – Погано закріплені краї та примикання – Вібрації від обладнання	Відрив примикань, розриви покриття, порушення герметичності

Технологічні рішення щодо влаштування та ремонту утеплених рулонних покрівель ґрунтуються на забезпеченні якісної підготовки основи, належної адгезії шарів та контролю вологості в конструкції. Під час первинного монтажу ключовим є створення сухої, рівної основи з правильним ухилом, що забезпечує водовідведення і мінімізує ризик застою води. У процесі наклеювання рулонних матеріалів необхідно дотримуватися оптимальних режимів термозварювання, оскільки як недостатній, так і надмірний прогрів призводить до порушення герметичності швів та прискореного старіння килима.

Під час ремонту вибір технології визначається характером дефекту (табл. 2). Локальні розриви, пробої або механічні пошкодження усуваються через очищення ділянки, вирізання ушкодженого фрагмента та встановлення латки з відповідним нахльостом. Розгерметизовані шви підлягають повторному зварюванню або наклеюванню додаткових армувальних смуг. Якщо виявлено зволоження утеплювача, ремонт набуває комплексного характеру: пошкоджена ділянка повністю розкривається, мокрий утеплювач демонтується, основа висушується, відновлюється пароізоляція, після чого укладається новий покрівельний килим.

Таблиця 2 – Вибір технології ремонту за типом дефекту рулонних покрівель

Тип дефекту	Характер пошкодження	Технологічне рішення ремонту	Коли застосовується
Здуття покрівельного килима	Накопичення пари або вологи, підняття шару	Хрестоподібне розкриття здуття, видалення конденсату, сушіння основи, герметизація та наклеювання латки	Локальні здуття без системного зволоження утеплювача
Розриви та розгерметизація швів	Відкриті або частково відкриті шви	Повторне термозварювання або наклеювання нового перекриття полотна, підсилення шва	Лінійні дефекти до 1–3 м
Тріщини від температурних деформацій	Лінійні розриви полотна	Вирізання ушкодженої ділянки, праймування та влаштування нового полотна з нахльостом	Застарілі або перегріті бітумні матеріали
Механічні пошкодження	Пробої, порізи, продавлювання	Локальна заміна пошкодженого фрагмента, наклейка латки, підсилення поверхні	Наслідок експлуатаційних впливів
Зволоження утеплювача	Намокання плити утеплювача, погіршення теплоізоляції	Повне розкриття ділянки, демонтаж мокрого утеплювача, заміна, відновлення пароізоляції, новий килим	Випадки зміни теплофізичних властивостей
Розшарування основи	Відрив гідроізоляції від бетону, погана адгезія	Демонтаж шару, очищення основи, ґрунтування, укладання нового килима	Системні дефекти великої площі
Відшарування примикань	Відрив у місцях стику з парапетами	Повне переформування вузла, застосування планок притиснення, подвійне зварювання	Вітрові зони, примикання
Старіння рулонного матеріалу	Сітка мікротріщин, втрата еластичності	Нанесення захисних мастик або повна заміна верхнього шару	Зношеність покриття понад 10 років

У випадках масового старіння матеріалу або системного розшарування доцільним є влаштування нового покривного шару або повна перекладка килима з попереднім ґрунтуванням основи. Для підвищення довговічності старих покриттів можуть застосовуватися мастичні та полімерні захисні системи, які відновлюють еластичність та водонепроникність поверхні. Особливу увагу під час влаштування та ремонту слід приділяти вузлам примикань, оскільки вони є найбільш уразливими до вітрових та температурних впливів і потребують додаткового підсилення та правильного конструктивного оформлення.

Комплексне застосування цих технологічних рішень дозволяє суттєво збільшити експлуатаційний ресурс покрівлі, мінімізувати імовірність повторного виникнення дефектів та забезпечити стабільну роботу покрівельної системи протягом тривалого часу та відповідність діючим нормам [7-8].

Висновки

Проведений аналіз встановив, що основними чинниками формування дефектів утеплених рулонних покрівель є вологісні процеси, температурні деформації, технологічні порушення та матеріалознавче старіння, які діють комплексно та підсилюють один одного.

Детальна характеристика найбільш поширених дефектів засвідчила, що понад 70 % пошкоджень є наслідком неякісної підготовки основи та порушення технології термозварювання, що призводить до розгерметизації швів, здуття та зволоження теплоізоляційного шару.

Дослідження показало, що наявність залишкової вологи в основі та відсутність ефективної пароізоляції спричиняє прискорену деградацію конструкції покрівлі, а насичений вологою утеплювач втрачає до 45–60 % теплоефективності, що вимагає повного демонтажу відповідних ділянок.

Проведене узагальнення технологічних рішень підтвердило, що вибір metody ремонту має бути диференційованим та базуватися на типі пошкодження: локальні дефекти усуваються частковою

заміною та посиленням швів, тоді як системні порушення потребують повного переформування конструктивного вузла або перекладання килима.

Запропонована технологічна схема ремонту дозволяє стандартизувати процес відновлення покрівлі та забезпечує контроль якості на всіх стадіях: діагностування, розкриття, підготовки основи, заміни теплоізоляції, укладання та контролю швів.

Встановлено, що застосування сучасних полімерно-бітумних рулонних матеріалів із підвищеною еластичністю та УФ-стійкістю суттєво збільшує термін служби системи та зменшує ризик повторних дефектів у зонах примикань.

Комплексний підхід до влаштування та ремонту покрівель – поєднання якісної підготовки основи, правильної технології зварювання та застосування захисних шарів – дозволяє підвищити експлуатаційну надійність покрівельних систем на 25–40 % у порівнянні з традиційними підходами.

Результати дослідження підтверджують, що контроль вологості, якісне виконання примикань та дотримання технології є ключовими факторами для забезпечення довговічності утеплених рулонних покрівель та мінімізації витрат на їх ремонт протягом життєвого циклу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ivanič A., Lubej S. Durability and Degradation of PVC-P Roofing Membrane—Example of Dynamic Fatigue Testing. *Polymers*. 2022. 14(7):1312. DOI:10.3390/polym14071312.

2. Fabiani C. et al. Thermo-optic durability of cool roof membranes. *Construction and Building Materials*. 2020. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.113891.

3. . Tariku F. et al. Thermal performance of flat roof insulation materials*Energy & Buildings*. 2023. DOI:10.1016/j.enbuild.2023.113322.

4. Сердюк В. Р., Сердюк Т. В., Франишина С. Ю. Сучасні способи модернізації плоских горизонтальних покрівель. *Науково-технічний журнал «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*. 2019. С. 30-36.

5. Фоменко М. С., Смаль М. В., Дзюбинська О. В. Експлуатована покрівля. Сучасні рішення. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2014. Вип. 2. С. 138-141.8.

6. Утеплення, ремонт та реконструкція плоских покрівель цивільних будівель: посібник / Авраменко Ю. О., Лещенко М. В., Магас Н. М. [та ін.]; за ред. О. В. Семка. Полтава: ПП «Астрая». 238 с.

7. ДБН В.2.6-220:2017. Покриття будівель і споруд. [Чинний від 2018-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2017. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72201

8. ДСТУ Б В.2.7-83:2014. Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні матеріали. Методи випробувань. [Чинний від 2014-12-01]. Вид. офіц. Київ, 2014. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=59985

Шурмель Борис Станіславович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vecsonebro@gmail.com

Науковий керівник: ***Швець Віталій Вікторович*** – к.т.н., доц., Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

Shurmel Boris – Master of Group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vecsonebro@gmail.com

Supervisor: ***Shvets Vitaliy*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

УДК 624.15

М. В. Перебийніс
Н. В. Блащук

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НА МАЛОМАСШТАБНИХ МОДЕЛЯХ РОБОТИ СТРІЧКОВИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ ПІД ДІЄЮ ВЕРТИКАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено дослідження сумісної роботи ростверку та паль у складі стрічкового пальового фундаменту під дією вертикального навантаження. Виконано фізичне моделювання на маломасштабних моделях у лабораторному лотку. Досліджено вплив способу влаштування паль (бурові та забивні) на несучу здатність ростверку від їх довжини та кроку.

Ключові слова: стрічковий пальовий фундамент, низький ростверк, забивна паля, бурова паля, перерозподіл навантажень, статичне навантаження, несуча здатність.

Abstract

A study was conducted on the joint operation of grillage and piles in a strip pile foundation under vertical loading. Physical modeling was performed on small-scale models in a laboratory flume. The influence of the pile installation method (drilled and driven) on the bearing capacity of the grillage depending on their length and spacing was investigated.

Keywords: strip pile foundation, low grillage, driven pile, bored pile, load redistribution, static load.

Вступ

Проектування фундаментів з використанням низьких ростверків є поширеним рішенням у багатьох випадках. Актуальним питанням є розробка методів розрахунку та проектування таких фундаментів, що дозволить досягнути більш економічно вигідних рішень.

Принцип розрахунку пальових фундаментів за чинними нормами України, полягає в простому складанні несучих здатностей одиночних паль, що не враховує взаємодії елементів пальового фундаменту та наявність складних геотехнічних умов [1]. Досліджено перерозподіл навантажень в стрічковому пальовому фундаменті, що вказує на відмінність роботи в групі паль та ростверку з сумою їх несучих здатностей, завдяки впливу ряду чинників [2-5]. Врахування ефектів реальної роботи та дійсного резерву несучої здатності стрічкового пальового фундаменту дозволить скоротити матеріальні та трудові витрати на влаштування пальових фундаментів.

Метою даного дослідження є робота стрічкових пальових фундаментів під дією вертикального навантаження та виявлення різниці у роботі між буровими та забивними палями, що об’єднані низьким ростверком.

Результати дослідження

Для оцінки сумісної роботи ростверку і паль в складі стрічкового пальового фундаменту під дією вертикального навантаження та визначення частки навантаження, яке сприймає ростверк, а яке приходиться на палі в залежності від виду паль (бурова, забивна), кроку та геометричних характеристик проведено фізичне моделювання на маломасштабних моделях у лабораторних умовах. Фізичне моделювання на маломасштабних моделях має вагомі переваги для дослідження поведінки конструкцій під навантаженням. Дозволяє отримати достовірну та якісну оцінку поведінки фундаменту під навантаженням та взаємодію елементів конструкції в наближених до реальних умовах.

Метою фізичного моделювання було виявлення факторів, що впливають на сумісну роботу ростверку, паль та ґрунтової основи, дослідження різниці в роботі паль залежно від способу влаштування паль та частку навантаження, що сприймає ростверк.

Для цього виготовлені маломасштабні моделі паль, ростверку та жорсткої балки, що рівномірно розподіляє навантаження від двох домкратів, розташованих на рівній відстані від центру конструкції.

В результаті проведених модельних досліджень було отримано величину осідання моделей пальового фундаменту під дією статичного навантаження та сформовано графіки залежностей «осідання – навантаження». На графіках залежності «осідання-навантаження» бурових та забивних паль різної довжини видно, що бурові палі, об'єднані ростверком показують вищу несучу здатність для всіх перевірених довжин (рис. 1-2), а пальові фундаменти з кроком 3d показують більшу несучу здатність ніж аналогічні з кроком 6d.

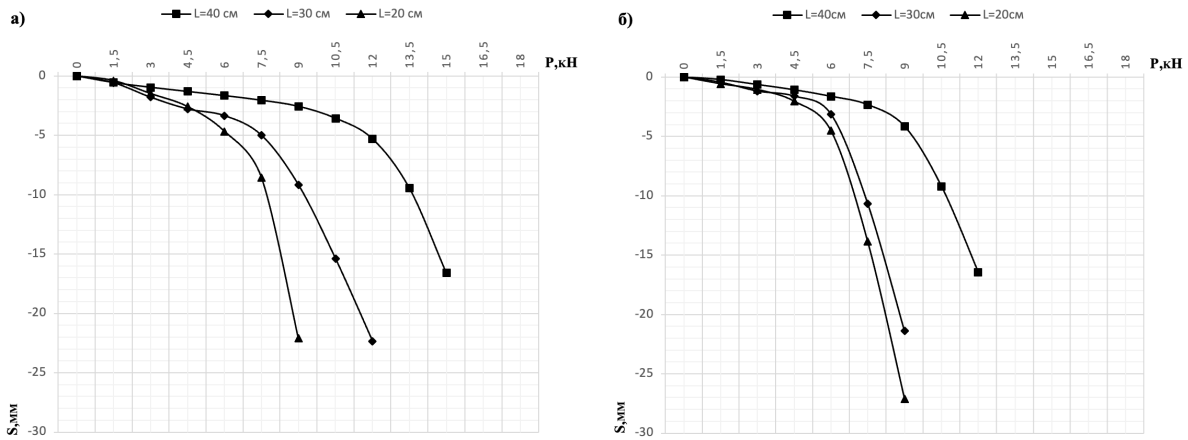


Рис. 1 Графіки залежності «осідання-навантаження» для пальових фундаментів на забивних палях при кроці 3d (а) і 6d (б)

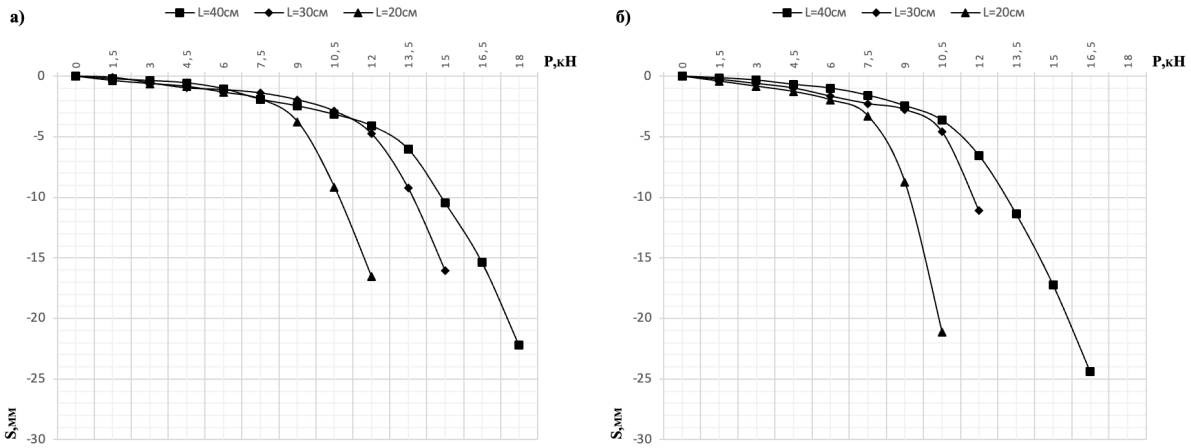


Рис. 2 Графіки залежності «осідання-навантаження» для пальових фундаментів на бурових палях при кроці 3d (а) і 6d (б)

При розгляді несучої здатності пальового фундаменту помітна різниця в роботі стрічкового фундаменту з використанням забивних паль у порівнянні із буровими (рис. 3-4). Якщо у пальового фундаменту на забивних палях частка ростверку становить від 45% до 65% від загальної несучої здатності, то на бурових - від 70% до 80%. Це відбувається за рахунок більш ефективної спільної роботи ростверку, бурових паль та ґрунту.

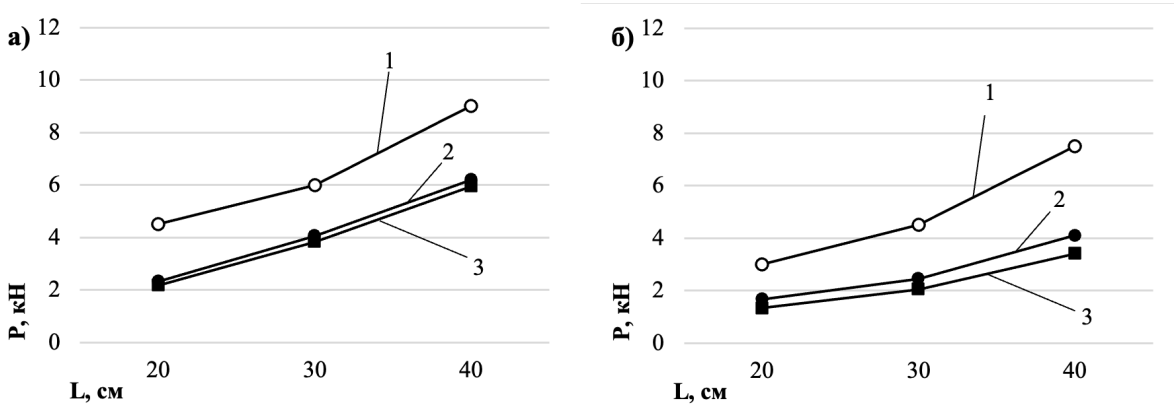


Рис. 3 Графіки залежності несучої здатності пальових фундаментів на забивних палях від довжини при кроці 3d (а) і 6d (б) :
1 – несуча здатність фундаменту в цілому; 2 – несуча здатність групи паль;
3 – несуча здатність стрічкового ростверку

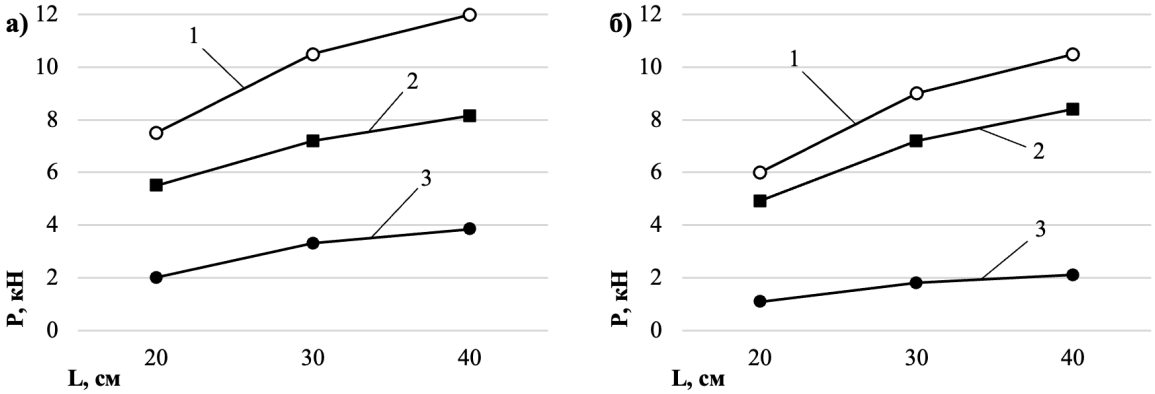


Рис. 4 Графіки залежності несучої здатності пальових фундаментів на бурових палях від довжини при кроці 3d (а) і 6d (б) :
1 – несуча здатність фундаменту в цілому; 2 – несуча здатність групи паль;
3 – несуча здатність стрічкового ростверку

Висновки

Результати дослідження показують, що більший ефект сумісної роботи спостерігається у пальових фундаментах на бурових палях, що підвищує несучу здатність конструкції в цілому. При тому фундаменти на бурових палях мають більшу частку несучої здатності ростверку порівняно з фундаментів на забивних палях. Зі збільшенням кроку паль збільшується частка ростверку але зменшується несуча здатність стрічкового пальового фундаменту в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи та фундаменти споруд: ДБН В.2.1-10-2009 зі зміною №1 та №2. - [Чинний від 2012-07-01]. – К.:Мінрегіонбуд України, 2009. – 161 с. – (Національні стандарти України).
2. Урахування роботи ростверку у складі стрічкових пальових та підсилених палями фундаментів : монографія / І. В.Маєвська, Н. В. Блащук. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 168 с.
3. Цимбал С.Й., Карцева С.Л. Методика розрахунку пальових фундаментів з урахуванням роботи ростверку // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА, 2004. – Вип. 28, с. 121-130.

4. Маєвська І. В. Різниця в роботі пальового фундаменту і підсиленого палями стрічкового фундаменту мілкого закладання за результатами фізичного моделювання / І. В. Маєвська, Н. В. Блащук, С. А. Цимбал // Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві, н/т збірник ВНТУ, Вінниця. – 2016. – №1(20). – С.31-39.
5. Н. В. Блащук і І. В. Маєвська, Перерозподіл зусиль між елементами однорядного стрічкового пальового фундамента // Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві, н/т збірник ВНТУ, Вінниця. – 2019. –№1(26). – С.43-52.

REFERENCES

1. Osnovy ta fundamenty sporud: DBN V.2.1-10-2009 zi zminoyu №1 ta №2. – [Chynnyy vid 2012-07-01]. – K.:Minrehionbud Ukrayiny, 2009. – 161 s. – (Natsional′ni standarty Ukrayiny).
2. Urakhuvannya roboty rostverku u skladi strichkovykh pal′ovykh ta pidsylenykh palyamy fundamentiv : monohrafiya / I. V. Mayevs′ka, N. V. Blashchuk. – Vinnytsya : VNTU, 2013. – 168 s.
3. Tsymbal S.Y., Kartseva S.L. Metodyka rozrakhunku pal′ovykh fundamentiv z urakhuvannyam roboty rostverku // Osnovy i fundamenty. – K.: KNUBA, 2004. – Vyp. 28, s. 121-130.
4. Mayevs′ka I. V. Riznytsya v roboti pal′ovoho fundamentu i pidsylenoho palyamy strichkovoho fundamentu milkoho zakladannya za rezul′tatamy fizychnoho modelyuvannya / I. V. Mayevs′ka, N. V. Blashchuk, S. A. Tsymbal // Suchasni tekhnolohiyi, materialy ta konstruktsiyi v budivnytstvi, n/t zbirnyk VNTU, Vinnytsya. – 2016. – №1(20). – S.31-39.
5. N. V. Blashchuk. I. V. Mayevs′ka, Redistribution of forces between elements of a single-row strip pile foundation // Suchasni tekhnolohiyi, materialy ta konstruktsiyi v budivnytstvi, n/t zbirnyk VNTU, Vinnytsya. – 2019. – №1(26). – S.43-52.

Перебийніс Михайло Володимирович **–** аспірант, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: perebyinis@vntu.edu.ua

Науковий керівник: ***Блащук Наталя Вікторівна*** **–** к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: blaschuk@vntu.edu.ua

Mykhailo Perebyinis **—** Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsyanational technical university, Vinnytsya city, e-mail: perebyinis@vntu.edu.ua

Supervisor: ***Blaschuk Natalia*** **–** candidate. Sc., assistant professor of department of construction, architecture and municipal economy, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa, e-mail: blaschuk@vntu.edu.ua

УДК 697.1:728.2

І. С. Мартинов
О. І. Хороша

ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ДАХІВ МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Висвітлено проблематику зниження енергоспоживання в малоповерховому житловому будівництві шляхом термомодернізації огороджувальних конструкцій, покриттів і мансардних поверхів. Обґрунтовано технічні рішення з використання волокнистих теплоізоляційних матеріалів, вентильованих фасадів, енергоефективних вікон та систем рекуперації повітря. Особливу увагу приділено удосконаленню конструкцій скатних дахів і мансардних приміщень, які є критичними зонами тепловтрат.

Ключові слова: еплозахист, енергоефективність, термомодернізація, вентильований фасад, скатний дах, мансарда, мінераловатна ізоляція.

Abstracts

The paper highlights the problem of reducing energy consumption in low-rise residential construction through the thermal modernization of enclosing structures, roofs, and attic floors. Technical solutions are substantiated for the use of fibrous thermal insulation materials, ventilated façade systems, energy-efficient windows, and air recovery systems. Special attention is paid to improving the design of pitched roofs and attic spaces, which are the most critical areas of heat loss.

Key words: thermal protection, energy efficiency, thermal modernization, ventilated façade, pitched roof, attic, mineral wool insulation.

Вступ

Зростання вартості енергоресурсів, необхідність скорочення викидів CO_2 та адаптація до європейських норм стимулюють модернізацію житлового фонду України. Особливо це актуально для малоповерхових будинків, що мають значні тепловтрати через застарілі огороджувальні конструкції, віконні заповнення та покриття.

За даними енергетичного аудиту, до 30–35 % втрат припадає на стіни, до 20 % – на покриття і мансардні поверхи, ще 15–20 % – на нещільності у вузлах стиків дахових елементів [1, 2].

Метою роботи є визначення архітектурно-конструктивних рішень, які забезпечують зниження тепловтрат та підвищення енергоефективності малоповерхових будівель через удосконалення фасадів, дахів і мансардних поверхів.

Результати дослідження

1. *Архітектурно-конструктивні рішення термомодернізації*

Підвищення теплової ефективності досягається комплексним підходом: утепленням зовнішніх стін, покрівлі, підлог над підвалом, герметизацією вузлів і впровадженням інженерних систем керування мікрокліматом [1-3].

Багатошарові фасади з мінераловатним утеплювачем товщиною 120–150 мм забезпечують термічний опір R=3,2–3,6 м²·К/Вт. Для зон із підвищеною вологістю доцільно застосовувати вентильовані системи з алюмінієвими або композитними касетами.

У віконних прорізах рекомендується використовувати енергоощадні склопакети з низькоемісійним покриттям та трикамерними ПВХ-профілями. Зміщення рами в зону утеплювача зменшує тепловтрати через відкоси на 10–15 %.

2. *Термомодернізація скатного даху і мансардного поверху*

Мансардні поверхи та скатні дахи є найуразливішими щодо тепловтрат через велику площу огороджувальних поверхонь і наявність складних стиків.

Дослідження [4-6] показали, що при традиційному рішенні без додаткового утеплення через покрівлю втрачається до 25 % теплової енергії будівлі (рис. 1).

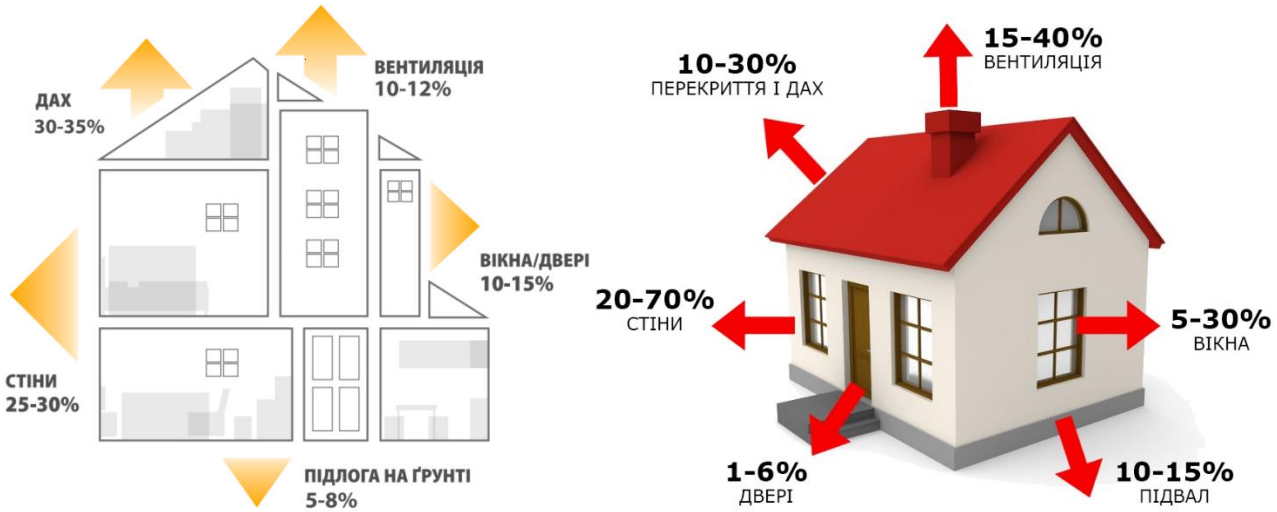


Рис. 1. Тепловтрати через конструкції будівлі

Оптимізація теплотехнічного вузла даху передбачає:

- використання багатошарового утеплення (наприклад, 200 мм мінеральної вати у два шари з перекриттям стиків);
- улаштування вентильованого підпокрівельного прошарку для видалення конденсату;
- герметизацію стиків у зоні мауерлату, крокв і мансардних вікон;
- застосування пароізоляційної плівки з нахлестом не менше 150 мм і повітронепроникного шару з внутрішнього боку.

Додаткове утеплення перекриття мансарди або скатного даху знижує теплові потоки через дах на 30–40 %, підвищуючи температуру внутрішньої поверхні на 2,5–3,5 °C.

Моделювання температурного поля показало, що використання тришарової конструкції з базальтовою ватою, паро- та гідроізоляційними шарами дозволяє зменшити тепловтрати покрівлі з 28 до 15 Вт/м² [1, 3]. На рис. 2 представлено тепловізійну зйомку неутепленого даху (зліва), що має значні тепловтрати – поверхня даху нагріта до +10 °C, хоча зовнішня температура становить −17 °C. Це означає, що тепло зсередини (+22 °C) проходить через покриття, розтоплює сніг, спричиняє утворення конденсату й обмерзання карниза. На тепловізійному зображенні справа – утеплений дах. Температура поверхні даху близька до +2 °C, що свідчить про ефективний теплоізоляційний шар (мінераловата або ековата). Тепловтрати мінімальні: тепло утримується у приміщенні, поверхня даху холодна (сині та зелені тони). Відсутні «містки холоду» у зоні мауерлата та крокв.

Отже, різниця температур між неутепленим і утепленим дахом становить близько 8 °C, що підтверджує ефективність термомодернізації. Теплоізоляційний шар не лише знижує енергоспоживання, а й запобігає утворенню вологи, поліпшуючи довговічність конструкції.

У разі реконструкції мансардного поверху або скатного даху рекомендується використовувати системи “теплого даху” з розміщенням утеплювача над кроквами. Використовувати мінераловатні або базальтові утеплювачі товщиною не менше 200 мм, із двошаровим укладанням та перекриттям стиків. Це забезпечить рівномірність термічного опору покриття. Забезпечити суцільність утеплювача у місцях проходження крокв і мауерлата, застосовувати підкроквяний додатковий шар утеплення 50–100 мм. Це усуває «містки холоду» в зоні дерев’яних елементів і підвищує довговічність покриття.

Також необхідно забезпечити герметичність пароізоляції. Всі стики пароізоляційної плівки мають бути проклеєні спеціальною стрічкою, щоб виключити потрапляння теплого вологого повітря до шару утеплювача.

Щоб улаштувати ефективну вентиляцію підпокрівельного простору необхідно забезпечити вентильований зазор 40–50 мм між гідроізоляцією та покрівельним покриттям для видалення конденсату.

Покрівельні матеріали з низькою теплопровідністю (металопрофіль із термопрокладками, бітумна черепиця з підкладковим шаром) зменшують теплові втрати.

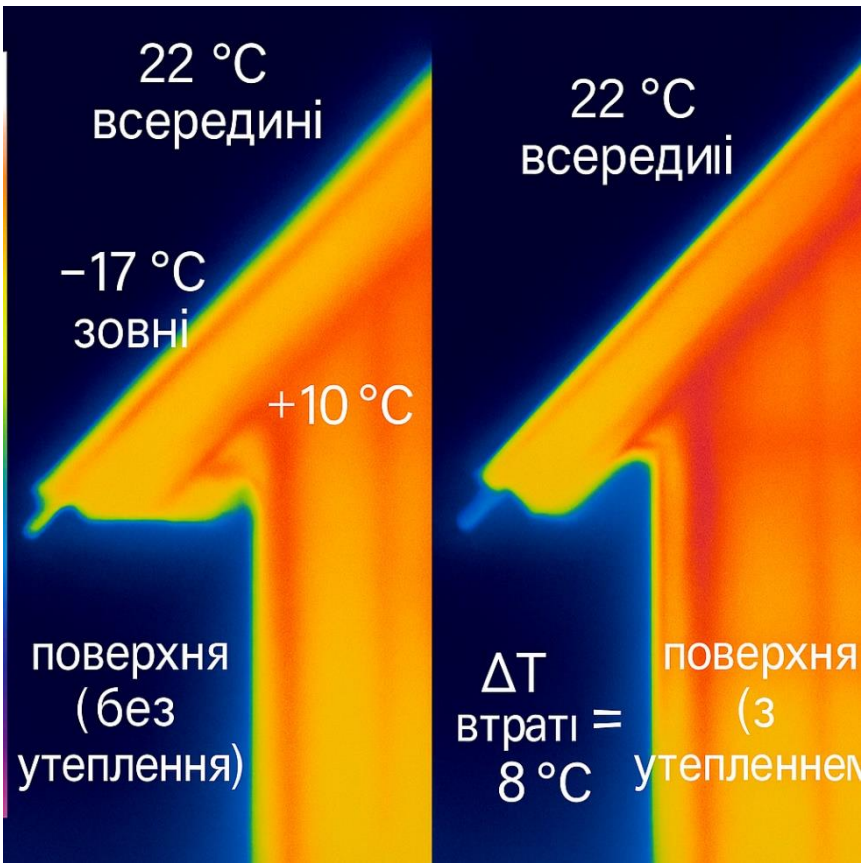


Рис. 2. Порівняльна тепловізійна зйомку двох дахів – неутепленого (ліворуч) і утепленого (праворуч)

Після заходів з утеплення даху необхідно виконати термографічне обстеження. Повторна тепловізійна зйомка дозволить перевірити якість утеплення, герметичність пароізоляції та виявити залишкові зони втрат тепла.

3. Інженерно-енергетичні заходи

Ефективність термомодернізації малоповерхових житлових будівель істотно підвищується завдяки впровадженню сучасних інженерно-енергетичних рішень, спрямованих на раціональне використання теплової енергії та зниження експлуатаційних витрат.

Одним із ключових напрямів є використання систем рекуперації вентиляційного повітря, які забезпечують повернення до 70 % теплоти, що втрачається під час повітрообміну [7]. Це дозволяє підтримувати стабільний мікроклімат у приміщеннях без значних теплових втрат.

Рекуператори доцільно застосовувати у будівлях з повітряною системою опалення або примусовою вентиляцією – особливо у мансардних поверхах, де спостерігається підвищена теплова страта через дахові конструкції.

Другим важливим компонентом є індивідуальні теплові пункти (ІТП) з погодним регулюванням. Такі системи автоматично змінюють подачу теплоносія відповідно до температури зовнішнього повітря, що дозволяє уникнути перевитрат тепла та підтримувати комфортні умови всередині будівлі. ІТП також забезпечують точний облік споживання енергії та можливість віддаленого моніторингу.

Для покращення енергетичного балансу будівель рекомендується застосовувати конденсаційні котли, насоси з частотним регулюванням, системи «розумного» керування опаленням та енергоефективні циркуляційні насоси. Додатковий ефект дає встановлення сонячних колекторів або фотоелектричних панелей, що дозволяє покривати до 15–20 % потреб у гарячій воді та електроенергії.

За результатами реалізованих проектів комплексної термомодернізації будівель бюджетної сфери (дитячих садків, шкіл, лікарень) та житлових об’єктів (рис. 3-4) вдалося знизити питомі втрати тепла до 45–50 кВт·год/м²·рік, що відповідає класу енергоефективності «В» згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2021 [8, 9].

Після впровадження комплексу інженерно-енергетичних заходів спостерігається суттєве підвищення енергоефективності будівлі, представленої на рис. 4. Клас енергоефективності змінився з

найнижчого «G» до «E», що свідчить про значне зниження питомого енергоспоживання. Згідно з розрахунковими даними, питоме споживання енергії будівлі зменшилося більш ніж на 45 %, а розрахункове енергоспоживання системи опалення – приблизно на 50 %. Це досягнуто завдяки утепленню покрівлі, стін і перекриттів, встановленню енергоефективних вікон, впровадженню системи рекуперації повітря та індивідуального теплового пункту з погодним регулюванням [10].



Рис. 3. Приклад термомодернізації панельних дев’ятиповерхівок 1986 та 1992 років побудови у м. Новояворівськ Львівської обл.



Рис. 4. Приклад термомодернізації цегляної п’ятиповерхівки у м. Новояворівськ Львівської обл.

Окрім зниження споживання енергії, термомодернізація сприяла скороченню питомих викидів вуглекислого газу (CO_2) на 25 %. Це відповідає екологічним вимогам ЄС щодо зменшення вуглецевого сліду будівельного фонду та підтверджує ефективність заходів як у технічному, так і в екологічному аспектах.

Висновки

Найбільший потенціал енергозбереження у малоповерхових будівлях пов'язаний з термомодернізацією фасадів, скатних дахів та мансардних поверхів.

Застосування багатошарової системи утеплення даху з вентильованим прошарком і пароізоляцією знижує тепловтрати через покрівлю до 40 %.

Оптимізація теплотехнічних вузлів у зоні мауерлата та мансардних вікон запобігає утворенню «містків холоду» й конденсату.

Комплексна термомодернізація (фасад + дах + індивідуальний тепловий пункт + рекуперація) забезпечує скорочення витрат енергії на опалення до 50 % і сприяє реалізації стандартів енергоефективності у житловому будівництві України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мандрика А. С. Енергоефективні технології : навчальний посібник. Сумський державний університет, 2021. 330 с.

2. Бахтін Д. Впровадження енергоефективних технологій при будівництві нової комерційної нерухомості в Україні. Вісник НУ «Львівська політехніка». Серія: Архітектура, 2020, №2(4), с. 8–18.

3. Коваленко Ю. Л., Полив'янчук А. П., Маляренко В. А., Пономаренко Є. Г. Підвищення енергоефективності будівель оздобленням зовнішніх огороджувальних конструкцій теплопоглинальним покриттям. Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 2, 2025, с. 23-31. DOI: 10.31649/1997-9266-2025-179-2-23-31.

4. Як покрівля впливає на енергоефективність будинку. URL: https://vash-master.com.ua/yak-pokrivlya-vplivae-na-energoefektivnist-budinku

5. Енергоефективність будівель в Україні. Енергетична ефективність будівлі. URL: https://dergbud.org.ua/enerhoefektyvnist-budivelua.html

6. Покрівля та енергоефективність: як зовнішній вигляд поєднується з користю. URL: https://faine-misto.km.ua/pokrivlya-ta-energoefektyvnist-yak-zovnishnij-vyglyad-poyednuyetsya-z-korystyu/

7. Гетун Г., Кошева В., Гамоцький Р., Гончаренко А. Вплив повітрообміну на енергоефективність багатоквартирних житлових будинків. Енергоефективність в будівництві та архітектурі, 2019, вип. 13, с. 58–68.

8. Термомодернізація двох будинків ОСББ «ЛІСНА-1». URL: https://eefund.org.ua/novyny/termomodernizacziya-dvoh-budynkiv-osbb-lisna-1/

9. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергофективність будівель. [Чинний з 2022-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2021. 108 с.

10.ОСББ "Липи 2" отримало фінальну частину гранту на впровадження енергоефективних заходів від Фонду енергоефективності. URL: https://upravbud.info/novyny/osbb-lypy-2-otrymalo-finalnu-chastynu-grantu-na-vprovadzhennya-energoefektyvnyh-zahodiv-vid-fondu-energoefektyvnosti/

Мартинов Ілля Сергійович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Хороша Оксана Іванівна – кандидат архітектури, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: korosha@vntu.edu.ua

Martynov Ilya – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Khorosha Oksana – candidate of architecture, associate professor of the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: korosha@vntu.edu.ua

УДК 624.15

О. М. Шевчук
Н. В. Блащук

ВПЛИВ ЗОЛИ ВИНЕСЕННЯ НА МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОЦЕМЕНТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У даній роботі описано та аргументовано вміст золи винесення в якості мінеральної добавки до складу грунтоцементу. Наведено результати дослідження впливу вмісту золи винесення як мінеральної добавки у складі грунтоцементу на міцнісні характеристики, з метою визначення оптимального відсотку заміщення вя'жучої речовини для збільшення економічної та екологічної ефективності матеріалу з мінімальними втратами міцнісних характеристик грунтоцементу.

Ключові слова: грунтоцемент, зола-винесення, міцність, мінеральні добавки.

Abstrac*t*

This paper describes and argues the content of fly ash as a mineral additive in the composition of soil cement. The results of a study of the influence of the content of fly ash as a mineral additive in the composition of soil cement on the strength characteristics are presented, in order to determine the optimal percentage of binder replacement to increase the economic and environmental efficiency of the material with minimal loss of strength characteristics of soil cement.

Keywords: soil cement, fly ash, strength, mineral additives.

Вступ

У сучасному світі та в Україні активно ведеться розбудова міст з кожним роком та все більше загострюється питання нестачі вільного простору для забудови, адже міста зростають та забудова стає все щільнішою. Все частіше постає питання забудови ділянок з несприятливими чи складними інженерно-геологічними умовами. При недостатній несучій здатності природних ґрунтів слід застосовувати інжеенрні заходи щодо покращення властивостей грунтової основи до необхідного рівня на місці їх залягання або підсилення за рахунок влаштування в них несучих конструктивних елементів, а враховуючи велику вартість залізобетонних чи бетонних конструкцій грунтоцементні елементи все більше набирають популярності.

Грунтоцемент як матеріал має велику популярність та широкий спектр використання через його переваги, але й недоліки також присутні, основними з яких є відносно невелика міцність у порівнянні з бетонними та залізобетонними конструкціями [1-2], висока пористість, та відносно велика вартість за рахунок використання дороговартісного в'яжучого. Тому різними авторами [1-2] пропонуються різні добавки по типу хвостів збагачення (відходи від збагачення корисних копалин), вапна, різних типів пластифікаторів, а також автором [3] пропонується метод вібрування для покращення характеристик міцності грунтоцементу. Перспективним напрямком зниження вартості грунтоцементу є використання домішок для зниження кількості в'яжучого, зокрема золи-винесення (Fly Ash), як побічного продукту енергетичного сектору та промислового виробництва, яка являє собою дрібнодисперсний матеріал, що утворюється в процесі спалювання твердого палива. Як відомо зола-винесення успішно використовувалась як мінеральна добавка до бетонів, яка покращувала властивості матеріалу [5, 6].

Саме тому в даній роботі пропонується дослідити вплив вмісту золи-винесення на міцнісні характеристики грунтоцементу при заміщенні частину в'яжучої речовини для зниження вартості матеріалу в цілому.

Програма дослідження та вихідні матеріали

Вихідними матеріалами для виготовлення грунтоцементу було прийнято цемент, золу винесення Київської ТЕС, грунт, воду.

В якості грунту (рис. 1) був використаний суглинок лесоподібний, твердий, просадочний,

високо пористий, жовто-коричневий з характеристиками:

- щільність грунту $\rho = 1,6$ г/см^3;
- вологість грунту $W = 0,113$;
- вологість на межі пластичності $W_P = 0,181$;
- вологість на межі текучості $W_L = 0,263$.

Для виготовлення зразків в якості в'яжучого прийнято цемент марки М400. Цемент виготовлений згідно ДСТУ Б В. 2.7-46-96. Цемент марки М400 відноситься до виду портланд цементу, до складу якого входять породи карбонатної та глинистих груп, оксиди алюмінію, кальцію, заліза, магнію, кремнію, тонкий клінкерний помел, гіпс та мінеральні добавки. Ці складові служать для покращення характеристик таких як еластичність, міцність, швидкість тужавіння.

Вода, яка використовувались не містить шкідливих домішок які могли б зашкодити процесу тужавіння грунтоцементу, показник pH = 8, вода була слабо лужна, слабомінералізована, гідрокарбонатно-кальцієва.

В якості мінеральної добавки використовували золу-винесення Київської ТЕС. Зола-винесення - це побічний продукт, який утворюється внаслідок спалювання твердих палив на ТЕС, вона являє собою дрібнодисперсний порошок. Основні фізико-механічні властивості :

- гідравлічна активність 0,4 МПа;
- питома поверхня 2000…3000 см^2/г;
- насипна густина 1150 кг/м^3;
- істинна густина 1,95 г/см^3.

Хімічний та мінералогічний склад відповідають основним вимогам, що висуваються до золи-винесення, що використовується як добавка до бетонів.

Таблиця 1 - Хімічний склад золи винесення Київської ТЕС

Оксиди	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	MnO	CaO	Na_2O	K_2O	SO_3	P_2O_5
Масова частка оксидів, %	55,3	1,4	22,34	5,42	2,52	0,12	2,46	5,96	0,75	2,46	0,38	0,33

Для дослідження впливу золи-винесення на міцнісні характеристики грунтоцементу було виконано випробування кубиків та призм на стиск R з різним відсотком заміщення в'яжучої речовини на золу-винесення. Випробування проводились згідно ДСТУ Б В.2.7-214:2009 як для бетонів з урахуванням ДСТУ Б В.2.1-4-96.

Метою експериментальних досліджень було визначення максимального відсотка заміщення в'яжучої речовини на золу-винесення з мінімальними втратами міцнісних характеристик грунтоцементу відносно зразка без вмісту золи-винесення.

Для методики виготовлення грунтоцементної суміші було прийнято пропорцію 1:5 (20% в'яжучої речовини від ваги грунту), а також водоцементне відношення 0,7-1,0. Для отримання грунтоцементної суміші змішувались цемент та вода у відповідності до прийнятого водоцементного відношення, після чого в отриманий розчин додавалися грунт та зола-винесення у необхідній кількості з поступовим перемішуванням на протязі 5-7 хвилин (до утворення однорідної маси), після чого отриману грунтоцементну суміш викладали у форми з ущільненням (рис 2). Згідно до нормативної документації було виконано 6 замісів по три зразки з різним відсотковим заміщенням в'яжучого на золу-винесення. Програму дослідження наведено в таблиці 2, враховуючи досвід авторів [5-7]. Після викладення грунтоцементної суміші в форми, зразки витримувались у формах на протязі 3-х діб в лабораторних умовах, після чого були переміщені у воду та витримувались на протязі 28 діб (рис 3). Після витримування зразків у воді було проведене випробовування кубиків та призм на стиск R за допомогою пресу (рис. 4), а також отримано дані для побудови графіків (рис.5 та 6).



Рис. 1 – Грунт, який використовувався



Рис. 2 – Процес виготовлення та укладання



Рис. 3 – Витримування зразків



Рис. 4 – Процес випробування

Таблиця 2 – Програма дослідження

№ п/п	Цемент гр.	Зола гр.	Грунт гр	Вода гр	Зола % від в'яжучого	Цемент % від грунту
Кубічні зразки						
1	1300	0	6500	1300	0	20
2	1170	130	6500	1300	10	18
3	1040	260	6500	1300	20	16
4	910	390	6500	1300	30	14
5	780	520	6500	1300	40	12
6	650	650	6500	1300	50	10
Призматичні зразки						
1	1200	0	6000	1200	0	20
2	1080	120	6000	1200	10	18
3	960	240	6000	1200	20	16
4	840	360	6000	1200	30	14
5	720	480	6000	1200	40	12
6	600	600	6000	1200	50	10

Результати дослідження

В результаті проведення дослідження за допомогою пресу було отримано дані, на основі яких побудовано графіки (рис.5 та 6).

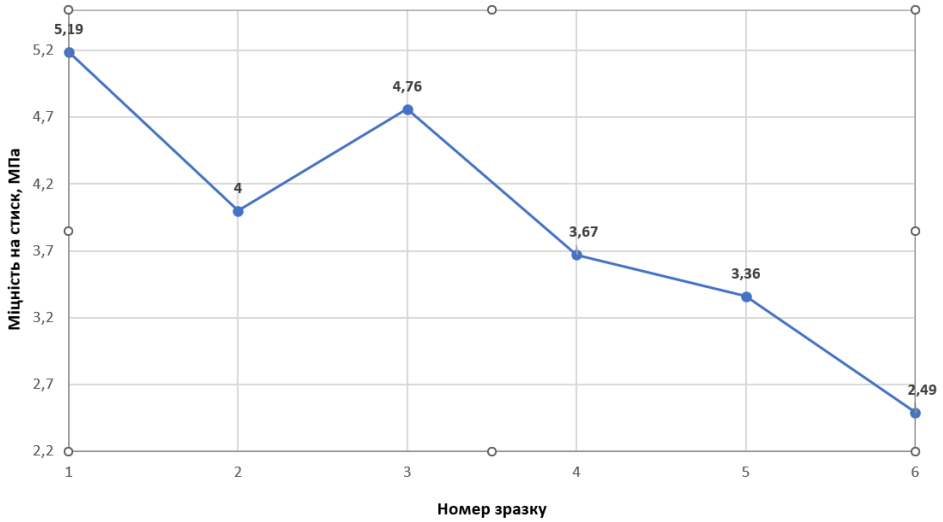


Рис. 5 – Графік міцності кубічних зразків

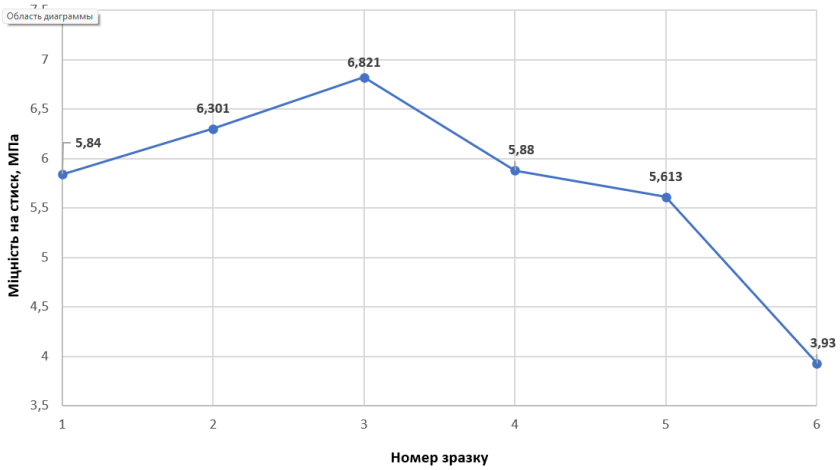


Рис.6 – Графік міцності призматичних зразків

Проаналізувавши отримані дані з графіків видно, що зразки, в яких заміщували 10% від ваги в'яжучого на золу-винесення, міцність на стиск в кубічних зразках коливається в межах 3,79-4.3 МПа, в зразках, які містили 20% золи від в'яжучого, міцність на стик коливається в межах 4,4-5,15 МПа, а в зразках з 30% вмісту золи винесення від в'яжучого міцність становила 3,54-3,86 МПа, а при збільшенні вмісту золи-винесення до 40-50% міцність грунтоцементних зразків починає знижуватись до 2,36 МПа. В призматичних зразках спостерігаємо збільшення міцності при додаванні золи-винесення в межах від 10% до 30%, після чого міцність поступово зменшується, максимальний показник становив 6,821 МПа при заміщені 20% в'яжучого золою виносу.

Висновки

Застосування золи-винесення, як мінеральної добавки до складу грунтоцементу, має позитивний ефект. При лабораторних дослідженнях зразків грунтоцементу на міцність встановлено оптимальну кількість золи-винесення, що знаходиться в межах 10-30% від ваги в 'яжучого, при цьому міцність грунтоцементних елементів суттєво не змінюється. Використання золи-винесення у складі грунтоцементу дає позитивний економічний та екологічний ефекти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зоценко М. Л., Винников Ю. Л., Зоценко В. М. Бурові грунтоцементні палі, які виготовляються за бурозмішувальним методом: монографія. Харків: «Друкарня Мадрид», 2016. 94 с
2. Новицький О. П. Вплив пластифікуючих добавок на міцність грунтоцементу / Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2012. Вип. 4 (34) – с. 171 – 177
3. Нестеренко Т. М. Вплив вібрування на механічні характеристики ґрунтоцементу / Будівельні конструкції: міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). – Вип. 75. Кн. 2. – К.: ДП НДІБК, 2011. С. 656 – 660
4. Петраш, Р. В. Спільна робота ґрунту та елементів армування, які виготовлені за бурозмішувальною технологією: дис. на здобуття наук. ст. канд. техн. наук: 05.23.02 / ПолтНТУ, Полтава, 2009. – 216 с.
5. Маєвська І. В., Очеретний В. П., Гончарук М.С. Визначення впливу добавок золи-винесення на властивості ґрунтоцементу / Іноваційні технології в будівництві. Міжнародна н/т конф. ВНТУ, Вінниця, 2018. Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/view/6020
6. Гріщенко Р. П., Маєвська І. В. Аналіз міцності ґрунтоцементу при частковій заміні грунту на золу винесення. / Енергоефективність в галузях економіки України. Міжнародна н/т конф. ВНТУ, Вінниця, 2019. Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2019/paper/viewFile/8263/6946.
7. Блащук Н.В. Маєвська І. В. (2020) Використання золи винесення у складі ґрунтоцементу. Вилучено з: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/allfbtegp-2020/paper/download/9154/7828

Шевчук Олексій Михайлович — аспірант групи 192-22а, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: omshevchyk@gmail.com

Блащук Наталя Вікторівна — доцент кафедри "Будівництва, міського господарства та архітектури". Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: blaschuk@vntu.edu.ua

Oleksii Mykhailovych Shevchuk — postgraduate student of group 192-22a, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: omshevchyk@gmail.com

Natalia Viktorivna Blashchuk — associate professor of the Department of "Construction, Urban Management and Architecture". Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: blaschuk@vntu.edu.ua

УДК 621.311:69

Мудрицький О. В.
Панкевич В. В.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЯК СКЛАДОВА СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ У МАЛОПОВЕРХОВОМУ БУДІВНИЦТВІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація *У роботі розглянуто роль енергоефективності як ключового елементу стратегії сталого розвитку в малоповерховому будівництві. Проведено аналіз основних принципів енергозбереження, конструктивних та технологічних рішень, що сприяють зменшенню енергоспоживання в житлових будинках. Визначено взаємозв'язок між енергоефективністю будівлі, використанням відновлюваних джерел енергії та екологічною безпекою середовища. Наведено порівняльні характеристики показників енергоспоживання для будинків різних рівнів енергоефективності. Показано, що впровадження енергоощадних технологій у малоповерховому будівництві дозволяє не лише зменшити викиди CO_2, а й скоротити експлуатаційні витрати та підвищити комфорт проживання.*

Ключові слова: енергоефективність, сталий розвиток, малоповерхове будівництво, енергозбереження, відновлювані джерела енергії, будівельні технології.

Abstract *The paper examines the role of energy efficiency as a key component of the sustainable development strategy in low-rise construction. The main principles of energy saving, constructive and technological solutions aimed at reducing energy consumption in residential buildings are analyzed. The interrelation between building energy efficiency, the use of renewable energy sources, and environmental safety is identified. Comparative characteristics of energy consumption indicators for buildings with different levels of energy efficiency are presented. It is shown that the implementation of energy-saving technologies in low-rise construction not only reduces CO_2 emissions but also decreases operating costs and improves living comfort.*

Keywords: energy efficiency, sustainable development, low-rise construction, energy saving, renewable energy sources, building technologies.

Вступ

Сучасні тенденції розвитку будівельної галузі ґрунтуються на концепції сталого розвитку, яка передбачає гармонійне поєднання економічної ефективності, екологічної безпеки та соціальної відповідальності. Одним із ключових напрямів цієї концепції є енергоефективність, що визначає рівень раціонального використання енергетичних ресурсів протягом життєвого циклу будівлі.

Питання впровадження енергоощадних технологій у малоповерховому будівництві набуває особливої важливості в сучасних умовах підвищення цін на енергоносії, зростання енергоспоживання та необхідності забезпечення енергетичної незалежності України. Малоповерхове житлове будівництво посідає значну частку в загальному обсязі нового житлового фонду, тому застосування ефективних конструктивних рішень і сучасних інженерних систем дозволяє істотно знизити витрати енергії на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання. Використання енергоощадних технологій сприяє підвищенню комфортності житла, зменшенню негативного впливу на довкілля, а також відповідає сучасним вимогам сталого розвитку та екологічної безпеки. В Україні питання енергоефективності регламентується низкою нормативних документів [1-4] та дозволяють кількісно оцінювати рівень енергоспоживання будівель.

Метою дослідження є аналіз сучасних підходів до підвищення енергоефективності малоповерхових будівель, визначення основних факторів, що впливають на рівень енергоспоживання, та оцінка впливу енергозберігаючих технологій на показники сталого розвитку.

Результати досліджень

Енергоефективність будівлі визначається сукупністю рішень, спрямованих на мінімізацію втрат тепла та оптимізацію споживання енергії під час експлуатації. Основними складовими енергоефективного проектування є:

– раціональне планування будівлі з урахуванням орієнтації на сторони світу;

– використання сучасних теплоізоляційних матеріалів;

– впровадження систем вентиляції з рекуперацією тепла;

– застосування відновлюваних джерел енергії (сонячні колектори, теплові насоси, фотоелектричні панелі);

– автоматизація систем керування мікрокліматом.

У малоповерховому будівництві найбільший потенціал економії енергії досягається завдяки удосконаленню теплотехнічних характеристик огороджувальних конструкцій та впровадженню автономних систем енергозабезпечення.

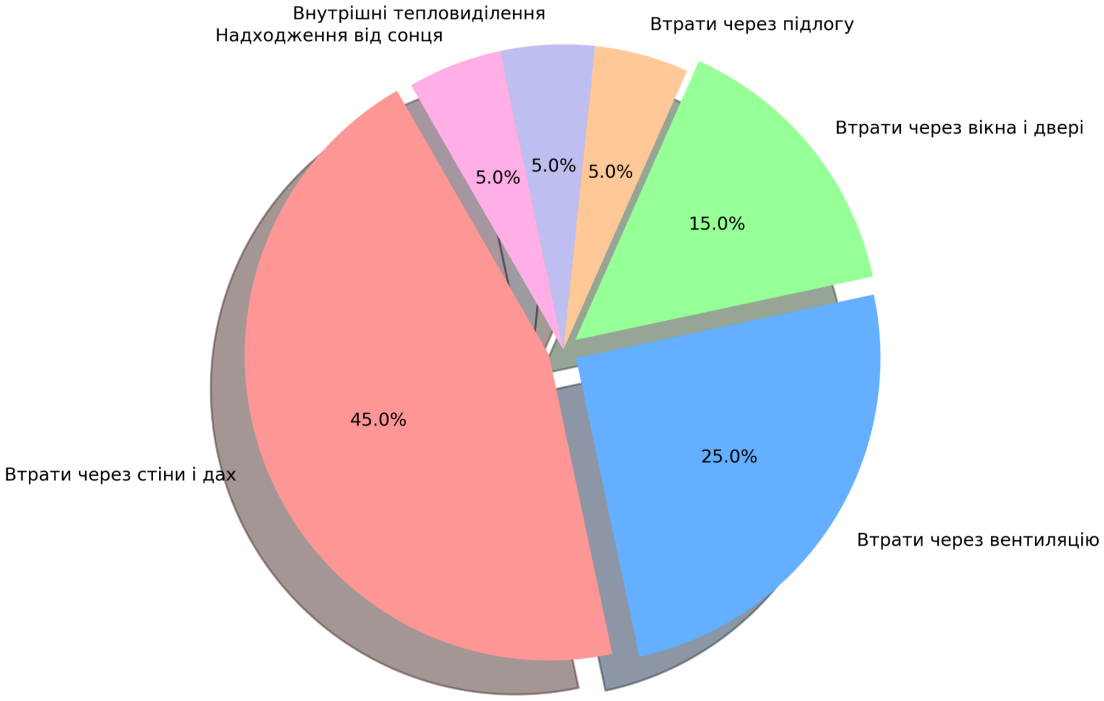


Рисунок 1 – Енергетичний баланс малоповерхового житлового будинку

На рисунку 1 подано спрощену схему енергетичного балансу малоповерхового житлового будинку, у якій виділено основні напрямки втрат і надходжень енергії. Найбільші втрати припадають на огороджувальні конструкції — до 45 %, вентиляцію — до 25 %, вікна та двері — до 15 %. Оптимізація цих складових дозволяє підвищити загальну енергоефективність будівлі на 30–40 %. Сучасні дослідження [5-7] підкреслюють ефективність використання новітніх теплоізоляційних матеріалів у будівництві, що дає змогу знизити теплові втрати до 30–40 %.

Таблиця 1 – Порівняння енергетичних характеристик житлових будинків різних класів енергоефективності.

Клас енергоефективності	**Річне споживання енергії, кВт·год/м²**	**Основні конструктивні рішення**	**Орієнтовна економія енергії, %**
Звичайний будинок (E)	250–300	Стандартні матеріали, відсутність утеплення	–
Покращений (C–D)	150–200	Утеплення стін і даху,	25–35

		металопластикові вікна	
Енергоефективний (B)	90–120	Системи рекуперації, багатошарове скління, утеплений фундамент	45–55
Пасивний (A–A+)	15–50	Сонячні колектори, тепловий насос, високоефективна ізоляція	75–85

Згідно з таблицею 1, перехід від традиційного до енергоефективного типу будівлі дозволяє скоротити споживання енергії більш ніж удвічі. Найвищих показників можна досягти при використанні пасивних технологій — таких як герметичний тепловий контур, рекуперація повітря, використання поновлюваних джерел енергії та “розумне” керування мікрокліматом.

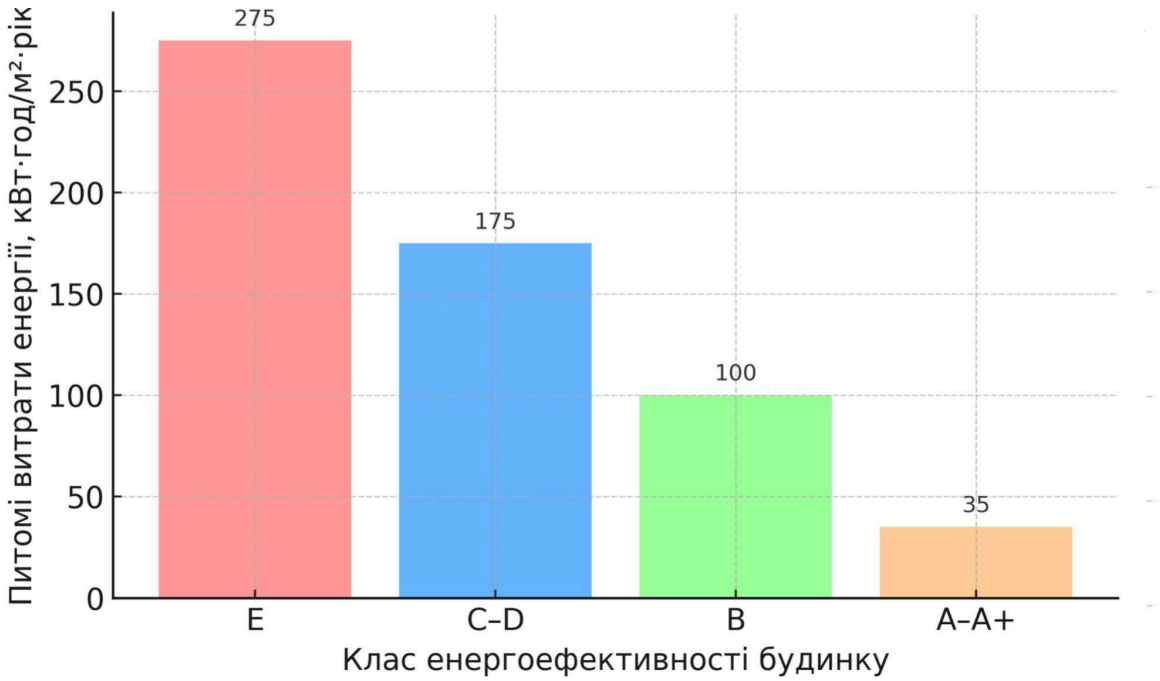


Рисунок 2 – Порівняння питомого енергоспоживання будинків різних класів енергоефективності

На рисунку 2 показано порівняльну діаграму питомого енергоспоживання будинків різних класів енергоефективності. Видно, що впровадження енергоощадних технологій у малоповерховому будівництві дозволяє скоротити річні витрати енергії до 80 % порівняно зі стандартними будівлями.

Крім технічних аспектів, енергоефективність має також соціально-економічне значення. Вона забезпечує підвищення якості життя мешканців за рахунок стабільного мікроклімату, зниження витрат на комунальні послуги та зменшення екологічного навантаження на довкілля. У поєднанні з концепцією сталого розвитку це сприяє формуванню енергетично незалежних та екологічно безпечних населених пунктів.

Висновок

У процесі роботи проаналізовано сучасні підходи до підвищення енергоефективності в малоповерховому житловому будівництві та підтверджено практичну доцільність їх застосування на рівні проєктування й експлуатації. Використання комплексу заходів — орієнтація будинку, ретельна теплоізоляція огороджувальних конструкцій, багатошарове скління, застосування рекуперaційних систем і інтеграція відновлюваних джерел енергії разом із «розумним» керуванням мікрокліматом — дає найбільший синергетичний ефект. За результатами аналізу, перехід від традиційних рішень до

енергоефективних і пасивних технологій дозволяє зменшити річне енергоспоживання будинку в рази, істотно скоротити викиди CO_2 та знизити експлуатаційні витрати, одночасно підвищивши комфорт мешканців.

Практичні рекомендації для проєктувальників та власників приватних будинків полягають у пріоритетному спрямуванні інвестицій на підвищення енергоефективності будівлі шляхом забезпечення високоякісної теплоізоляції та герметичності огороджувального контуру. Доцільним є впровадження систем рекуперації повітря та комбінованих джерел енергії: поєднання теплових насосів із сонячними колекторами чи фотоелектричними панелями. Важливим напрямом є також автоматизація систем опалення та вентиляції з метою оптимізації енергоспоживання.

На рівні регіонального планування та енергетичної політики це зумовлює необхідність оновлення нормативної бази й запровадження стимулюючих механізмів, спрямованих на підвищення доступності енергоефективних технологій для населення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». Київ: Мінрегіон України, 2021. 27 с.
2. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». Київ: Мінрегіон України, 2013. 72 с.
3. Методика визначення енергетичної ефективності будівель: Наказ Мінрегіону України №169 від 11.07.2018 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18. . (Дата звернення: 15.10.2025).
4. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель». Київ: Держспоживстандарт України, 2013. 48 с.
5. Панкевич О. Д., Гуменчук А. Є. Ефективні теплоізоляційні матеріали та їх застосування в будівництві // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)». Вінниця, 2024. С. 34–41.
6. Ратушняк Г. С., Панкевич В. В. Ієрархічна класифікація факторів впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівель // Сучасні технології в будівництві. 2020. Вип. 27, №2. С. 204–209.
7. A. Humenchuk.,O. Pankevych Analysis of thermal insulation materials and their use in construction. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 11-20 травня 2024 р. 2024. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/viewFile/19787.
8. Sartori I., Hestnes A. G. Building energy performance: an overview of current problems and challenges // Energy and Buildings. 2007;39(3):219–228.
9. EN 15603:2008 Energy performance of buildings — Overall energy use and definition of energy ratings. European Committee for Standardization, 2008. 44 p.
10. International Energy Agency. Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Policy Options. Paris: IEA, 2013. 86 p.

Мудрицький Олександр Володимирович *– студент групи ТГ-24м факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії e-mail: m.6146639996@gmail.com*

Панкевич Володимир Вячеславович *- PhD, старший викладач кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет e-mail: pan@vntu.edu.ua*

Oleksandr Mudrytskyi *- student of the TG-24m group of the Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering e-mail: m.6146639996@gmail.com*

Volodymyr Pankevych *– PhD, Senior Lecturer of the Department of Engineering Systems in Construction. Vinnytsia National Technical University e-mail: pan@vntu.edu.ua*

УДК 624.15

Р. В. Голоскевич
Н. В. Блащук

ЕФЕКТИВНЕ РІШЕННЯ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТУ ЗМІННОЇ ТОВЩИНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглядаються конструктивні рішення плитних фундаментів змінної товщини для багатоповерхових громадських та житлових будівель. Плити змінної товщини застосовуються для підвищення несучої здатності фундаменту в місцях концентрації зусиль від колон при одночасному зменшенні матеріаломісткості всієї конструкції. Наведено основні принципи проєктування, розрахунку та конструктивного влаштування таких плит. Підтверджено результатами розрахунку, що локальне збільшення товщини плити у вигляді капітелей дозволяє зменшити напруження в бетоні та рівномірно розподілити контактні тиски по основі.

Ключові слова: фундамент, плита, змінна товщина, капітель, армування, жорсткість, несуча здатність.

Abstract

The paper considers the structural solutions of variable-thickness slab foundations for multi-storey civil and residential buildings. Such foundations are used to increase the bearing capacity in areas of concentrated loads from columns while reducing material consumption. The main principles of design, calculation and construction of these slabs are presented. It is shown that local thickening of the slab in the form of capitals or ribs makes it possible to reduce concrete stresses and distribute the contact pressures more evenly.

Key words: foundation, slab, variable thickness, capital, reinforcement, stiffness, bearing capacity.

Вступ

Сучасне будівництво багатоповерхових будівель вимагає від проєктувальників пошуку конструктивних рішень, що поєднують надійність, жорсткість і економічність. Одним із таких рішень є застосування монолітних плитних фундаментів, які забезпечують рівномірний розподіл навантажень на ґрунт і високу просторову жорсткість будівлі. При значних вертикальних зусиллях від колон виникає потреба у локальному підсиленні фундаментної плити для запобігання продавлюванню бетону колонами. Ефективним інженерним рішенням є улаштування капітелів — потовщень плити у зонах опирання колон. Водночас збільшення товщини всієї плити призводить до надлишкових витрат бетону та арматури, тому актуальним є питання оптимізації товщини плити шляхом поєднання зони підсилення під колонами з тоншою частиною у прольотах. Така конструкція дозволяє досягти балансу між міцністю, деформативністю та економічністю.

Результати дослідження

Метою дослідження є аналіз напружено-деформованого стану монолітної плитної основи змінної товщини та узгодження експериментальних даних з результатами чисельного моделювання для визначення граничних станів і впливу геометричної варіації товщини на несучу здатність.

Експериментальні випробування, наведені на рисунку 1.1, проведені чеськими інженерами [1], стали базовими для калібрування моделей взаємодії «плита – основа». Досліджувалася залізобетонна плита розміром 2×2 м і товщиною 150 мм, виготовлена з бетону С35/40 з арматурною сіткою Ø8/100/100 мм. Навантаження прикладалося ступінчасто із приростом 75 кН, а максимальне навантаження становило 950 кН, при якому зафіксовано руйнування плити за механізмом продавлювання. Вимірювання показали нерівномірність осідань і асиметричний розподіл деформацій, що зумовлено неоднорідністю ґрунтової основи. Отримані дані стали основою для подальшої верифікації скінченноелементних моделей.



Рисунок 1.1 – Експериментальне випробування [1]

На основі цих результатів китайські інженери [2] розробили аналітичні моделі залізобетонних плит зі змінною товщиною, у яких враховано ефект стискаючої мембрани (CMA) та вплив граничних умов. Розрахунки показали, що зміна товщини по площі плити може підвищити її несучу здатність на 15–25 %, а також зменшити максимальні прогини на 10–18 % порівняно з рівномірною плитою. Подібні закономірності експериментально підтвердив ізраїльський інженер M. Hashem [3], який досліджував поведінку плит з локальними потовщеннями. Такі потовщення істотно знижують ризик продавлювання у місцях опирання колон та сприяють рівномірному розподілу напружень.

Для перевірки ефективності таких плитних фундаментів розглянемо два варіанти плит. Один варіант з плитою змінної товщини 1100мм під колонами та 600мм в прольоті, інший - плита сталої товщини 1100мм. Було виконано статичний розрахунок в середовищі ПК "ЛИРА САПР" та проведено аналіз переміщень по Z, а також аналіз тиску на грунт (Rz). Результати наведено на рисунку 1.2, рисунку 1.3, рисунку 1.4, рисунок 1.5.

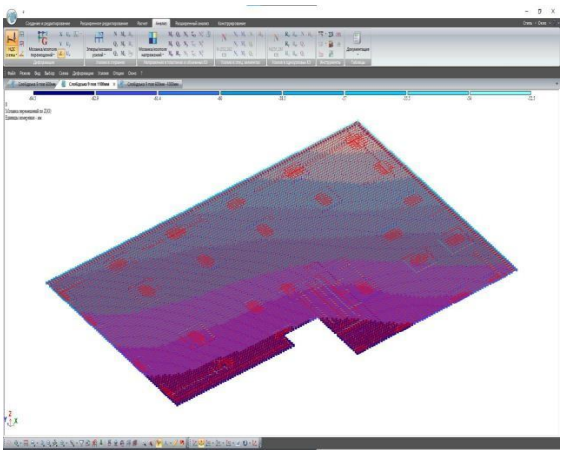


Рисунок 1.2 – Переміщення по Z (1100мм)

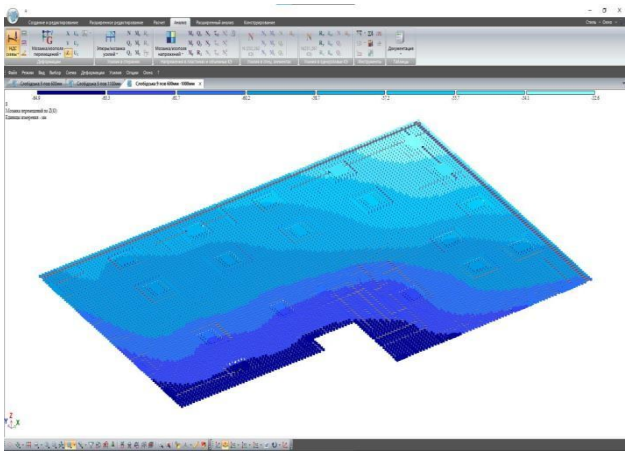


Рисунок 1.3 – Переміщення по Z (600-1100мм)

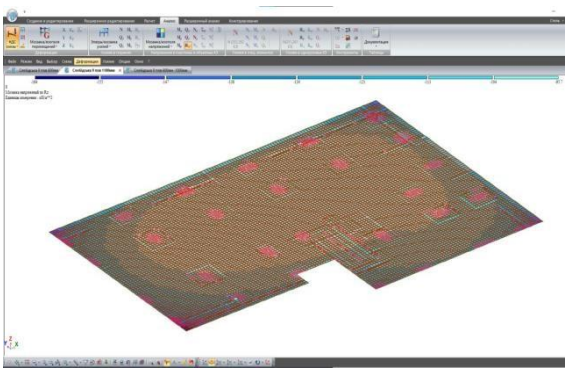


Рисунок 1.3 – Мозаїка тиску на грунт (1100мм)

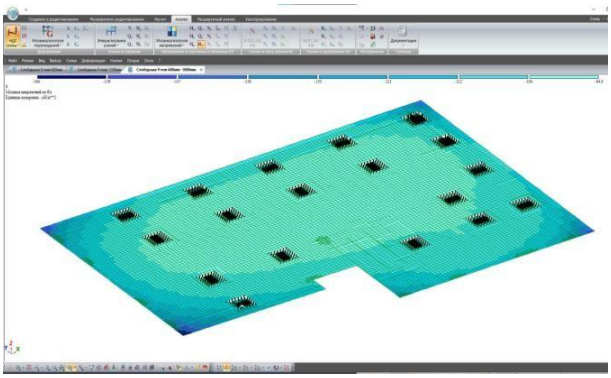


Рисунок 1.4 – Мозаїка тиску на грунт (600-1100мм)

Максимальне осідання по осі Z монолітної плити суцільної товщини 1100мм становить 64,9 мм, міні-ма-льне — 52,6 мм. Максимальне осідання по осі Z монолітної плити змінної товщини 600-1100мм осідання ста-новить 64,5 мм, мінімальне — 52,5 мм.

Максимальне значення тиску на грунт (Rz) монолітної плити суцільної товщини 1100мм становить 164 кН/м², мінімальне — 95,7 кН/м². Максимальне значення тиску на грунт (Rz) монолітної плити змінної товщини 600-1100мм становить 164 кН/м², мінімальне — 94,9 кН/м².

В економічному порівнянні витрата бетону на плиту суцільної товщини 1100мм становить – 758,56 м^3, витрата бетону на плиту змінної товщини 600-1100 мм становить – 439,83 м^3 при цьому витрата армування на 1 м^2 плити суттєво не відрізняється для обох варіантів.

Висновки

Проведений аналіз підтверджує ефективність застосування плитних фундаментів змінної товщини для багатоповерхових будівель. Порівняння двох варіантів — плити сталої товщини та плити з локальними потовщеннями під колонами — показало, що зміна геометрії практично не впливає на величини осідань та контактних тисків, зберігаючи необхідний рівень несучої здатності та допустимі деформації. Водночас використання змінної товщини забезпечує суттєве скорочення матеріаломісткості: економія бетону становить понад 40 %, що є значним показником при проєктуванні масивних фундаментних плит. Отримані результати узгоджуються з даними закордонних досліджень, які підтверджують доцільність локального збільшення товщини плити у зонах дії підвищених зусиль. Такий підхід дозволяє підвищити жорсткість та опір продавлюванню без необґрунтованого збільшення товщини всієї плити.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Buchta, V., Fojtík, R., Hurta, J. (2016). Experimental Load Tests of Reinforced Concrete Slab. Jurnal Teknologi, 78(5-5), 93–97.
2. Zhu, Y.-J., Zhou, M., Zhu, J.-M. (2021). Analytical Models for Load Capacities of Variable-Thickness Reinforced Concrete Slabs Considering Compressive Membrane Action and Boundary Effects. Engineering Structures, Elsevier.
3. Hashem, M. (2019). Behavior of Flat Slab with Drop Area or Varying Thickness. International Journal of Engineering and Technology, 8(3), 142–148
4. ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об`єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі Змінами № 1 та № 2

Голоскевич Роман Віталійович – студент групи 1Б-24м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інжене- рії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: romangoloskevych@gmail.com

Блащук Наталя Вікторівна – к.т.н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, e-mail: blaschuk@vntu.edu.ua

Goloskevych Roman Vitaliyovych – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: romangoloskevych@gmail.com

Blashchuk Natalia Viktorivna – Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture Vinnitsa National Technical University, e-mail: blaschuk@vntu.edu.ua

УДК 004.9:624.04(045)

А. С. Потєха
В.М Андрухов

МЕТОДОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ФОРМУВАННЯ СХЕМ АРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МСЕ

Вінницький національний технічний університет

Антотація *У роботі запропоновано метод автоматизованого підбору робочого й додаткового армування залізобетонних плит на основі ізополів потрібної площі арматури, отриманих з розрахунку методом скінченних елементів. Описано алгоритм перетворення безперервних полів армування у дискретну сітку стрижнів із урахуванням нормованих діаметрів, кроків та конструктивних обмежень. Показано інтеграцію запропонованого підходу з BIM-моделлю для формування 3D-армування та специфікацій. Розглянуто можливість використання методів машинного навчання для оцінки якості схем армування та їх оптимізації.*

Ключові слова: *BIM, Автоматизація проектування, машинне навчання, оптимізація конструкцій,Autodesk Revit, МСЕ.*

Abstract *The paper presents a method for automated selection of main and additional reinforcement in reinforced concrete slabs based on reinforcement isofields obtained from finite element analysis. A deterministic algorithm converts continuous fields of required steel area into discrete reinforcement strips, considering bar diameters, spacing and code provisions. The approach is integrated with a BIM model to generate 3D rebar and schedules. The potential use of machine learning to evaluate and improve reinforcement layouts is outlined.*

Keywords: *BIM, machine learning, structural optimization, Autodesk Revit, Python, BIM, FEA*

Вступ

Проектування залізобетонних плит за результатами розрахунку методом скінченних елементів (МСЕ) супроводжується необхідністю інтерпретації ізополів зусиль або потрібної площі арматури та перетворення їх у конкретну схему стрижнів. На практиці це здебільшого виконується вручну: інженер переглядає карти армування, поділяє плиту на ділянки, приймає крок і діаметр стрижнів, перевіряє конструктивні вимоги й коригує рішення. Такий підхід є трудомістким, суб’єктивним та часто призводить до перевитрати сталі або локального недоармування.

Сучасні дослідження з оптимізації армування плит демонструють, що поєднання МСЕ з алгоритмами оптимізації дозволяє зменшити витрати матеріалів і трудомісткість розрахунків [5–7]. Паралельно розвиваються BIM-технології, які забезпечують безперервний ланцюг від розрахункової моделі до детального 3D-армування та специфікацій [9]. У роботах, присвячених автоматизованому армуванню в BIM-середовищі, основна увага зосереджується на балках і колонах, тоді як для плит типові рішення переважно залишаються напівавтоматизованими [6,10].

Водночас поширення підходів «data-driven design» у проєктуванні створює передумови для використання ізополів армування як первинних даних для алгоритмічного формування сітки арматури та її подальшого удосконалення засобами машинного навчання [8].

Метою даної роботи є обґрунтування доцільності впровадження методу автоматизованого підбору армування плит на основі ізополів армування, опис алгоритмічних рішень, підготовки даних та інтеграції з BIM-моделлю.

Постановка задачі та доцільність методу

Розглядається багатопрольотна залізобетонна плита, розрахована в програмному комплексі МСЕ. Результатом розрахунку є поле потрібної площі арматури As,req(x,y) для верхньої й нижньої арматури в обох напрямках. Завдання алгоритму - перетворити це безперервне поле в набір дискретних смуг армування з заданими діаметрами, кроком та довжиною стрижнів, узгоджених з вимогами норм та конструктивними обмеженнями (мінімальне анкеровування, відстані до отворів, ступінчаста зміна сітки тощо).

Доцільність такого методу полягає в:

- зменшенні часу, який інженер витрачає на ручну інтерпретацію ізополів;
- зниженні ризику локальних перевантажень через людський фактор;
- можливості цілеспрямованої оптимізації витрат арматури (мінімізація маси при дотриманні вимог міцності та тріщиностійкості);
- забезпеченні безшовного переходу від розрахункової до BIM-моделі без дублювання роботи.

Алгоритмічний підхід

Запропонований підхід передбачає двоступеневу процедуру. На першому, детерміністичному етапі виконується перетворення поля As,req у попередню схему армування. Плита дискретизується на смуги вздовж головних напрямків арматури. Для кожної смуги усереднюється вимога до As,req, після чого алгоритм підбирає діаметр і крок стрижнів із доступного ряду, використовуючи просту оптимізаційну процедуру (наприклад, перебір комбінацій із мінімізацією різниці між As,prov та As,req з урахуванням запасу).

Для ділянок з підвищеними вимогами до армування (над опорами, в зонах концентрації моментів) формується додаткова арматура у вигляді вставних смуг або зон локального ущільнення кроку. Алгоритм контролює плавність переходів між ділянками, обмежуючи зміну кроку або діаметра на задану величину, що відповідає конструктивним вимогам.

На другому етапі передбачається використання моделей машинного навчання для покращення отриманих схем. Формується навчальна вибірка, де кожній елементарній ділянці плити (комірці сітки) відповідають: значення As,req, моменти, відстані до опор та отворів, обрані параметри армування й оцінка якості рішення експертом у діапазоні 0-1. На основі цих даних тренується модель (наприклад, градієнтний бустинг або нейронна мережа), яка вчиться прогнозувати «якість» місцевого рішення та пропонувати корекцію (зміна кроку, діаметра, довжини додаткових стрижнів). Подібні ML-підходи вже продемонстрували ефективність у задачах оптимізації елементів і прогнозування експлуатаційних характеристик залізобетонних конструкцій [7].

Підготовка даних та інтеграція з BIM

Для практичної реалізації методу ключову роль відіграє коректна передача результатів МСЕ в BIM-середовище. Необхідно забезпечити:

Експорт полів армування. Розрахункова програма експортує сітку значень As,req у форматі CSV/JSON із координатами вузлів або центроїдів комірок.

Прив’язку до геометрії BIM-моделі. За допомогою Dynamo/Grasshopper координати сітки трансформуються в локальні системи плит Revit/іншого BIM-ПЗ, виконується зіставлення з контурами плит і їхніми отворами.

Формування 3D-армування. На основі оптимізованих смуг алгоритм генерує стрижні відповідних типорозмірів як елементи арматури в BIM-моделі, автоматично призначаючи їм марки, класи сталі та робочі параметри.

Документування та перевірка. BIM-модель використовується для формування специфікацій та креслень, а також для додаткових перевірок (колізії, мінімальні відстані, технологічність монтажу).

У такому підході BIM-модель виступає єдиним джерелом даних, у якому поєднуються результати розрахунку, оптимізована схема армування та документація, що відповідає концепції «data-driven design» у проєктуванні залізобетонних конструкцій[8].

Висновки

Запропоновано концепцію методу автоматизованого підбору армування залізобетонних плит на основі ізополів потрібної площі арматури, отриманих з МСЕ-розрахунку. Показано, що поєднання детерміністичного алгоритму перетворення полів армування у смуги стрижнів з подальшим удосконаленням рішень засобами машинного навчання дає змогу знизити трудомісткість роботи інженера та потенційну перевитрату сталі. Інтеграція методу з BIM-моделлю забезпечує безперервність даних від розрахунку до випуску документації, підвищуючи керованість, відтворюваність і прозорість процесу проєктування плитних конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кишкан А., Кархут, І. (2024). ПОТЕНЦІАЛ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ПРИСКОРЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ. Матеріали конференцій МЦНД, (17.05.2024; Ужгород, Україна), 354–358. вилучено із https://archive.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/article/view/1231
2. Лялюк , О. Г. ., Осипенко , Р. С. ., & Мельник, Д. О. (2024). СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЕКТАХ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ БАЙЄСА. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 36(1), 96–102. https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-1-96-102
3. Лялюк, О. Г., & Осипенко, Р. С. . (2023). ОСОБЛИВОСТІЇ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В БУДІВНИЦТВІ. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 35(2), 172–176. https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-172-176
4. Сьомко П., Левус Є. (2024). ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АРХІТЕКТУРНОГО СТИЛЮ БУДІВЕЛЬ. Матеріали конференцій МНЛ, (17 травня 2024 р., м. Київ), 346–347. Вилучено з https://archive.liga.science/index.php/conference-proceedings/article/view/964
5. Eleftheriadis S., Mumovic D., Greening P. Automated specification of steel reinforcement to support low carbon construction // Automation in Construction. 2018. Vol. 92. P. 182–194. Вилучено з: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658051830414X?
6. Borges M. M. BIM Modelling Automation on Reinforcement Detailing of Slabs: MSc thesis. University of Minho, 2018. Вилучено з: https://core.ac.uk/download/pdf/161253402.pdf?
7. Stochino F., Mistretta F. Reinforced Concrete Slab Optimization with Simulated Annealing // Applied Sciences. 2019. Vol. 9, 3161. https://www.mdpi.com/2076-3417/9/15/3161?utm_source=chatgpt.com
8. Brown N. C., Kannon D., Mueller C. Implementing data-driven parametric building design with uncertainty // Automation in Construction. 2020. Vol. 118, 103264. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092658051931297X?
9. Sherif M., Elbeltagi E., Amer M. Automated BIM-based structural design and cost optimization // Scientific Reports. 2022. Vol. 12, 22071.
10. Widjaja D. D., Rachmawati T. S. N., Kim S. A BIM-based intelligent approach to rebar layout optimization for reinforced concrete columns // Journal of Building Engineering. 2024. Vol. 99, ScienceDirect

Потєха Андрій Сергійович – аспірант, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.
e-mail: apotexa67@gmail.com. ORCID: 0009-0008-8187-1049
Андрухов Валерій Михайлович – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет, e-mail: vmandruchov@gmail.com . ORCID: 0000-0002-4749-8569

A. S Potiekha
V. M. Andrukhov

METHODOLOGY OF AUTOMATED FORMATION OF REINFORCEMENT SCHEMES FOR REINFORCED CONCRETE SLABS USING FEM RESULTS

Vinnytsia National Technical University;

Abstract *The paper presents a method for automated selection of main and additional reinforcement in reinforced concrete slabs based on reinforcement isofields obtained from finite element analysis. A deterministic algorithm converts continuous fields of required steel area into discrete reinforcement strips, considering bar diameters, spacing and code provisions. The approach is integrated with a BIM model to generate 3D rebar and schedules. The potential use of machine learning to evaluate and improve reinforcement layouts is outlined.*
Keywords*: BIM, machine learning, structural optimization, Autodesk Revit, Python, BIM, FEA*

Andriy Serhiiovych Potiekha *– Phd student*, *Department of Civil and Environmental Engineering Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia city.* ORCID: 0009-0008-8187-1049
Andrukhov Valeriy Mykhailovych *– PhD, Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, e-mail: vmandruchov@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4749-8569*

УДК 691.327.332:666.1

В. Р. Бречко
А. В. Бондар

ГАЗОБЕТОН НА ОСНОВІ ВТОРИННОГО СКЛОБОЮ ЯК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ СТІНОВИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО БУДІВНИЦТВА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто ефективність використання склобою як модифікуючого компонента у виробництві газобетонних блоків, призначених для багатоповерхового житлового будівництва. Проаналізовано вплив тонкомолотого та дробленого склобою на процеси структуроутворення, пористість, міцність та теплофізичні характеристики матеріалу. Встановлено, що оптимізація співвідношення фракцій склобою забезпечує підвищення міцності газобетону до 2,0 МПа при густині 300–400 кг/м³ та зниження коефіцієнта теплопровідності до 0,05–0,09 Вт/(м·°С), що робить його конкурентоспроможним конструкційно-теплоізоляційним матеріалом. Окреслено перспективність використання вторинної сировини у контексті розвитку екологічно орієнтованих та енергоефективних технологій у висотному житловому будівництві.

Ключові слова: газобетон, склобій, багатоповерхове будівництво, міцність, теплопровідність, екологічні матеріали, енергоефективність.

Abstracts

The study examines the efficiency of using waste glass cullet as a modifying component in the production of aerated concrete blocks intended for multi-storey residential construction. The influence of finely ground and crushed glass cullet on the structural formation, porosity, strength, and thermal properties of the material is analyzed. It is established that optimizing the ratio of cullet fractions improves the compressive strength of aerated concrete up to 2.0 MPa with a density of 300–400 kg/m³ and reduces the thermal conductivity to 0.05–0.09 W/(m·°C), making it a competitive structural and thermal-insulating material. The research highlights the prospects of using secondary raw materials in the context of environmentally oriented and energy-efficient technologies for high-rise residential construction.

Key words: aerated concrete, glass cullet, multi-storey buildings, compressive strength, thermal conductivity, ecological materials, energy efficiency.

Вступ

Сучасне житлове будівництво в Україні характеризується зростаючими вимогами до енергоефективності, довговічності та екологічної безпеки будівельних матеріалів. Особливу увагу приділяють конструкціям багатоповерхових житлових будинків, де стінові матеріали повинні одночасно забезпечувати високу міцність, низьку теплопровідність, стабільність властивостей у широкому температурному діапазоні та відповідність актуальним нормам ДБН В.2.6-31:2021 та ДБН В.1.1-7:2016. На цьому фоні газобетон залишається одним із найбільш перспективних конструкційно-теплоізоляційних матеріалів, однак його традиційні рецептури потребують удосконалення для ефективного застосування у багатоповерховому будівництві [1, 2].

Одним із найбільш результативних шляхів підвищення експлуатаційних характеристик газобетону є використання у складі суміші вторинної кремнійвмісної сировини – зокрема склобою. Завдяки високому вмісту діоксиду кремнію, хімічній чистоті та вираженому мікроармуючому ефекту, склобій здатний покращувати процеси структуроутворення, сприяючи формуванню зміцнених міжпорових перегородок та підвищенню рівномірності пористої структури [3-5]. Додавання тонкомолотого та дробленого склобою, за умови їх оптимального співвідношення, забезпечує підвищення міцності на стиск без істотного збільшення густини матеріалу – що є ключовим критерієм для стін багатоповерхових будівель.

Результати експериментальних досліджень свідчать, що оптимізація складу газобетону зі склобоєм дозволяє досягти міцності до 2,0 МПа при густині 300–400 кг/м³, а також зниження коефіцієнта теплопровідності до 0,05–0,09 Вт/(м·°С). Такі характеристики роблять модифікований матеріал придатним для застосування в несучих та самонесучих стінових системах багатоповерхових житлових будівель, забезпечуючи зменшення навантаження на фундаменти й каркас та підвищення загальної

енергоефективності огороджувальних конструкцій [6-10].

Разом із технічними перевагами, використання склобою у виробництві газобетону має важливий екологічний аспект. Такий підхід відповідає принципам циркулярної економіки, сприяє скороченню обсягів промислових відходів, зниженню енерговитратності технологічного процесу та переходу будівельної галузі до більш сталих рішень. Таким чином, дослідження газобетонних блоків, модифікованих склобоєм, є актуальним завданням, спрямованим на формування сучасної ресурсоефективної моделі багатоповерхового житлового будівництва.

Результати дослідження

Ефективність газобетонних блоків значною мірою визначається оптимальним підбором мінеральної сировини та активних кремнійвмісних компонентів. Використання склобою як вторинної сировини дозволяє не лише зменшити витрати на виробництво, але й покращити структурні та теплофізичні характеристики матеріалу. Як видно з рецептурних даних (табл. 1), у складі газобетону застосовується тонкомолотий та дроблений склобій, кількість яких варіює у межах 28–40 % та 8,5–15 % відповідно. Такий підбір компонентів забезпечує необхідну активність та мікроармуючий ефект, що особливо важливо для формування міцних міжпорових перегородок. Як результат отримують конструкційно-теплоізоляційний газобетон, густиною D400–D500. Для отримання ефективного газобетону з підвищеними теплоізоляційними властивостями кварцовий пісок частково замінено комбінованою добавкою у вигляді тонкомолотого та дробленого склобою (табл. 1). Вміст склобою становив 15–32 мас. %, що забезпечило формування дрібнопорової структури, підвищення реакційної здатності силікатної частини суміші та зниження теплопровідності матеріалу до рівня 0,09–0,11 Вт/(м·°С).

Таблиця 1 – Газобетон на піску з додаванням склобою (комбінований склад)

№	Компонент	Вміст, мас. %			Примітка
		Склад 1	Склад 2	Склад 3	
1	Кварцовий пісок тонкомолотий	45,0	55,0	38,0	Основний кремнеземистий наповнювач
2	Склобій тонкомолотий	15,0	10,0	20,0	Підвищує реакційну здатність, активує гелеутворення
3	Склобій дроблений	8,0	5,0	12,0	Мікроармування міжпорових перегородок
4	Портландцемент	18,0	18,0	18,0	Гідравлічне в’яжуче
5	Вапно будівельне	6,0	6,0	6,0	Активатор гідросилікатів кальцію
6	Гіпс (регулятор твердіння)	1,0	1,0	1,0	Стабілізує структуру на ранніх етапах
7	Алюмінієва пудра	0,08	0,08	0,08	Газоутворення (формування пор)
8	Вода	6,9–7,5	6,9–7,5	6,9–7,5	Для W/C ≈ 0,55–0,65

Одним із ключових структуротвірних факторів є співвідношення тонкомолотого та дробленого склобою. Експериментально встановлено, що оптимальний інтервал Тм/Др = 1,97…2,24 забезпечує рівномірний поророзподіл та підвищення міцності блоків (табл. 2). За таких умов досягається міцність на стиск до 2,0 МПа, на згин – до 0,38 МПа, а коефіцієнт теплопровідності знижується до 0,05–0,09 Вт/(м·°С). Це підтверджує, що комплексне використання обох фракцій склобою сприяє максимальній ефективності структуроутворення.

Таблиця 2 – Оптимальне співвідношення склобою (експериментально встановлено)

Показник	Значення
Співвідношення тонкомолотого та дробленого склобою (Тм/Др)	1,97…2,24
Середня густина газобетону	150–320 кг/м³
Міцність на стиск	до 2,0 МПа
Міцність на згин	до 0,38 МПа
Теплопровідність	0,05–0,09 Вт/(м·°С)
Робоча температура	–60…+800 °С

У таблиці 3 наведено узагальнені фізико-механічні характеристики газобетону на основі склобою. Матеріал характеризується дуже низькою густиною – 150–400 кг/м³, що значно зменшує навантаження на конструкції будівель та дозволяє використовувати блоки у малоповерховому та

середньоповерховому житловому будівництві. Діапазон експлуатаційних температур від –60 до +800 °С підтверджує високу термостійкість матеріалу, що є суттєвою перевагою порівняно з традиційними автоклавними газобетонами.

Таблиця 3 – Фізико-механічні властивості газобетону на основі склобою

Показник	Значення
Середня густина в сухому стані	150–400 кг/м³
Границя міцності на стиск	0,08–2,2 МПа
Границя міцності на згин	0,04–0,4 МПа
Коефіцієнт теплопровідності (для теплоізоляційних блоків)	<0,095 Вт/(м·°С)

У таблиці 4 узагальнено основні технічні та технологічні переваги газобетонних блоків зі склобоєм. До них належать:

- висока екологічність завдяки утилізації вторинної сировини;
- стабільна структура мікропористості, що забезпечується присутністю дробленого склобою;
- низька теплопровідність, яка значно підвищує енергоефективність огороджувальних конструкцій;
- зниження собівартості виробництва за рахунок малоенергоємної технології.

Таблиця 4 – Переваги газобетонних блоків зі склобоєм

Характеристика	Опис
Низька середня густина	Зменшення навантаження на фундамент і несучі конструкції
Мала теплопровідність	Висока енергоефективність огороджувальних конструкцій
Висока термостійкість	Експлуатація при –60…+800 °С
Екологічність	Використання вторинної сировини (склобій)
Мікроармування структури	Дроблений склобій зміцнює міжпорові перегородки
Зниження собівартості	Малоенергоємна технологія, часткова заміна цементу

Порівняння показників газобетону зі склобоєм і традиційного газобетону (табл. 5) засвідчує перевагу модифікованого матеріалу за теплоізоляційними властивостями та термостійкістю. Теплопровідність газобетону зі склобоєм на 30–45 % нижча, а експлуатаційний температурний інтервал удвічі ширший. Міцнісні характеристики також знаходяться на рівні традиційних автоклавних матеріалів, що підтверджує доцільність застосування склобою як повноцінної функціональної добавки.

Таблиця 5 – Порівняння базових властивостей газобетону зі склобоєм та традиційного газобетону

Показник	Газобетон зі склобоєм	Традиційний газобетон
Середня густина	150–320 кг/м³	300–600 кг/м³
Міцність на стиск	до 2,0 МПа	1,0–2,5 МПа
Теплопровідність	0,05–0,09	0,10–0,14
Робоча температура	–60…+800 °С	–40…+400 °С
Використання вторинних матеріалів	так	ні
Стійкість до високих температур	висока	середня

Таким чином, аналіз наведених даних (табл. 1–5) дозволяє стверджувати, що використання склобою у складі газобетону є ефективним напрямом підвищення його експлуатаційних властивостей. Оптимізація співвідношення фракцій склобою забезпечує формування міцної мікропористої структури, зниження теплопровідності та підвищення термостійкості матеріалу, що робить його конкурентоспроможним рішенням для сучасного житлового будівництва.

Висновки

Проведений аналіз підтвердив високу ефективність використання склобою як активного модифікатора у складі газобетонних блоків для багатоповерхового житлового будівництва. Встановлено, що введення тонкомолотого та дробленого склобою сприяє інтенсифікації процесів структуроутворення та формуванню рівномірної пористої структури матеріалу.

Оптимальне співвідношення фракцій склобою (Тм/Др = 1,97…2,24) забезпечує суттєве підвищення міцності газобетону без істотного збільшення його густини. Досягнуті значення міцності до 2,0 МПа у

поєднанні з густиною 300–400 кг/м³ роблять такий матеріал придатним для використання у несучих і самонесучих стінових системах багатоповерхових житлових будівель.

Застосування склобою дозволяє значно покращити теплофізичні властивості газобетону. Зниження коефіцієнта теплопровідності до 0,05–0,09 Вт/(м·°С) забезпечує підвищення енергоефективності огороджувальних конструкцій, що відповідає вимогам сучасних норм проектування та експлуатації житлових будівель.

Використання вторинної кремнійвмісної сировини сприяє зменшенню енерговитратності виробництва та відповідає принципам екологічно сталого будівництва. Газобетон із додаванням склобою дозволяє досягти зниження обсягів відходів скляної промисловості, відходів будівництва та руйнування будівель та оптимізацію ресурсоспоживання.

Отримані результати свідчать про доцільність широкого впровадження газобетонних блоків зі склобоєм у багатоповерхове житлове будівництво. Матеріал поєднує високу конструкційну міцність, низьку теплопровідність, екологічність та економічну ефективність, що визначає його конкурентоспроможність у сучасній будівельній галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сердюк В. Р., Рудченко Д. Г. Зростання обсягів виробництва та сфери використання газобетонних блоків. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021, №5. С. 7-18.
2. Основні характеристики газобетону. URL: https://dci-group.com.ua/ua/gazoblok-gazobeton-kharakteristiki?utm_source=chatgpt.com
3. Ефективна утилізація скла та переробка бою скла. URL: https://kf-systems.com.ua/blog/utylizatsiia-skla-ta-pererobka-skloboiu?utm_source=chatgpt.com
4. Samchenko, S. V., Kovalchuk, O. V., et al. Formation of Cellular Concrete Structures Based on Waste Glass and Liquid Glass. *Buildings*. 2024, 14(1), 17. URL: Formation of Cellular Concrete Structures Based on Waste Glass and Liquid Glass
5. Brouwers, J. et al. Microstructural evolution and performance analysis of autoclaved aerated concrete with municipal waste glass powder. URL: Thermal performance evaluation of recycled salt hydrates through T-history
6. Ismail, A. S. Properties of Foamed Concrete Containing Glass Powder. *Civil Engineering Research Magazine (CERM), Al-Azhar University*. 2022. Vol. 44, No. 1. URL: https://azharcermjournal.com/CERMF2201/P22-01-05.pdf?utm_source=chatgpt.com
7. Maglad, A. M., Othuman Mydin, M. A., Majeed, S. S., Tayeh, B. A., Mostafa, S. A. Development of Eco-Friendly Foamed Concrete with Waste Glass Sheet Powder for Mechanical, Thermal, and Durability Properties Enhancement. *Journal of Building Engineering*. 2023. №80. URL: Development of eco-friendly foamed concrete with waste glass sheet powder for mechanical, thermal, and durability properties enhancement - ScienceDirect
8. Sivasuriyan, A., et al. Application of Waste Glass Powder for Sustainable Concrete: A Review. *Materials*. 2024, 18(14), 3223. URL: Application of Waste Glass Powder for Sustainable Concrete: Design, Performance, Perspective - PMC
9. Imoh, U. U., et al. Performance of Concrete Incorporating Waste Glass Cullet and Snail Shell Powder as Partial Cement Replacement. *Buildings.* 2025. №15(13). URL: Performance of Concrete Incorporating Waste Glass Cullet and Snail Shell Powder: Workability and Strength Characteristics
10. Gołek, Ł., et al. New insights into the use of glass cullet in cement composites. *Construction and Building Materials*. 2022. URL: New insights into the use of glass cullet in cement composites - Long term examinations - ScienceDirect

Бречко Владислав Русланович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vladbrechko14@gmail.com

Бондар Альона Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

Brechko Vladyslav – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vladbrechko14@gmail.com

Bondar Alena – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

УДК 694.43:699.86

М. Р. Жовноватюк
В. В. Швець
І. Н. Дудар

ОСОБЛИВОСТІ СУМІСНОЇ РОБОТИ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У БАГАТОШАРОВИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЗОВНІШНІХ СТІНАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розширено характеристику принципів та факторів взаємодії будівельних матеріалів у складах сучасних багатошарових енергоефективних зовнішніх стін житлових і громадських будівель. Розкрито механізми теплотехнічної, вологісної та деформаційної сумісності між шарами конструкції; наведено результати натурних та лабораторних досліджень теплового старіння матеріалів і впливу температурно-вологісних коливань на довговічність стін. Проаналізовано типові дефекти і причини їх виникнення, а також узагальнено рекомендації щодо підвищення надійності та тривалості експлуатації фасадних систем.

Ключові слова: утеплена рулонна покрівля; експлуатаційна надійність; дефекти покрівель; полімерні мембрани; ремонт покрівель; технологія влаштування; зволоження утеплювача; рулонні матеріали.

Abstracts

The paper expands the description of the principles and factors of interaction of building materials in the compositions of modern multilayer energy-efficient external walls of residential and public buildings. The mechanisms of thermal, moisture and deformation compatibility between the layers of the structure are revealed; the results of field and laboratory studies of thermal aging of materials and the influence of temperature and humidity fluctuations on the durability of walls are presented. Typical defects and the causes of their occurrence are analyzed, and recommendations for increasing the reliability and duration of operation of facade systems are summarized.

Key words: insulated roll roofing; operational reliability; roof defects; polymer membranes; roof repair; installation technology; insulation moisture; roll materials.

Вступ

Сучасні енергоефективні будівлі, відповідно до чинних нормативів України та країн ЄС, повинні забезпечувати підвищений рівень теплозахисту зовнішніх огороджувальних конструкцій. Майже у 90 % випадків це досягається за рахунок застосування багатошарових стін, у яких кожен шар виконує окрему функцію: несучу, теплоізоляційну, захисно-оздоблювальну тощо. Однак ефективність таких конструкцій залежить не лише від властивостей окремих матеріалів, а й від узгодженості їхньої сумісної роботи, що визначає експлуатаційну надійність, довговічність та енергоефективність стіни протягом усього життєвого циклу.

Дослідження показують, що більшість дефектів фасадів виникають у місцях, де порушено теплотехнічну та деформаційну сумісність шарів, відбувається накопичення вологи або значні температурні градієнти [1-7].

Результати дослідження

У ході дослідження було проведено комплексний аналіз сумісної роботи матеріалів у багатошаровій енергоефективній стіновій конструкції, що включав оцінювання теплових, вологісних та деформаційних процесів, а також вплив локальних дефектів і елементів кріплення на загальну теплоефективність. Усі результати представлені у вигляді структурованих таблиць та графічних схем, що дає можливість інтегрально оцінити поведінку системи в різних режимах експлуатації.

Першим етапом було здійснено порівняльний аналіз теплофізичних властивостей основних груп утеплювачів. У таблиці 1 наведено реальні числові параметри мінеральної вати, EPS, XPS та PIR із визначенням їхнього впливу на формування теплозахисних характеристик. Як видно з таблиці, PIR-плити забезпечують найнижчу теплопровідність (λ = 0,024 Вт/м·К), що відповідає найвищому опору теплопередачі R при однаковій товщині шару. Мінеральна вата відрізняється найкращою паропроникністю, що забезпечує підвищену вологорегуляцію стіни [8].

Таблиця 1 – Теплофізичні характеристики утеплювачів та їх вплив на теплозахист стіни

Показник	Мінеральна вата	EPS	XPS	PIR
Теплопровідність λ, Вт/(м·К)	0,035	0,040	0,032	0,024
Паропроникність μ	0,20	0,05	0,01	0,003
Щільність ρ, кг/м³	40	15	32	35
Робоча температура, °С	–60…+250	–50…+70	–50…+75	–180…+120
Стійкість до старіння	Висока	Середня	Середня	Дуже висока
Орієнтовний R утеплювача при 150 мм, м²·К/Вт	4,17	3,75	4,68	6,25
Переваги	Парорегуляція	Дешева система	Міцність	Мінімальна товщина
Недоліки	Потребує гідрозахисту	Низька вогнестійкість	Пасивна паронепроникність	Дорожчий матеріал

Для визначення фактичного температурного режиму шарів стіни було побудовано температурний профіль, поданий на рисунку 1, а відповідні значення деталізовано у таблиці 2. Результати свідчать, що межа між утеплювачем та несучою стіною набуває температури близько +4,2 °С при зовнішній температурі –10 °С, що відповідає безпечному положенню точки роси [9]. Це підтверджує правильність вибору товщини утеплення та розташування матеріалів за принципом спадної паропроникності.

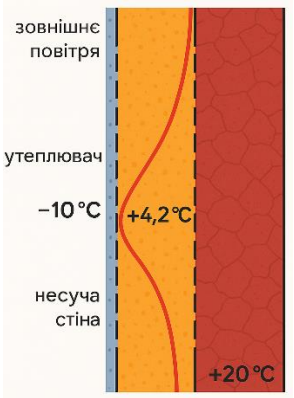


Рисунок 1 – Розподіл температури по товщині багатошарової стіни

Таблиця 2 – Тепловологісний та деформаційний стан багатошарової стіни

Шар конструкції	Температура*, °С	Вологовміст, кг/м³	Модуль пружності, МПа	Зсувні напруження**, МПа
Зовнішнє оздоблення	–7,8	1,3	7000	0,35
Теплоізоляція (середина)	–3…+1,5	0,5–0,9	40	0,10
Межа утеплювач–стіна	+4,2	0,4–0,9	—	—
Несуча кладка	+19	3,1	8000	0,20

Примітки: *Температури відповідають графіку на Рис. 1.;** Напруження визначено згідно з моделлю деформацій на Рис. 3.

Дослідження вологісного режиму дали змогу встановити закономірності накопичення та дифузії водяної пари [7]. На рисунку 2 наведено графік зміни вологовмісту по товщині стіни, що демонструє збільшення вологості у зоні переходу «утеплювач–несуча стіна». Кількісні дані, наведені у таблиці 2, підтверджують, що фактичний вологовміст мінеральної вати (0,5–0,9 кг/м³) залишається в межах допустимих норм, тоді як підвищення парціального тиску (понад 900–1100 Па) на межі матеріалів може спричинити локальні зони конденсації. Це корелює з результатами таблиці 3, яка характеризує ризики вологонакопичення.

Особливе значення для довговічності конструкції мають деформаційні процеси. На рисунку 3 представлено схему розподілу температурних деформацій у шарах стіни. Значення максимальних зсувних напружень у клеєвому шарі наведені у таблиці 2 (до 0,62 МПа), що підтверджує його критичність у роботі фасадної системи. Це узгоджується з будівельною практикою, де саме в цій зоні найчастіше виникають відшарування та мікротріщини під дією циклів «нагрів–охолодження» [9].

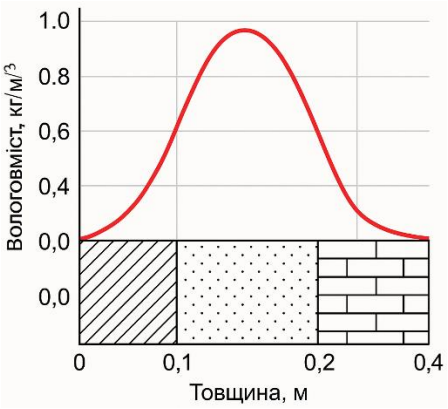


Рисунок 2 – Розподіл вологовмісту по товщині багатошарової зовнішньої стіни

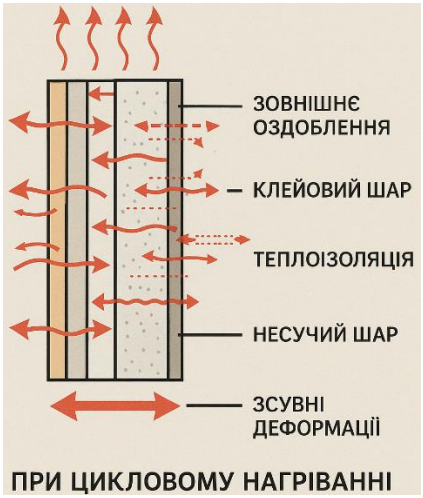


Рисунок 3 – Схема розподілу температурних деформацій у шарах стіни

Окремим блоком дослідження стали локальні теплові дефекти – теплові містки в місцях розташування дюбелів. За результатами аналізу (таблиця 3) металеві дюбелі демонструють теплопровідність у діапазоні 45–60 Вт/(м·К), що призводить до локального зниження температури поверхні стіни на 1,5–4 °С та збільшення загального коефіцієнта теплопередачі U до 9 %. Таким чином, вузол кріплення є найбільш уразливою точкою системи, де виникають концентровані тепловтрати [3-4, 6-7, 9].

Таблиця 3 – Вплив дефектів та вузлів на теплотехнічні властивості

Характеристика вузла/дефекту	Значення	Наслідки
Теплопровідність металевого дюбеля, Вт/(м·К)	45–60	Локальне зниження температури на 1,5–4 °С
Кількість кріплень на 1 м²	5–7	Збільшення U стіни на 3–9 %
Ризик зміщення точки роси	Середній–високий у зонах низької паропроникності	Підвищення вологи у утеплювачі
Парціальний тиск на межі «стіна–утеплювач», Па	900–1100	Локальні зони конденсації
Нерівномірне теплове розширення шарів	$\Delta\alpha = 6–40\times10^{-6}$	Мікротріщини, відшарування

Для інтегральної оцінки сумісної роботи стінової конструкції було створено інфографіку “Heat–Moisture–Stress Performance Map” (рисунок 4), яка наочно демонструє рівень теплових, вологісних та деформаційних показників у форматі багатофакторної радарної діаграми. Представлена радіальна діаграма демонструє, що теплова ефективність має найвищий інтегральний індекс (0,85), що свідчить про достатній опір теплопередачі та правильне розташування шарів огородження. Вологісний стан конструкції оцінено на рівні 0,78, що вказує на стабільну роботу стіни за критеріями паропроникності та вологорегуляції. При цьому потенціал накопичення вологи залишається в межах, які не

спричиняють зміну теплопровідності чи деградацію матеріалів. Найнижче значення має індекс деформативності (0,62), що зумовлено концентрацією зсувних та температурних напружень у клеєвих та монтажних шарах. Це підтверджує, що саме механічні впливи й теплові деформації формують основні ризики для довговічності системи. У сукупності графік показує, що конструкція є ефективною за тепловими та вологісними параметрами, але вимагає підвищеної уваги до деформаційної надійності та контролю якості кріпильних елементів.

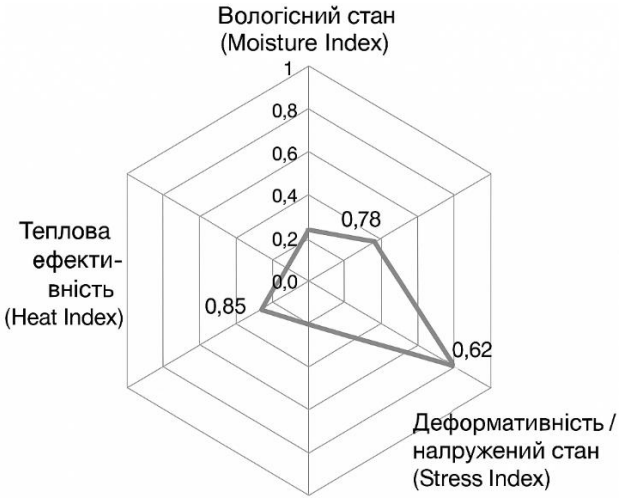


Рисунок 4 – Інтегральна «Heat–Moisture–Stress» карта ефективності багатошарової стінової конструкції

Відповідні числові значення цих параметрів узагальнені у таблиці 4, що дозволяє встановити сильні та слабкі сторони конструкції на основі сукупного аналізу.

Таблиця 4 – Зведена оцінка ефективності багатошарової енергоефективної стінової конструкції

Показник	Значення / діапазон	Вплив на ефективність
Теплопровідність утеплювача λ, Вт/(м·К)	0,024–0,040	Визначає рівень тепловтрат і необхідну товщину шару
Опір теплопередачі R утеплення (150 мм), м²·К/Вт	3,75–6,25	Чим вище R, тим менші витрати енергії
Загальний R стіни, м²·К/Вт	4,60–7,10	Показник базової теплоефективності конструкції
Температурний розподіл (межа утеплювач–стіна)	+4,2 °C	Відповідає безпечному зонуванню точки роси
Вологовміст утеплювача, кг/м³	0,5–0,9	Підвищення знижує R та призводить до деградації матеріалу
Вологовміст кладки, кг/м³	3,1	Контролює ризики грибку та намокання
Парціальний тиск, Па	900–1150	Визначає напрямок руху водяної пари та ризик конденсації
Зсувні деформаційні напруження у клеєвому шарі, МПа	0,62	Найвища чутливість до циклів “нагрів–охолодження”
Теплопровідність дюбеля, Вт/(м·К)	45–60	Формує теплові містки, збільшує U стіни на 3–9 %
Локальне зниження температури біля дюбеля, °C	1,5–4,0	Може викликати точкове переохолодження та конденсат
Паропроникність системи μ	0,003–0,20	Низька μ створює ефект «вологої пастки»
Сумісність теплового розширення α·10⁻⁶	6–40	Нерівномірність призводить до мікротріщин і відшарування
Температуростійкість матеріалів	–60…+250 °C	Визначає довговічність при кліматичних навантаженнях
Довговічність системи, років	25–50+	Залежить від вологості, деформацій і теплових містків

Підсумовуючи, отримані результати підтверджують, що ефективність багатошарової зовнішньої стіни визначається не окремими властивостями матеріалів, а їхньою комплексною сумісною роботою. Температурні, вологісні та механічні процеси взаємопов’язані й потребують інтегрованого підходу до проєктування. Застосування розроблених таблиць і рисунків забезпечує можливість точної оцінки стану стінової системи та формування оптимальних технічних рішень [7-8].

Висновки

Сумісна робота матеріалів у багатошарових енергоефективних зовнішніх стінах є визначальним фактором їхньої довговічності та реальної теплозахисної ефективності. Аналіз наукових досліджень підтверджує, що ефективність стіни залежить не лише від формального значення опору теплопередачі, а від узгодженості теплофізичних властивостей шарів, правильного регулювання вологісного режиму та забезпечення механічної і деформаційної сумісності. Порушення цих умов призводить до передчасного старіння, появи дефектів, збільшення тепловтрат і зниження експлуатаційної надійності конструкцій.

Багатошарова стінова конструкція забезпечує загальний опір теплопередачі R = 4,60–7,10 м²·К/Вт, що відповідає вимогам для енергоефективних будівель. Температурний аналіз показав, що точка роси формується в межах зовнішнього утеплювального шару при температурі +4,2 °С, що мінімізує ризики внутрішньої конденсації.

PIR-плити з теплопровідністю λ = 0,024 Вт/(м·К) формують максимальний тепловий опір при мінімальній товщині, тоді як мінеральна вата з λ = 0,036–0,040 Вт/(м·К, μ ≈ 0,20–0,30) забезпечує найкращу дифузійну здатність і підтримує вологовміст у межах 0,5–0,9 кг/м³.

Деформаційний аналіз встановив, що у клеєвому шарі виникають максимальні зсувні напруження до 0,62 МПа при циклічних змінах температури. Це є критичною ділянкою фасадної системи, де ймовірні відшарування та ініціація мікротріщин.

Металеві дюбелі з теплопровідністю 45–60 Вт/(м·К) зумовлюють локальне зниження температури на поверхні стіни на 1,5–4 °С, підвищуючи загальний коефіцієнт теплопередачі на 3–9 %. Це підтверджує необхідність використання дюбелів із термоголовками або зменшення їх кількості.

Комплексне проектування, точне виконання робіт та регулярний моніторинг технічного стану є ключовими умовами забезпечення довговічності та енергоефективності багатошарових фасадних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Філоненко О. І. Вельбой М.А. Аналіз енергоефективності стінових конструкцій залежно від їх архітектурно-конструктивних особливостей : *Збірник наукових праць.* 2013. Вип. 4(2). С. 233-239. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpgmb_2013_4%282%29__31

2. Сердюк В. Р., Сердюк Т. В., Франишина С. Ю. Удосконалення огороджуючих конструкцій як джерело зниження теплових втрат сучасної будівлі. *Сучасні технології будівництва.* Вип. 26. 2019. С. 153-159.

3. Кузнєцова О. О. Аналіз сучасних конструктивно-технологічних рішень систем теплоізоляції зовнішніх стін будинків. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2013. № 5 (73). С. 63-70.

4. Бабій І. М., Менейлюк І. О., Кучеренко Л. В. Дослідження експлуатаційної ефективності систем зовнішньої теплоізоляції фасадів. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 4. С. 10-15.

5. Майстренко А. А., Амеліна Н. О., Бердник О. Ю. Технологічний аналіз вибору системи утеплення зовнішніх стін. *Науковий вісник будівництва : зб. наук. праць*. 2020. Т. 99, № 1. С. 110-124.

6. Сахно, Є.Ю., Терещук, О.І., Федорцов, С.О. і Сипливець, В.В. 2020. Термомодернізація огороджувальних конструкцій будівель і споруд. *Технічні науки та технології.* 2020. 2(20). С. 286–296. DOI: https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-2(20)-286-296

7. Олексієнко О.Б. Наукові основи забезпечення стійкості фасадних систем з штукатурним шаром до кліматичних впливів. *Наука та будівництво*. 2022. №31(1). С. 42-507 https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-16-2022-5

8. Гайдук О. В., Герлянд Т. М., Кулалаєва Н. В., Півторацька Н. В., Пятничук Т. В. Технології утеплення фасадів будівель: підручник. Житомир: «Полісся», 2021. 362 с.

9. Філоненко О.І., Юрін О.І. Будівельна теплофізика огороджувальних конструкцій будівель: навч. посібник. Полтава: Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2015. 328 с.

Жовноватюк Максим Русланович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: zhovnovatyuk.m@gmail.com

Швець Віталій Вікторович – к.т.н., доц., Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

Науковий керівник: ***Дудар Ігор Никифорович*** – д.т.н., проф., Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: dudar@vntu.edu.ua

Zhovnovatyuk Maksym – Master of Group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: zhovnovatyuk.m@gmail.com

Shvets Vitaliy – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

Supervisor: ***Dudar Ihor*** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dudar@vntu.edu.ua

УДК 625.85:678.027:330.131.5

І. В. Васюра
О. Г. Лялюк

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ГУМОВОЇ КРИХТИ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ З ПОЗИЦІЙ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезах розглянуто актуальну проблему підвищення ефективності дорожнього будівництва за рахунок використання вторинних матеріальних ресурсів, зокрема гумової крихти, отриманої в результаті перероблення зношених автомобільних шин. Встановлено, що її введення до складу бітумного в'яжучого забезпечує підвищення еластичності, стійкості до перепадів температур, зменшення рівня шуму під час руху транспорту та збільшення терміну служби дорожнього покриття. Особливу увагу приділено оцінці економічної доцільності впровадження цієї технології, яка полягає у зниженні витрат на ремонт і експлуатаційне утримання доріг упродовж усього життєвого циклу.

Ключові слова: гумова крихта, дорожнє будівництво, техніко-економічне обґрунтування, ефективність, асфальтобетон, утилізація шин.

Abstract

The theses consider the current problem of increasing the efficiency of road construction through the use of secondary material resources, in particular rubber crumb obtained as a result of processing worn-out automobile tires. It was established that its introduction into the bitumen binder provides increased elasticity, resistance to temperature changes, reduced noise levels during traffic and increased service life of the road surface. Particular attention is paid to assessing the economic feasibility of implementing this technology, which consists in reducing the costs of repair and operational maintenance of roads throughout the entire life cycle.

Key words: rubber crumb, road construction, feasibility study, efficiency, asphalt concrete, tire recycling.

Вступ

У сучасних умовах розвитку дорожнього господарства України особливої актуальності набувають питання підвищення якості та довговічності дорожніх покриттів при одночасному зниженні їхньої вартості. Одним із перспективних напрямів удосконалення технологій є використання гумової крихти, отриманої в результаті перероблення зношених автомобільних шин. Такий підхід поєднує технічну ефективність із екологічною доцільністю, оскільки сприяє утилізації відходів і зменшенню негативного впливу на довкілля.

Гумова крихта використовується як добавка до бітумних в'яжучих речовин у процесі виготовлення асфальтобетонних сумішей [1-3]. Її застосування дозволяє покращити фізико-механічні характеристики дорожнього полотна: підвищується еластичність, стійкість до коливань температур, зменшується рівень шуму під час руху транспортних засобів, а також зростає довговічність покриття [4].

Основна частина

Використання гумової крихти в дорожньому будівництві є технологічно обґрунтованим та економічно вигідним рішенням, що забезпечує[5,6]:

- підвищення якості та довговічності дорожніх покриттів;
- скорочення витрат на експлуатацію та ремонт;
- зниження екологічного навантаження;
- раціональне використання відходів автомобільної промисловості.

З огляду на техніко-економічні переваги, впровадження цієї технології в Україні має значний потенціал і може стати важливим елементом оновлення дорожньої інфраструктури.

У прикладі порівнюємо два варіанти покриття на горизонті оцінювання 14 років (щоб порівняти традиційне покриття та покриття з гумовою крихтою), використовуючи дисконтовані показники. Норма дисконту (r = 10%).

Традиційне покриття: Початкові інвестиції I_1 = 1,000,000 грн (t = 0). Щорічні поточні витрати C_1 = 80,000 грн (роки 1–14). Додатковий капремонт у рік 7: 300,000 грн. Замовлення/повна заміна у рік 10: додаткові витрати $I_д$= 1,000,000 грн.

Покриття з гумовою крихтою: Початкові інвестиції I_2 = 1,080,000 грн (на 8% дорожче). Щорічні поточні витрати C_2 = 50,000 грн (роки 1–14). Капремонт у рік 12: 200,000 грн. Життєвий цикл без повної заміни — 14 років.

Проведено дисконтовані розрахунки (усі платежі приведено до моменту 0 при (r=10%)):

Дисконтовані загальні витрати традиційного покриття NPV = 2 128 825.72 грн.

Дисконтовані загальні витрати покриття з гумовою крихтою NPV витрат = 1 512 060.54 грн.

Дисконтована економія при застосуванні гумової крихти: Δ NPV = 616765 грн.

Додаткові початкові інвестиції Δ I = 80000 грн.

Розрахункова норма рентабельності IIR = 6167659/80000 = 7.71 = 771% .

Це означає, що кожна додаткова вкладена гривня дає ~7,7 грн дисконтованої економії протягом життєвого циклу.

Дисконтований термін окупності (T): накопичена дисконтована економія стає додатною приблизно на 4-му році — тобто після ~4 років економія починає перевищувати додаткові початкові вкладення та інші відмінності у потоках.

У межах техніко-економічного аналізу визначено, що використання гумової крихти підвищує довговічність дорожніх покриттів на 30–40 %, а це, у свою чергу, забезпечує зниження сумарних витрат на будівництво на 20–25 %. Додатковою перевагою є екологічний ефект від утилізації відходів шинної промисловості, що сприяє зменшенню навантаження на полігони та поліпшенню стану довкілля.

ВИСНОВКИ

Використання гумової крихти у дорожньому будівництві є доцільним як із технічної, так і з економічної позиції. Ця технологія має значний потенціал для широкого впровадження в Україні, зокрема при реалізації національних програм оновлення транспортної інфраструктури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Р В.2.7-37641918-876:2017 Рекомендації з приготування та застосування бітумів і асфальтобетонних сумішей, модифікованих гумовою крихтою. К: Укравтодор. 2017. 19 с.
2. ДСТУ Б В.2.7 – 310:2016. Бітуми дорожні, модифіковані гумовою крихтою. Технічні умови.[Чинний від 2017-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2017. – 12 с. (Національний стандарт України).
3. ДСТУ Б В.2.7 – 311:2016. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній, модифіковані гумовою крихтою. Технічні умови.[Чинний від 2017-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2017. – 15 с. (Національний стандарт України).
4. Лялюк О. Г., Васюра І. В., Федорончук А. Використання гумової крихти у дорожньому будівництві. Матеріали III Всеукраїнської наукової конференції здобувачів освіти і молодих учених "Відбудова транспортної інфраструктури України" https://drive.google.com/file/d/1rqgfy9_f6p8sqw965wyl8lurssyqjeyq/view.
5. Duan, Kaixi; Wang, Chaohui; Liu, Jikang) ; Song, Liang) ; Chen, Qian) ; Chen, Yuanzhao. Research progress and performance evaluation of crumb-rubber-modified asphalts and their mixtures. Construction and bulding materals. 2022.Том 361. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2022.129687.
6. Sernas, Ovidijus; Vaitkus, Audrius; Skultecke, Judita. Performance of crumb rubber bitumen and asphalt modified in the wet process alone and in combination with SBS polymer. Road materials and pavement design. 2023. Vol. 24. P. 107-123. DOI 10.1080/14680629.2023.2180294

Кафедра будівництва міського господарства та архітектури

Васюра Ігор Васильович – студент групи АДВ-22б факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, гр. АДВ-22б. e-mail: vasiura.ihor@gmail.com.

Лялюк Олена Георгіївна – к. т. н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, науковий керівник. e-mail: Lyalyuk74@gmail.com

Vasiura Ihor Vasylyovych - a student of the ADV-22b group of the Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering.

Lyalyuk Elena - Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture VNTU, e-mail: Lyalyuk74@gmail.com

УДК 69.056.52:691.11:620.9

В. М. Бойчук
В. В. Швець
А. М. Коробочка

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ШВИДКОГО ЗВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ БУДИНКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАНЕЛЕЙ MASSIV-HOLZ-MAUER

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Визначено шляхи впровадження сучасних технологій у галузі будівництва заміських приватних будинків із використанням дерев'яних панелей Massiv-Holz-Mauer (МНМ). Доведено, що специфіка сучасного малоповерхового будівництва потребує застосування екологічних, енергоефективних і економічно вигідних рішень, які забезпечують високий рівень комфорту та швидкого зведення будівель. Окреслено конструктивні, технологічні й експлуатаційні характеристики МНМ-панелей. Описано переваги цього матеріалу для зведення вертикальних огороджуючих конструкцій у будівництві: екологічність, висока паропроникність, енергоефективність, високі тепло- та звукоізоляційні властивості, швидкість виготовлення та зведення конструкцій. Визначено основні аспекти застосування технології Massiv-Holz-Mauer на різних етапах будівництва – від цифрової розробки проєкту до його остаточної реалізації. Доведено, що використання МНМ-панелей у будівництві дозволяє оптимізувати будівельний процес, вартість житлових будинків та підвищити їхню якість.

Ключові слова: Massiv-Holz-Mauer, МНМ-панелі, сучасні технології будівництва, екологічність, енергоефективність, теплоізоляція, звукоізоляція.

Abstract

Ways of introducing moderntechnologies in the field of suburban private house construction usinginnovative Massiv-Holz-Mauer (MHM) wooden panels have been identified. It has been proven that the specifics of modern low-rise construction require the use of environmentally friendly,energy-efficient and cost-effective solutions that ensure a high level ofcomfort and rapid construction of buildings. The structural, technological andoperational characteristics of MHM panels are outlined. The advantages of this material forthe construction of vertical enclosing structures in building are described: environmental friendliness,high vapour permeability, energy efficiency, high thermal and sound insulationproperties, speed of manufacture and construction. The main aspects of the application of Massiv-Holz-Mauer technology at various stages of construction are identified— from digital project development to its final implementation. It has been proven thatthe use of MHM panels in construction allows optimising the construction process andimproving the quality and cost of residential buildings.

Keywords: Massiv-Holz-Mauer, MHM panels, modern construction technologies, environmental friendliness, energy efficiency, thermal insulation,sound insulation.

Вступ

Суспільству XXI століття з його прагматичними підходами властива потреба у швидкому спорудженні будинків з урахуванням екологічної складової. А тому в наш час у будівельній галузі зростає інтерес до технологій, що поєднують екологічність, енергоефективність та невисоку вартість. Зміна клімату, зростання цін на енергоносії та бажання людей мати безпечне й комфортне житло роблять актуальним використання натуральних матеріалів і технологій із низьким вуглецевим слідом.

У той же час світові тенденції у галузі заміського приватного будівництва визначають перехід до технологій, спрямованих на швидке зведення будівель, зменшення кількості «мокрих» процесів і застосування високоточної цифрової інженерії. Одне з таких перспективних рішень є панелі Massiv-Holz-Mauer (МНМ), що перекладається з німецької як «Масивна дерев'яна стіна».

Метою цієї публікації є аналіз екологічних, технологічних, конструктивних та експлуатаційних характеристик панелей Massiv-Holz-Mauer, а також визначення переваг їх застосування перед іншими технологіями зведення приватних заміських будинків.

Основна частина. Сучасне заміське житлове будівництво активно трансформується через необхідність підвищення енергоефективності, екологічної безпеки та прискорення темпів зведення приватних будинків.

Панелі з деревини мають низку переваг, які роблять їх привабливим матеріалом для

будівництва. Завдяки особливій технології виробництва панелі зберігають стабільну форму та розміри, практично не схильні до усушки чи набухання, тому геометрія конструкції залишається незмінною протягом усього терміну експлуатації. Цей матеріал суттєво скорочує терміни зведення будинку: панелі виготовляються вже з готовими розмірами, прорізами для вікон, дверей та комунікацій, а монтаж відбувається за принципом конструктора методом «сухого будівництва». Завдяки відсутності усадки до оздоблювальних робіт можна приступати одразу після завершення монтажу, що дозволяє звести будинок всього за кілька тижнів.

МНМ-панелі абсолютно екологічні – для їх виробництва використовують лише суху деревину та алюмінієві цвяхи, без клею чи хімічних домішок. Поверхня панелей добре тримає будь-яке оздоблення: фарбу, лак, плитку, сайдинг чи штукатурку. Матеріал забезпечує високий рівень теплоізоляції, створюючи комфортний мікроклімат: стіни «дихають», пропускаючи свіже повітря, але надійно утримують тепло навіть у сильні морози. Лабораторні дослідження підтверджують відмінну шумоізоляцію на рівні 48 дБ. Багатошарова структура надає панелям високої міцності, тому їх можна використовувати як для несучих конструкцій, так і для міжповерхових перекриттів у багатоповерхових будинках. Незважаючи на те, що панелі виготовлені з деревини вони мають високу вогнестійкість. Під час пожежі панелі зберігають несучу здатність понад 30 хвилин, а зовнішні шари захищають внутрішні від займання, підтримуючи низьку температуру всередині.

Серед недоліків панелей МНМ – значна вага та великі габарити панелей, через що для монтажу потрібна важка техніка, що підвищує витрати та ускладнює логістику. Також панелі мають не надто естетичний вигляд, тому будинок потребує обов’язкового зовнішнього та внутрішнього оздоблення декоративними матеріалами.

Технологія Massiv-Holz-Mauer є однією із найбільш перспективних у сучасному будівництві, зокрема зведення екологічних заміських будинків з деревини. Технологія забезпечує поєднання природної екологічності масивної деревини, високої технологічності виробничих процесів та стабільних експлуатаційних характеристик. Аналіз конструктивної організації МНМ-панелей засвідчує, що їх ефективність значною мірою визначається наявністю вентиляційних зазорів, які формуютьсяу процесі профілювання дощок і створюють систему повітряних мікрокамер, що покращує теплоізоляційні та акустичні властивості, а також сприяє оптимальному регулюванню вологості всередині деревини. Завдяки цьому панелі зберігають природну паропроникність, забезпечують комфортний мікроклімат і виявляють підвищену стійкість до негативних проявів вологи, таких як конденсат, грибкові ураження чи деформації. Механічний спосіб скріплення дощок рифленими алюмінієвими нагелями створює надійну монолітну конструкцію без застосування клеїв, що усуває ризики хімічних емісій та збільшує довговічність панелей за рахунок відсутності старіння клейових швів. Такий тип з’єднання забезпечує деревині можливість компенсувати природні зміни вологості, не створюючи внутрішніх напружень, а алюмінієві нагелі виконують роль внутрішнього армування, підвищуючи стабільність стіни протягом усього періоду експлуатації. У порівнянні з CLT-панелями, які мають клеєні міжшарові з’єднання та монолітну структуру без вентиляційних порожнин, МНМ-панелі демонструють кращу екологічність, природну повітропроникність, ефективніше відведення вологи, знижений ризик перегріву влітку та більш виражені тепло- й звукоізоляційні властивості. Крім того, деревина у панелях зберігає свої природні властивості значно довше, оскільки її структура не порушується впливом клею, а мікровентиляція сприяє стабільності геометричних параметрів упродовж усього життєвого циклу будівлі. Висока точність заводського виготовлення панелей та відсутність «мокрих» процесів дозволяють значно скоротити тривалість будівництва, забезпечуючи швидке зведення коробки будинку та мінімізуючи залежність від погодних умов.

Висновки

Отже, технологія Massiv-Holz-Mauer є ефективним, екологічно чистим, технологічно гнучким та енергоефективним рішенням для сучасного малоповерхового будівництва, здатним забезпечити довговічність конструкцій, здоровий мікроклімат у приміщеннях та високий рівень комфорту при оптимальних витратах на експлуатацію. Її конструктивні особливості дають підстави вважати МНМ однією з найбільш перспективних альтернатив традиційним і клеєним технологіям з використанням деревини, особливо з огляду на сучасні вимоги до екологічності, сталого розвитку та підвищення енергоефективності житла.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. https://atmwood.com.ua/2019/04/29/mhm-paneli-xarakteristiki-i-ispolzovanie-v-domostroenii/
2. https://www.hundegger.com/ru/sistemy/massiv-holz-mauer
3. https://derevynnyk.com/tehnologiya-massiv-holz-mauer-stvoreno-v-nimechchyni/

Бойчук Віталій Миколайович - доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри будівництва, міського господарства і архітектури Вінницького національного технічного університету м. Вінниця, Україна; boichuk1974@ukr.net, https://orcid.org/0000-0002-1082-3962
Коробочка Артем Миколайович - студент спеціальності «Архітектура і містобудування» факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету; artemkorobocka906@gmail.com, https://orcid.org/0009-0002-7372-589X.
Швець Віталій Вікторович - кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри будівництва, міськогогосподарства та архітектури Вінницького національного технічного університету м. Вінниця, Україна; v.shvets@vntu.edu.ua, https://orcid.org/0000-0002-2748-3685.

Boychuk Vitaliy - Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor of the Department of Construction, Urban Management and Architecture of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine; boichuk1974@ukr.net, https://orcid.org/0000-0002-1082-3962.
Shvets Vitaliy - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine; v.shvets@vntu.edu.ua, https://orcid.org/0000-0002-2748-3685.
Korobochka Artem - student of the specialty "Architecture and Urban Planning" of the Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine; artemkorobocka906@gmail.com, https://orcid.org/0009-0002-7372-589X.

УДК 681.12

Р. В. Наконечний
М. М. Попович

Системи ремонту дорожнього покриття

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Обґрунтовано стратегічну необхідність переходу України від переважно ямкового ремонту до капітального підсилення дорожніх покриттів, оскільки понад 95% доріг мають перевищений термін експлуатації. Для цього проаналізовано інтеграцію високоефективних технологій безперервно армованого бетону (CRCP)[2] та whitetopping[1], які забезпечують довговічність до 40 років та зниження експлуатаційних витрат (LCC) на 60-70%. Запропоновано рекомендації щодо оновлення нормативної бази (ДБН) та негайного впровадження пілотних проєктів CRCP[2], адаптованих до українських реалій.

Ключові слова: біле покриття, ремонт дорожнього покриття, безперервно армований бетон, ресайклінг, композитна арматура .

Abstract

The strategic necessity for Ukraine to transition from predominantly spot repair to capital strengthening of road pavements is substantiated, as over 95% of roads have exceeded their operational lifespan. To achieve this, the integration of high-efficiency technologies, Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)[2] and whitetopping[1], is analyzed; these methods provide durability up to 40 years and reduce Life Cycle Costs (LCC) by 60–70%. Recommendations are proposed for updating the regulatory framework (DBN) and the immediate implementation of CRCP[2] pilot projects adapted to Ukrainian realities.

Keywords:whitetopping, road pavement repair, Continuously Reinforced Concrete Pavement, recycling, composite reinforcement

Вступ

Критичний знос дорожньої мережі України, де понад 95% покриттів вичерпали термін експлуатації, вимагає стратегічного переходу від неефективного ямкового ремонту до капітального підсилення. У зв'язку з цим, метою роботи є обґрунтування та аналіз інтеграції інноваційних систем, таких як CRCP[2] та Whitetopping[1], що забезпечують довговічність до 40 років і суттєве зниження LCC..

Результати дослідження

Однією з найбільш перспективних та економічно обґрунтованих технологій капітального ремонту є Whitetopping[1], що передбачає влаштування цементобетонного покриття поверх існуючого асфальтобетону. Цей підхід дозволяє використовувати старе асфальтобетонне покриття як ефективну основу, що значно знижує витрати на підготовчі роботи та скорочує терміни будівництва.

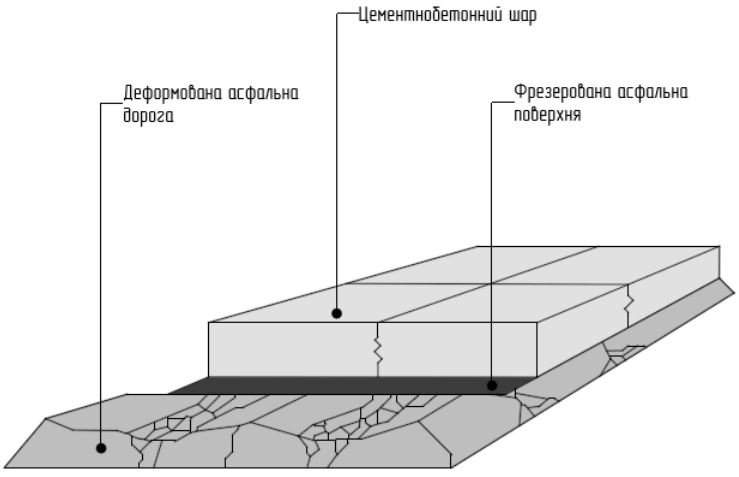


Рис 1. Схема технології Whitetopping

Ключова перевага Whitetopping[1] полягає у високій стійкості до колієутворення, високих температур та довговічності, що досягає 20-30 років. Класифікація цієї технології ґрунтується на товщині нового шару (від Ultra-Thin Whitetopping 50-75 мм до стандартного 280 мм) та методі забезпечення зв’язку: зрощування (з використанням анкерів) або нарощування (без зв'язку). Для підвищення адгезії та довговічності необхідно ретельно підготувати основу, часто застосовуючи інноваційні методи регенерації асфальту, що підвищує загальну надійність дорожнього одягу.

. . . . . .

Висновки

Аналіз довів, що впровадження систем Whitetopping[1] та CRCP[2] є критично важливим для підвищення стійкості дорожньої мережі України, забезпечуючи довговічність до 40 років. Застосування Whitetopping[1] дозволяє ефективно використовувати існуюче асфальтобетонне покриття як основу, мінімізуючи будівельні витрати. Таким чином, обидві технології демонструють економічну перевагу, знижуючи загальні LCC на 60-70% порівняно з традиційними методами ремонту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гамеляк І. П., Кийко О. В., Кравчук В. М., Шульгач В. М. Особливості технології підсилення дорожніх покриттів шарами цементобетону // Дороги і мости. — 2020. — Вип. 22. — С. 63–78.
2. Бондар А. В., Максименко М. А. Перспективи використання технології безперервно армованого бетону в дорожньому будівництві України // Науково-технічний журнал «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». — 2024. — № 2 (36). — С. 60–66.

Наконечний Ростислав Вадимович – студент групи АДВ-23б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: azglagor10@gmial.com

Попович Микола Миколайович – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: popovychnick@gmail.com

Nakonechnyi Rostislav – group ADV-23b, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: azglagor10@gmial.com

Mykola Popovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: popovychnick@gmail.com

УДК 697.7; 697.9

В. С. Томчук
В. В. Швець

ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ СВІТЛОПРОЗОРИХ ФАСАДНИХ СИСТЕМ У СУЧАСНОМУ БУДІВНИЦТВІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті наведено результати експериментального дослідження поведінки світлопрозорих фасадних конструкцій під час пожежі у висотній будівлі. Проведено натурне вогневе випробування навісної світлопрозорої стіни на базі профільної системи ALT F50 з глухим міжповерховим поясом і склопакетами. Визначено критерії руйнування склопакетів, вплив площі віконного прорізу, температурних та вітрових потоків на розвиток пожежі та стійкість конструкцій. Встановлено особливості руйнування склопакетів при різних сценаріях пожежі та критичні температурні режими, що призводять до переходу полум'я на верхні поверхи.

Ключові слова: пожежа, висотна будівля, світлопрозорі конструкції, склопакет, фасад, вогневе випробування, температура, руйнування, ALT F50, безпека.

Abstract

The article presents the results of an experimental study on the behavior of transparent facade structures during a fire in a high-rise building. A full-scale fire test was conducted on a suspended transparent wall based on the ALT F50 profile system with a solid interstory belt and double-glazed units. The criteria for glass unit failure, the influence of window opening area, temperature and wind flows on fire development, and the stability of the structures were determined. The features of glass unit destruction under various fire scenarios and critical temperature regimes leading to flame spread to upper floors were established.

Keywords: fire, high-rise building, transparent structures, insulated glass unit, facade, fire test, temperature, destruction, ALT F50, safety.

Вступ

Теоретичні дослідження показали, що пожежі у висотних будівлях можуть поширюватися з зовнішньої сторони фасаду. З метою отримання експериментальних даних, що дозволяють прогнозувати вплив пожежі на світлопрозорі конструкції фасадів будівель і оцінити їх стійкість в умовах пожежі, було підготовлено та проведено натурне вогневе випробування [1]. Досліджувалася стійкість навісній світлопрозорої стіни виробництва компанії ТОВ «Фототех», на базі профільної системи ALT F50 з глухим міжповерхових поясом висотою 1,2 м і світлопрозорим заповненням склопакетами з листового скла (формула склопакета 6 + 12 + 4 + 12 + 6).

Глухий міжповерховий пояс виконаний відповідно до технічних рішень компанії АЛЮТЕХ. В ході випробування визначалися наступні величини і параметри: критерії руйнування склопакетів при внутрішньому і зовнішньому пожежі; вплив площі віконного прорізу на розмір полум'я і висоту температурних полів, що формуються вздовж площини фасаду; температура і потужність теплових потоків, що створюються в безпосередній близькості від світлопрозорого заповнення всередині приміщення, розташованого над приміщенням вогнища пожежі; вплив вітрових (конвективних) потоків, спрямованих уздовж фасаду будівлі на розміри температурних полів, що формуються вздовж площини фасаду.

Основна частина

Відповідність проведеного випробування розробленої програми і методики підтверджується комісією присутньої на випробуванні. Комісія зазначає, що випробування виконано на високому науково-технічному рівні. Отримані результати є науковою новизною, напрямок досліджень актуальний і вимагає додаткових досліджень з оцінки способів захисту світлопрозорих фасадів в умовах пожежі [2].

Фактори зовнішнього середовища під час випробувань. Швидкість повітряних потоків уздовж площини фасаду, яка визначається на рівні світлопрозорого заповнення першого поверху, становила

3 м/с. Температура навколишнього середовища в ході всього випробування була в межах 5,9-7,3 ° С, швидкість вітру не перевищувала 0,6 м/с. Результати вимірювань середньооб'ємної температури пожежі представлені на рисунку 1.

Апроксимуємо отримані результати, представимо їх у вигляді лінійної залежності, з деяким коефіцієнтом достовірності R_2.

Зростання температури всередині приміщення в часі:

$T = 25,3t + Тн$ $R_2 = 0,97$

де Т - температура, ° С;

t - час, хв; Тн - початкова температура, ° С;

Поведінка склопакета при наростаючій динаміці пожежі була наступна: перші тріщини на внутрішньому склі з'явилися на 8 хвилині, на 11 хвилині з'являються тріщини на другому склі, а на 16 хвилині відбувається випадання фрагментів внутрішнього скла і з'являється тріщина на зовнішньому склі, на 25 хвилині тріщина розходиться по всій ширині скла і з неї починає проникати дим, на 33 хвилині відбувається випадання фрагментів зовнішнього скла (розмір фрагментів 5 × 5 см), а на 38 хвилині випадає фрагмент скла, утворюючи наскрізний отвір площею 0,5 м2, через яке відбувається викид полум'я назовні [2-4].

Руйнування склопакета віконного заповнення відбулося при досягненні середньооб'ємної температури всередині приміщення вогнища пожежі 830 ° С.

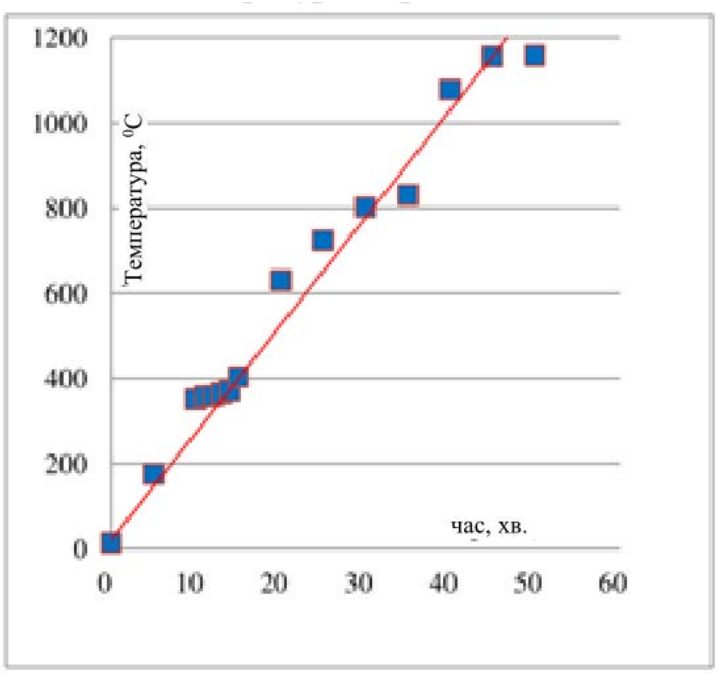


Рис. 1. Параметри розвитку пожежі: температурний режим

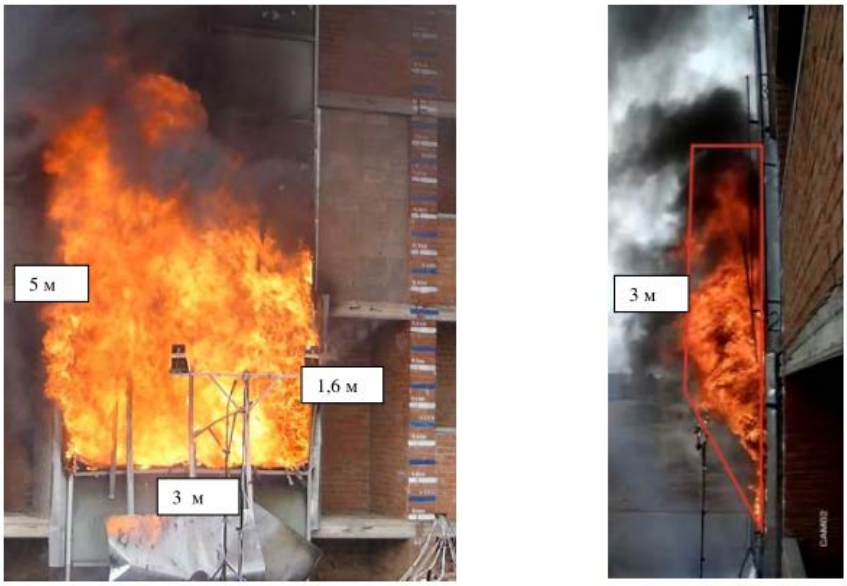
Аналіз динаміки зростання температурних полів уздовж площини фасаду починається з моменту виходу полум'я з приміщення вогнища пожежі назовні.

Аналіз відеоряду дозволив встановити характер поведінки склопакета після виходу полум'я на фасад будівлі. В результаті різкого зростання температури уздовж площини фасаду склопакети фасаду починають руйнуватися вже через чотири хвилини після виходу полум'я назовні. Так, на 41 хвилині руйнується зовнішнє загартоване скло міжповерхового поясу, на 42 хвилині зовнішнє скло другого поверху тріскається по всій ширині, на 43 хвилині зовнішнє скло другого поверху руйнується і випадає, а на 45 хвилині склопакет другого поверху руйнується повністю, утворюється наскрізний отвір, через який пожежа переходить на другий поверх.

На другому поверсі загоряється ситцева фіранка, розміщена на відстані 200 мм від площини віконного отвору. Проведений експеримент дозволив встановити суттєві відмінності в характері поведінки світлопрозорих конструкцій при тепловій дії від пожежі, що розвивається всередині приміщення і пожежі, що виходить з віконного отвору, в період максимального розвитку пожежі. У

період максимального розвитку пожежі полум'я, що виходить назовні, має високий імпульс впливу на фасад будівлі.

Температура і тепловий потік вже на виході мають критичні для світлопрозорих конструкцій значення, що призводить до динамічного нагріву склопакетів, їх руйнування і переходу полум'я на вище розташовані поверхи [5]. Встановлено, що висота полум'я пожежі в ході експерименту склала 3 м, в окремі нетривалі моменти викид полум'я фіксувався на рівні 5 м (рисунок 2).



а) б)

Рис. 2. Характерні розміри полум'я при виході з отвору 3 × 1,6 м:
а) максимальний викид 5 м; б) стабільний полум'я на рівні 3 м

За результатами вимірювань температурних полів, які розподіляються вздовж площини фасаду будівлі, встановлено, що температура в районі віконного заповнення другого поверху змінюється від 600 до 650 ° С (рисунок 3).

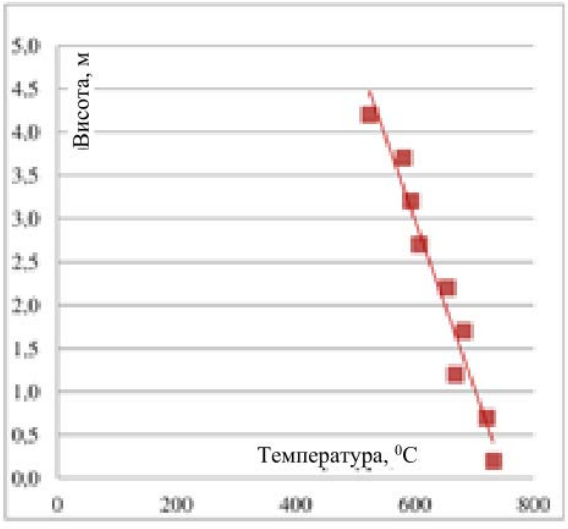


Рис. 3. Розподіл температури вздовж площини фасаду при виході полум'я назовні в період максимального розвитку пожежі

Висновки

Проведене дослідження підтвердило, що світлопрозорі фасадні конструкції є вразливими до впливу пожежі, особливо при виході полум'я назовні через віконні прорізи. Встановлено, що руйнування склопакетів відбувається при досягненні температури близько 830 °C, а подальший розвиток пожежі сприяє швидкому переходу полум'я на верхні поверхи. Отримані результати мають наукову новизну, підтверджують актуальність проблеми та вказують на необхідність подальших досліджень і розробки ефективних способів захисту світлопрозорих фасадів у висотних будівлях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Eizaguirre-Iribar A., Trifonova R. S., Ens P., Olano-Azkune X. Fire Safety of Curtain Walling: Evidence-Based Critical Review and New Test Configuration Proposal for EN 1364-4 // Fire. 2025. Vol. 8, No. 8. P. 311. DOI: 10.3390/fire8080311. URL: https://www.mdpi.com/2571-6255/8/8/311
2. Wang D., Ju X., Gui J. та ін. Full-Scale Experimental Study on the Integrity of Tempered Glass Protected by Different Sprinkler Systems in High-Rise Building Fire // Fire Technology. 2023. Vol. 59. P. 1465–1488. DOI: 10.1007/s10694-023-01393-9. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s10694-023-01393-9
3. Maiboroda R., Rashkevich N., Otrosh Yu., Kirichenko D. Research of the Stability of Transparent Facade Structures under the Influence of High Temperatures // Municipal economy of cities. 2024. No. 6 (187). P. 224–232. DOI: 10.33042/2522-1809-2024-6-187-224-232. URL: https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6412
4. Bode F., Simion A., Anghel I., Sandu M., Banyai D. Enhancing Fire Safety: Real-Scale Experimental Analysis of External Thermal Insulation Composite System Façades' Behavior in Fire // Fire. 2023. Vol. 6, No. 12. P. 451. DOI: 10.3390/fire6120451. URL: https://www.mdpi.com/2571-6255/6/12/451
5. Smirnov M. I., Minaeva I. A. Fire Safety of Glazing — Updated Mandatory Requirements. A Review // Glass and Ceramics. 2024. Vol. 81. P. 298–303. DOI: 10.1007/s10717-024-00700-2. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s10717-024-00700-2

Томчук Віталій Станіславович – студент 2-го курсу магістратури, група 1БМ-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, kalashVE@gmail.com

Швець Віталій Вікторович – к.т.н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

Tomchuk Vitalii – 2nd year master's student, group 1BM-24m, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, kalashVE@gmail.com

Shvets Vitaliy – Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture Vinnitsa National Technical University, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

УДК 624.04

А. А. Ткачук
Н. В. Блащук

ПІДБІР РАЦІОНАЛЬНОГО КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ МОНОЛІТНОЇ ПЛИТИ ПЕРЕКРИТТЯ У СПОРУДАХ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі виконано підбір раціонального конструктивного рішення монолітної плити перекриття у споруді подвійного призначення шляхом прикладання навантаження від ударної хвилі та зміни товщини плити перекриття і марки бетону. Проведено порівняльний розрахунок плит перекриття з різними товщинами в програмному комплексі ЛІРА-САПР. Проаналізовано вплив вибухової хвилі на плиту перекриття та зміни після коригування товщини плити перекриття та марки бетону.

Результати показали, що збільшення відсотка армування по верхній грані плити суттєво впливає на зменшення згинальних моментів та підвищення тріщиностійкості, тоді як армування нижньої грані забезпечує рівномірність роботи плити та зниження прогинів. Оптимальне співвідношення товщини плити, класу бетону та відсотка армування дозволяє досягти раціонального конструктивного рішення з точки зору надійності та матеріаломісткості.

Ключові слова: підбір, конструктивне рішення, монолітна плита перекриття, багатоповерхова будівля, споруди подвійного призначення, розподіл навантажень, ударна хвиля, економічність.

Abstract

The paper presents a selection of rational structural solutions for monolithic floor slabs in dual-purpose buildings by applying shock wave loads and varying the thickness of floor slabs and concrete grades. A comparative calculation of floor slabs with different thicknesses was performed in the LIRA-CAD software package. The effect of the shock wave on the floor slab and changes after adjusting the thickness of the floor slab and concrete grade were analyzed.

The results showed that increasing the percentage of reinforcement on the upper edge of the slab significantly reduces bending moments and increases crack resistance, while reinforcing the lower edge ensures uniform slab performance and reduces deflection. The optimal ratio of slab thickness, concrete grade, and reinforcement percentage allows for a rational design solution in terms of reliability and material consumption.

Key words: selection, structural design, monolithic floor slab, multi-story building, dual-purpose structures, load distribution, shock wave, cost-effectiveness.

Вступ

Сучасна будівельна галузь перебуває в умовах постійного зростання вимог до надійності, економічності та екологічної ефективності конструкцій. Особливої актуальності набуває проєктування споруд подвійного призначення, які мають забезпечувати функціонування як у звичайних умовах, так і в екстремальних ситуаціях — зокрема, як захисні укриття. У таких спорудах монолітні плити перекриття відіграють ключову роль у забезпеченні несучої здатності, жорсткості та тріщиностійкості конструктивної системи [1].

У межах дослідження проведено аналіз трьох варіантів плити перекриття зі змінними товщинами, марками бетону та з наданням впливу від вибухової хвилі на дану плиту перекриття. Порівняння виконано за основними показниками роботи конструкції: значеннями згинальних

моментів, прогинів та обсягом необхідного армування. Це дозволяє оцінити ефективність запропонованого підходу та визначити його практичну доцільність для застосування в проєктуванні багатоповерхових будівель з спорудами подвійного призначення.

Виклад основного матеріалу дослідження

Підбір раціонального конструктивного рішення плити перекриття передбачає аналіз армування плити перекриття, що виникає при додаткових навантаженнях від ударної хвилі та при зміні товщини плити перекриття і марки бетону. Для забезпечення достовірності розрахунків та врахування реального розподілу навантажень, дослідження виконувалось на основі просторової моделі повної будівлі, створеної у програмному комплексі ЛІРА-САПР. Модель представляє собою 10-поверховий житловий будинок із технічним поверхом та підземним паркінгом, що дозволяє врахувати вплив вертикальних та горизонтальних навантажень на плиту перекриття в умовах реальної експлуатації.

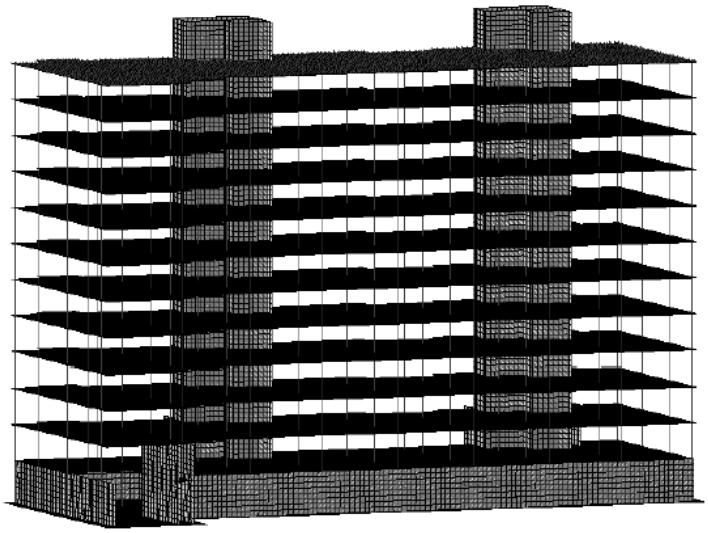


Рис. 1. Просторова розрахункова модель будівлі в середовищі ПК «ЛІРА САПР»

Було проведено порівняльне моделювання трьох варіантів плити перекриття в програмному комплексі ЛІРА-САПР: плита перекриття з товщиною 400 мм та маркою бетону В25, 350мм та маркою бетону В25 та 350мм та маркою бетону В30 та навантаженням на плиту перекриття від ударної хвилі [2].

1. Аналіз вихідної моделі плити перекриття товщиною 400мм, маркою бетону В25.

На першому етапі виконано моделювання монолітної плити перекриття у багатоповерховій будівлі з монолітним каркасом [3]. Модель включала елементи жорсткості, навантаження від конструкцій надземної частини та ударної хвилі.

При моделюванні базового варіанту плити перекриття, плита товщиною 400 мм і маркою бетону В25, було прикладено навантаження від ударної хвилі та виконано розрахунок армування даної плити. З представлених розрахунків видно необхідну площу армування для цього варіанту.

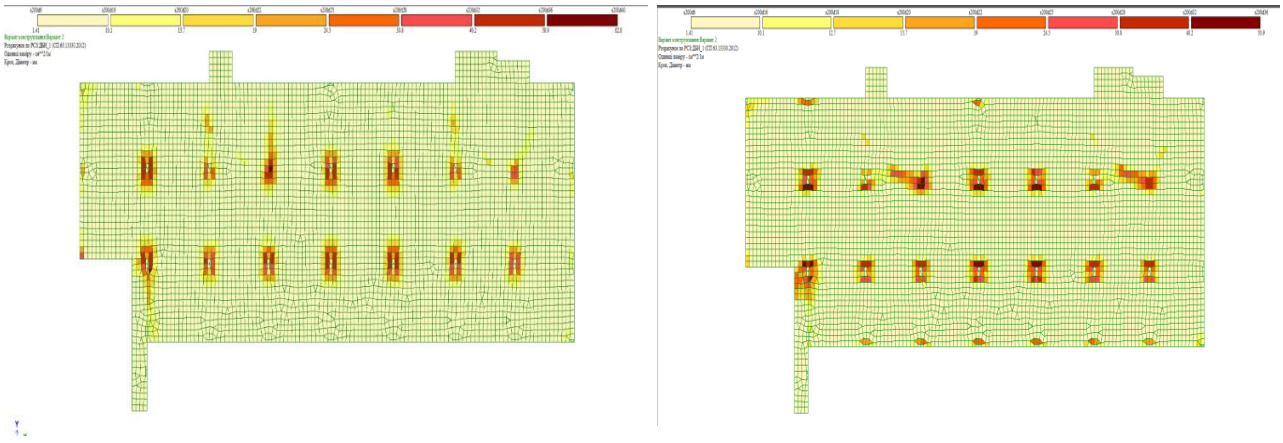


Рис. 2. Мозаїка верхнього армування плити перекриття товщиною 400 мм та маркою бетону В25 по осі Х,У

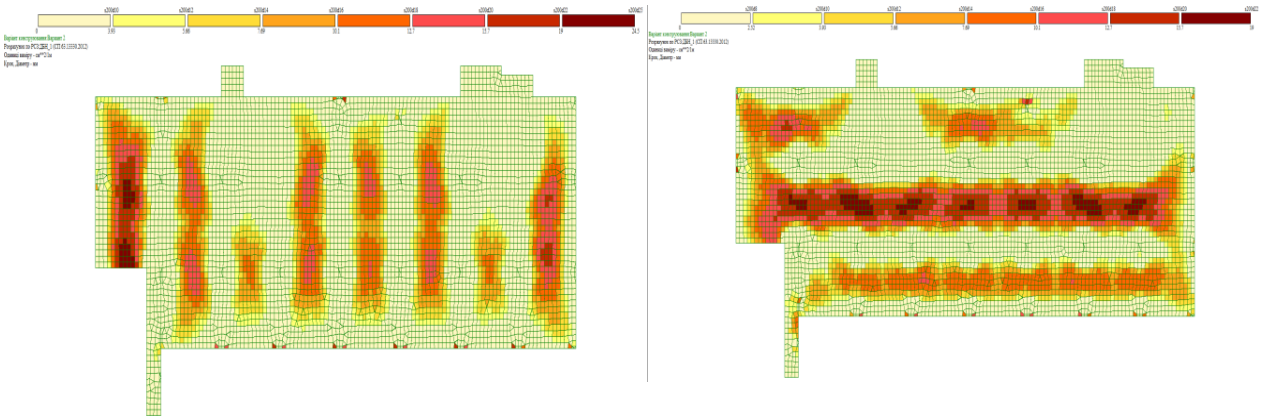


Рис. 3. Мозаїка нижнього армування плити перекриття товщиною 400 мм та маркою бетону В25 по осі Х,У

2. Аналіз моделі плити перекриття товщиною 350 мм, маркою бетону В25.

На основі попередніх розрахунків відбулось зменшення товщини для того ,щоб проаналізувати армування та визначити оптимальний варіант. До плити перекриття було прикладено навантаження від ударної хвилі та виконано розрахунок даної плити.

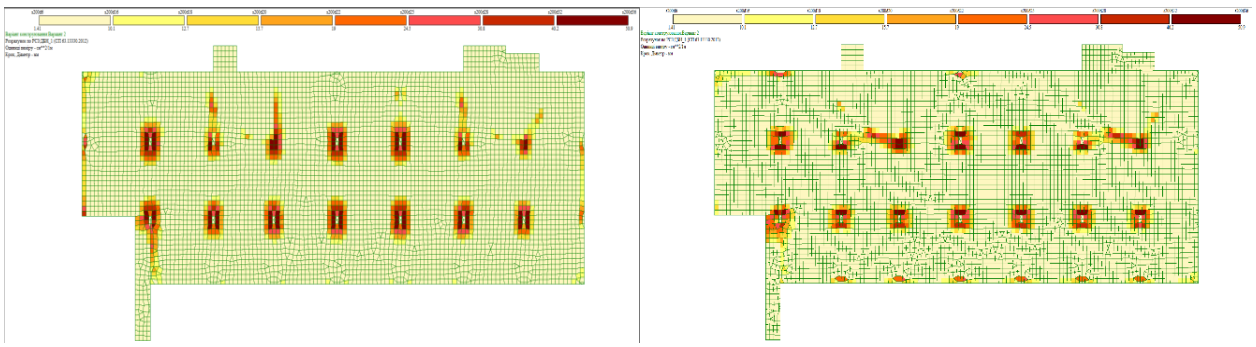


Рис. 4. Мозаїка верхнього армування плити перекриття товщиною 350 мм та маркою бетону В25 по осі Х,У



Рис. 5. Мозаїка нижнього армування плити перекриття товщиною 350 мм та маркою бетону В25 по осі Х,У

2. Аналіз моделі плити перекриття товщиною 350 мм, маркою бетону В30.

В даному розрахунку відбулась зміна товщини плити перекриття та збільшення марки бетону для того ,щоб проаналізувати армування та визначити оптимальний варіант. До плити перекриття було прикладено навантаження від ударної хвилі та виконано розрахунок даної плити.

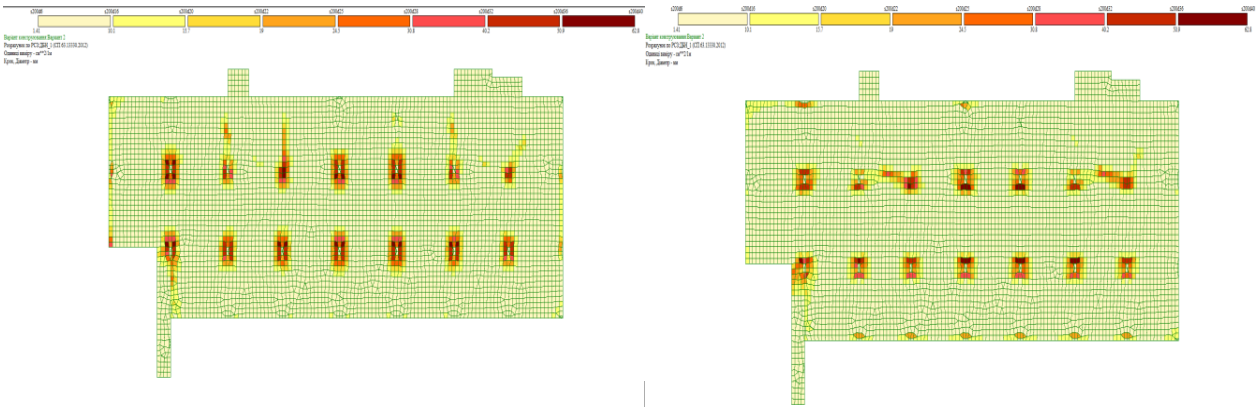


Рис. 6. Мозаїка верхнього армування плити перекриття товщиною 350 мм та маркою бетону В30 по осі Х,У

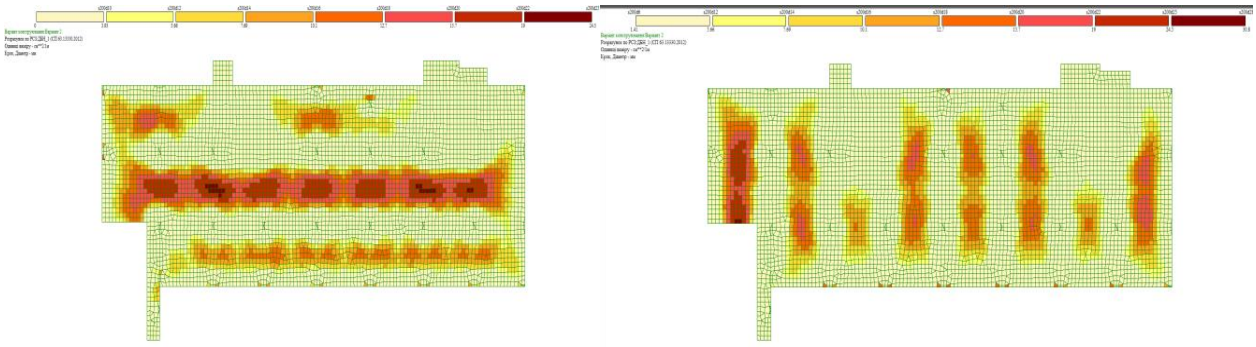


Рис. 7. Мозаїка нижнього армування плити перекриття товщиною 350 мм та маркою бетону В30 по осі Х,У

3. Порівняння трьох варіантів конструктивного рішення плит перекриття

Для оцінки впливу конструктивних параметрів на роботу плити перекриття було побудовано діаграму розподілу відсотка армування по верхній та нижній гранях у напрямках x та y, що дозволило здійснити порівняльний аналіз трьох варіантів плит за критеріями жорсткості, тріщиностійкості та матеріаломісткості.

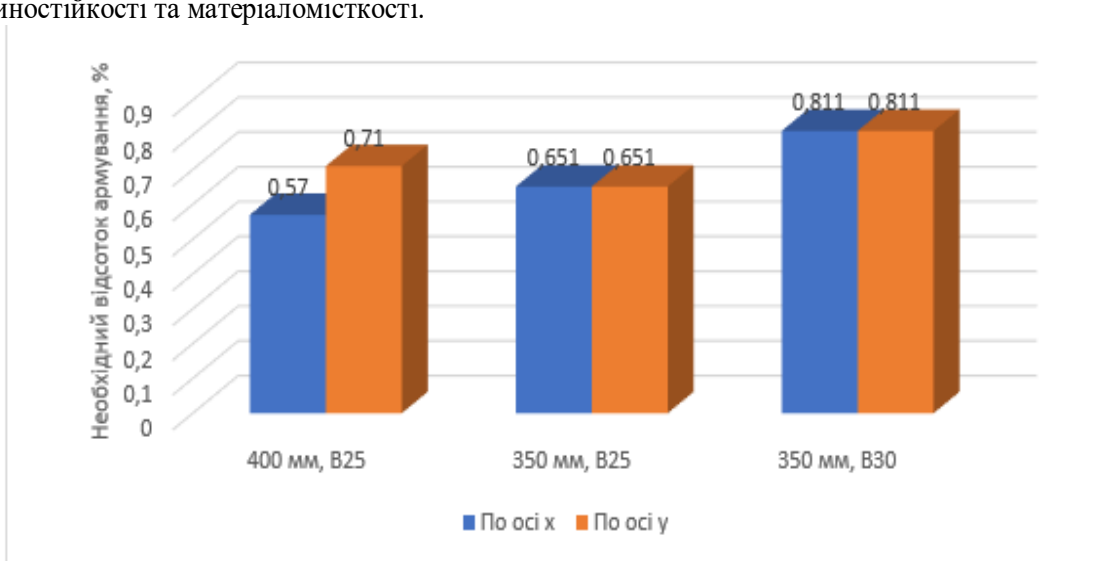


Рис. 8. Середнє значення відсотку армування у верхній грані плити перекриття при різній товщині плити та марці бетону

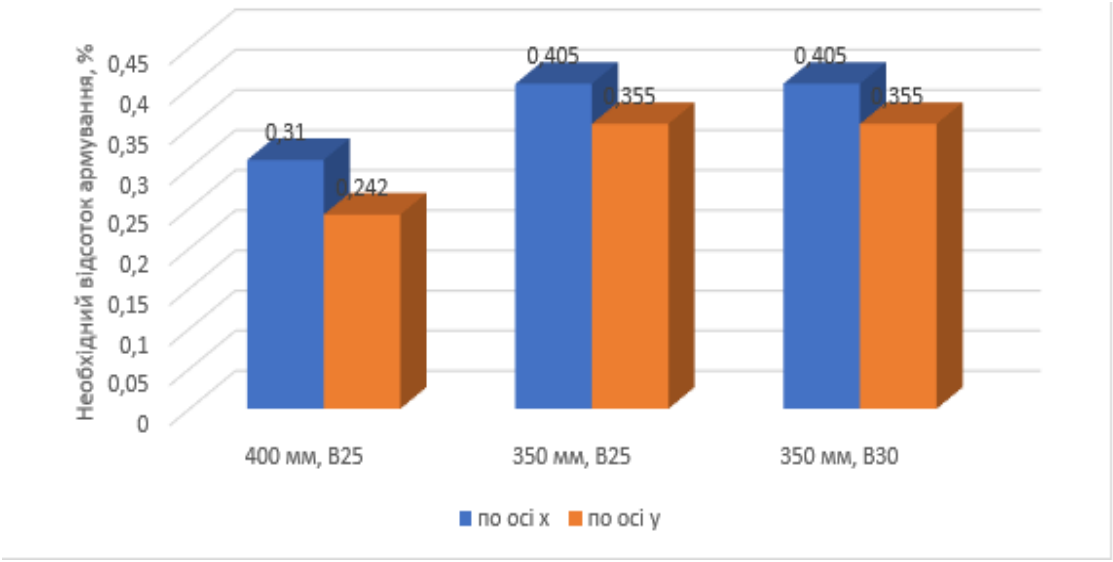


Рис. 9. Середнє значення відсотку армування у нижній грані плити перекриття при різній товщині плити та марці бетону

Плита товщиною 400 мм з бетону B25 (варіант 1) забезпечує базову несучу здатність, однак характеризується підвищеною матеріаломісткістю та меншою ефективністю використання арматури. Незважаючи на допустимі показники прогинів і напружень, нижчий клас бетону та мінімальне армування нижньої грані обмежують її тріщиностійкість.

Плита товщиною 350 мм з бетону B25 (варіант 2) продемонструвала оптимальний баланс між товщиною, рівномірним армуванням (верхня грань: 0,651%, нижня: до 0,405%) та

економічністю. Вона забезпечує рівномірний розподіл напружень, зменшення прогинів і відповідає нормативним вимогам для цивільних споруд.

Плита товщиною 350 мм з бетону В30 (варіант 3) з підвищеним армуванням верхньої грані (0,811%) показала найкращі результати з точки зору тріщиностійкості, жорсткості та резерву несучої здатності. Такий варіант є доцільним для використання у спорудах подвійного призначення, де важлива надійність при аварійних чи екстремальних навантаженнях.

Таким чином, раціональним конструктивним рішенням для перекриттів у спорудах подвійного призначення є плита товщиною 350 мм з бетону В30 із підвищеним армуванням верхньої грані, що забезпечує необхідну жорсткість, тріщиностійкість та експлуатаційну безпеку при помірному рівні матеріаломісткості.

Даний підхід дозволяє досягти оптимального співвідношення між надійністю, економічністю та експлуатаційною безпекою, що є ключовими критеріями при проєктуванні сучасних будівель із підвищеними вимогами до міцності та довговічності.

Висновки

У межах дослідження було здійснено поетапний аналіз трьох варіантів монолітних плит перекриття для споруд подвійного призначення з урахуванням різної товщини, класу бетону та відсотка армування. Результати моделювання в середовищі ЛІРА-САПР показали, що конструктивні характеристики плити суттєво залежать від поєднання геометричних параметрів і раціонального розміщення арматури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. – Київ: Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023.
2. ДБН В.1.2-2:2006. *Навантаження і впливи. Норми проектування*. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2006.
3. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009.

Ткачук Аліна Андріївна — студентка 2-го курсу магістратури, група 1Б-24м, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: alinatkachukk@gmail.com

Науковий керівник: ***Блащук Наталя Вікторівна*** — к. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: blaschuk@vntu.edu.ua

Tkachuk Alina Andriivna — 2nd year master's student, group 1B-24m, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: alinatkachukk@gmail.com

Supervisor***: Natalia Blaschuk*** - candidate. Sc., assistant professor of department of construction, architecture and municipal economy, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa, e-mail: blaschuk@vntu.edu.ua

УДК 697.1:697.3:536.2

Д. І. Стаднюк
В. М. Андрухов

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЧИСЛОВИХ МОДЕЛЮВАНЬ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі представлено оцінку конструктивних рішень кутів існуючих цегляних багатоповерхових будівель на предмет оцінки енергоефективності та запропоновано можливі варіанти утеплення для досягнення максимально можливого ступеню енергетичної ефективності. Також в ході реалізації дослідження було виконано числове моделювання існуючих варіантів конструктивних рішень зовнішнього кута стін без утеплення.

Ключові слова: енергоефективность, моделювання,числове моделювання, дослідження, цегляні кути, теплові потоки.

Abstract

The work assessed the structural solutions of the corners of brick multi-storey buildings for energy efficiency and proposed insulation options with the maximum possible energy efficiency. (in the sense of existing, operated buildings), and also during the implementation of the study, numerical modeling of existing variants of structural solutions of the external corner of the walls was performed. (without insulation).

Keywords: energy efficiency, modeling, numerical modeling, research, brick corners, heat flows.

Вступ

Підвищення енергоефективності житлових будівель є одним із ключових завдань сучасного будівництва, оскільки теплова поведінка огороджувальних конструкцій безпосередньо визначає рівень енергоспоживання та експлуатаційні витрати на будівлі. З урахуванням тенденцій до посилення нормативних вимог щодо питомих тепловтрат і підвищення термічного опору конструкцій виникає потреба у високоточних методах аналізу теплопередачі.

Числове моделювання теплових потоків, засноване на розв’язанні рівнянь теплопровідності та суміжних фізичних процесів, забезпечує можливість детального дослідження термічного стану огороджувальних елементів у стаціонарних та нестаціонарних режимах. Використання скінченноелементних або скінченно-різницевих методів дозволяє визначити просторовий розподіл температури, локалізувати зони концентрації тепловтрат, оцінити вплив геометричних і матеріальних параметрів конструкцій, а також проаналізувати ефективність варіантів термомодернізації.

Виклад основного матеріалу дослідження

У роботі виконано комплексне числове моделювання процесів теплопровідності та тепломасоперенесення у багатошарових огороджувальних конструкціях зовнішніх кутів цегляних будівель, що експлуатуються. Метою дослідження стало оцінювання енергоефективності існуючих конструктивних рішень та визначення раціональних варіантів термомодернізації на основі аналізу температурних полів та теплових потоків.

1.Вихідні дані та методологія моделювання.

Моделювання виконувалося для умов експлуатації будівлі при внутрішній температурі +20 °C та температурі найбільш холодної п’ятиденки – 23 °C. Розглянуто кутові ділянки зовнішніх стін завтовшки 510 мм із силікатної цегли з внутрішнім шаром цементно-піщаної штукатурки завтовшки 20 мм. Теплофізичні характеристики матеріалів відповідають довідковим значенням:

– штукатурка $\lambda = 0.93$ Вт/(м·К);

– силікатна цегла $\lambda = 0.87$ Вт/(м·К).

Числове моделювання виконано методом кінцевих елементів у середовищі ЛІРА-САПР із використанням імпортованих DXF- підложок геометрії. Для кожного варіанта побудовано детальні КЕ-сітки з кількістю елементів від 13 000 до понад 19 000.

№ п / п	Назва задачі	Товщина цегляної стіни, мм	Температура на внутрішній поверхні стіни на відстані 1000 мм від кута, °С	Температура на внутрішній поверхні стіни в куті, °С	Температура на зовнішній поверхні стіни на відстані 1000 мм від кута, °С	Температура на зовнішній поверхні стіни в куті, °С	Товщина стіни прогрітої до плюсової температури, на відстані 1000 мм від кута, мм	Товщина стіни НЕ прогрітої до плюсової температуриив куті, мм	Температура на внутрішній поверхні стіни в куті, °С	Температура на зовнішній поверхні стіни в куті, °С	Примітки
Варіанти без утеплювача											
1	Тест-1	510 +20	13.5	7.72	-20.6	-21.3	≅200	≅100	7.72	-22.9	
2	Тест-2	510 +20	13.5	7.88	-20.6	-21.1	≅200	≅100	7.88	-22.9	
3	Тест-3	510 +20	13.5	8.0	-20.6	-21.8	≅210	≅110	8.0	-22.9	
Варіанти з утеплювачем (термомодернізація)											
4	Тест-4	150+5 10+20	18.7	16.7	-22.6	-22.6	≅570	≅100	16.7	-23.0	
5	Тест-5	50+15 0+510 +20	18.7	17.0	-22.6	-22.5	≅575	90	17.0	-23.0	
6	Тест-6	50+15 0+510 +20	18.7	17.1	-22.6	-22.7	≅585	90	17.1	-23.0	

2.Моделювання існуючих конструкцій без утеплення

Проаналізовано три базові варіанти існуючих вузлів (Тест-1, Тест-2, Тест-3), які відрізнялися наявністю та довжиною локального потовщення в зоні кута. Для всіх варіантів отримано подібні температурні картини:

• температура внутрішньої поверхні стіни на відстані 1 м від кута становить 13.5 °C, що нижче нормативного значення 16.0 °C згідно з п. 5.4 ДБН В.2.6-31; (1)

• температури у внутрішньому куті ще нижчі (7.7–8.0 °C), що свідчить про значне теплове ослаблення;

• стіна не прогрівається на значну частину товщини (до 100–110 мм зі сторони кута);

• локальне потовщення цегляної кладки (65 мм) практично не впливає на температуру: приріст становить лише ≈0.28 °C.

Отримані результати показують, що існуючі конструктивні рішення не відповідають сучасним вимогам енергоефективності та не забезпечують нормативних температур внутрішньої поверхні.

3.Моделювання варіантів термомодернізації (утеплення існуючих будівель)

Досліджено три варіанти утеплення зовнішніх стін мінераловатними або екструдованими плитами товщиною 150 мм та додатковими вставками утеплювача у зоні кута (Тест-4, Тест-5, Тест-6). Результати засвідчили:

• при суцільному утепленні 150 мм температура внутрішньої поверхні становить 16.7 °С у куті та 18.7 °С на рівній ділянці, що повністю відповідає нормам; (1)

• уся товщина цегляної стіни знаходиться в зоні позитивних температур, а зона мінусових температур зміщується всередину утеплювача;

• додаткові локальні утеплювальні вставки в куті (50–200 мм) не дають істотного підвищення температури, тобто є енергетично неефективними.

Таким чином, основним ефективним заходом при термомодернізації є суцільне погонне утеплення 150 мм, тоді як локальні підсилення шару утеплювача не мають практичної доцільності.

Висновки

За результатами числового моделювання тепломасоперенесення в зовнішніх стінах (куті з'єднання та прилеглих ділянок) в багатошарових огороджуючих будівельних конструкціях (за відсутності утеплення).

1. Картина температурних полів огороджуючих елементів цегляної будівлі, як в середині приміщень так і з зовнішньої сторони, не відповідає вимогам сьогоднішніх ДБН, а саме:
   - ✓ температура внутрішньої поверхні стіни (на відстані 1000 мм від кута і далі) дорівнює 13.5 ^{0}С, що не відповідає вимогам п.5.4 [1], за вимогами цього пункту мало б бути не менше 16.0 ^{0}С;
   - ✓ температура внутрішньої поверхні стіни (в куті) менше, більше, а ніж в два рази, що мало б бути за вимогами п.5.4 [1];
   - ✓ температура зовнішньої поверхні стіни (на відстані 1000 мм від кута і далі) дорівнює – 20.5 ^{0}С, при температурі навколишнього середовища - 23.0 ^{0}С, що свідчить про те, що теплова енергія витрачається для обігріву навколишнього середовища;
2. Наявність потовщення кута стінки цегляним муруванням на 65 мм, в плані енергозбереження, не є ефективним та не залежить від довжини такого потовщення. В куті стінки таке інженерне рішення призводить до підвищення температури внутрішньої поверхні на 0.28 ^{0} С, що в практичному сенсі не раціонально та не суттєво.
3. Існуючий попередній досвід (історично напрацьований) зведення зовнішніх конструктивних елементів будівлі не відповідає вимогам ДБН і не може бути застосований в інженерній практиці на сьогодні для нового будівництва.
4. Для приведення до відповідності вимогам ДБН, існуючих будівель вкрай необхідна термомодернізація.
5. Для зведення нових будівель необхідним є розробка нових інженерно-конструктивних рішень.
6. Оцінка енергоефективності інженерно-конструктивних рішень, при термомодернізації можлива та доцільна методами числового моделювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція та енергоефективність будівель".

2.ДСТУ 9191:2022 "Теплоізоляція будівель. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель".

Стаднюк Дмитро Ігорович - студент групи 2Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email:ditrultimof69346@gmail.com

Науковий керівник: ***Андрухов Валерій Михайлович*** - доцент, кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email:andruchov@vntu.edu.ua

Stadnyuk Dmytro - student of group 2B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail:ditrultimof69346@gmail.com

Scientific supervisor: ***Andruchov Valeriy*** - associate professor, Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: andruchov@vntu.edu.ua

УДК 697.7; 697.9

Є. В. Мусієнко
В. В. Швець

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезі розглядаються методи вдосконалення торгово-офісних будівель шляхом інтеграції альтернативних джерел енергії. Зроблено акцент на енергоефективності, зниженні викидів вуглецю та економічній вигідності таких рішень. Проаналізовано сучасні тенденції, технології та практичні аспекти використання відновлених джерел енергії, таких як сонячна, вітрова та геотермальна енергія.

Ключові слова: альтернативні джерела енергії, енергоефективність, торгово-офісні будівлі, відновлена енергія, сонячні панелі, вітрові турбіни, геотермальна енергія, зелена архітектура, зниження вуглецевих віків, сталий розвиток, енергозбереження, інтегровані системи.

Abstract

The thesis examines methods for improving commercial and office buildings by integrating alternative energy sources. Emphasis is placed on energy efficiency, carbon emission reduction, and cost-effectiveness of such solutions. Current trends, technologies, and practical aspects of using renewable energy sources, such as solar, wind, and geothermal energy, are analyzed.

Keywords: alternative energy sources, energy efficiency, commercial and office buildings, renewable energy, solar panels, wind turbines, geothermal energy, green architecture, carbon reduction, sustainable development, energy conservation, integrated systems.

Вступ

Зростання енергоспоживання в торгово-офісних будівлях стає значним викликом у контексті сучасних екологічних і економічних тенденцій. Використання традиційних джерел енергії спричиняє не тільки високу вартість утримання будівель, але й негативний вплив на довкілля через високі викиди вуглецю [1]. Це зумовлює потребу в інтеграції альтернативних джерел енергії для вдосконалення таких об'єктів.

Торгово-офісні будівлі є особливо перспективними для впровадження інноваційних енергетичних проектів, оскільки їхні та функціональні особливості можуть інтегрувати сучасні системи відновлюваної енергетики. Ця стаття досліджує основні аспекти використання альтернативних джерел енергії в таких будівлях, аналізує переваги й виклики цього підходу та окреслює перспективи його застосування.

Основна частина

Інтеграція альтернативних джерел енергії в торгово-офісній будівлі стає єдиною із ключових напрямків їхнього вдосконалення. Сучасні технології можуть значно підвищити енергоефективність і знизити експлуатаційні витрати таких об'єктів. Основними джерелами енергії, які можуть використовуватися, є сонячна, вітрова та геотермальна енергія, а також енергія біомаси.

Сонячна енергія є одним із найбільш розширених рішень завдяки доступності технологій і простоті їх впровадження. Сонячні панелі можна встановлювати на дачах і фасадах будівель, що дозволяє ефективно використовувати площі, які остаточно залишаються не задіяними. Наприклад, установка фотогальванічних панелей у великих торгово-офісних центрах здатна забезпечити значну частину енергетичних потреб будівлі, особливо в сонячних регіонах України [2].

Вітрова енергія є ще одним перспективним джерелом. У регіонах із постійними вітрами використання компактних вітрових турбін може забезпечити додаткову генерацію енергії. Інтеграція таких систем у конструкцію будівель сприяє створенню ефективної енергетичної інфраструктури. виключно, ці вітрові турбіни можуть бути встановлені на відкритих територіях поруч із будівництвом.

Геотермальна енергія дозволяє використовувати тепло землі для обігріву або охолодження будівель. Геотермальні теплові насоси є ефективним рішенням для забезпечення комфортних умов у приміщеннях, знижуючи при цьому витрати на опалення та кондиціонування. Цей метод є особливо актуальним для великих торгово-офісних об'єктів, які мають стабільну потребу в енергії.

Для забезпечення максимальної ефективності використання альтернативних джерел енергії створюється впровадження інтегрованої системи управління енергоспоживанням. Наприклад, системи «розумного будинку» не можуть оптимізувати використання енергії залежно від потреб будівлі, отримання часу або погодних умов [3]. У таких системах альтернативні джерела енергії можуть працювати в поєднанні з традиційними джерелами, що забезпечує стабільність енергозабезпечення.

Екологічні переваги вдосконалення торгово-офісних будівель за допомогою альтернативної енергетики є очевидними. Зниження викидів вуглекислого газу сприяє боротьбі зі змінами клімату, а зменшення незалежності від викопного палива створює енергетичну незалежність регіону. Крім того, використання відновлених джерел енергії покращує імідж компаній, які орендують або володіють такими будівлями, що може стати кількома маркетинговим інструментом.

Не менші є економічні вигоди. Хоча початкові інвестиції у впровадження системи альтернативної енергетики можуть бути високими, вони швидко окупаються за рахунок зниження витрат на енергоспоживання. Більше того, у багатьох країнах, поєднаних з Україною, існують програми державної підтримки, що стимулюють впровадження енергозберігаючих технологій.

Протест, впровадження альтернативної енергетики в торгово-офісній будівлі стикається з певними викликами. Серед них – висока вартість сучасного обладнання, потреба в спеціалізованих фахівцях для його обслуговування, а також обмежена обізнаність власників будівель щодо переваг таких технологій [4]. Для подолання цих проблем необхідно розвинути інформаційну підтримку, навчальні програми для фахівців і забезпечити доступ до фінансових ресурсів для реалізації проектів.

Успішні приклади впровадження альтернативної енергетики в торгово-офісних будівлях можна знайти в багатьох країнах світу. Наприклад, у Німеччині та Нідерландах широко використовують енергетично автономні офісні комплекси, які генерують енергію із сонця, вітру та геотермальних джерел. Ці об'єкти лише демонструють високий рівень енергоефективності, але й залишаються еталонами для сучасного будівництва.

Висновки

Інтеграція альтернативних джерел енергії в торгово-офісні будівлі є перспективним напрямком, що дозволяє вирішувати низку екологічних, економічних і соціальних завдань. Використання сонячної, вітрової, геотермальної енергії та інших відновлюваних знижень зниження енергетичних витрат, мінімізації викидів парникових газів та підвищення конкурентоспроможності джерел ринку нерухомості. Розвиток інноваційних технологій і підтримка з боку держави створюють сприятливі умови для широкого впровадження таких рішень в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Pedko I. Revitalization of industrial zones of the big city / I. Pedko, A. Pandas In Economic and Social Develop ment (Book of Proceedings) // 32nd International Scientific Conference on Economic and Social. — 2018. — p. 174— 180.

2. EPBD recast: Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (recast) / [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energyefficiency?uri=OJ:L:2010:153:SOM:EN:HTML

3. Ferek B. Recycling and reuse of chosenkinds of waste materialsin a building industry / B. Ferek, J. Harasymiuk and J. Tyburski // Mod Tech International Conference – Modern Technologies in Industrial Engineering IV, 15–18 June 2016, Iasi, Romania, Volume 145, 2016

4. Gjerkeš Henrik. Cost and energyefficient modernization of school buildings in Ukraine / Henrik Gjerkeš, Tetiana Rapina, Marjana Šijanec-Zavrl // Svetstrojništva. – 2016. – Vol. 5, no. 1. – P. 14–21.

Мусієнко Євген Васильович – студент 2-го курсу магістратури, група 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, kalashVE@gmail.com

Швець Віталій Вікторович **–** к.т.н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

Musiyenko Yevhen **–** 2nd year master's student, group 1B-24m, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, kalashVE@gmail.com

Shvets Vitaliy **–** Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture Vinnitsa National Technical University, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

УДК 697.7; 697.9

С. С. Майданюк
І. М. Меть

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Обґрунтовано необхідність розробки заходів з енергозбереження для існуючих житлових будівель. Відмічено основні перспективні рішення для термомодернізації житлових будинків з раніше влаштованими теплоізоляційними покриттями. Проведено обґрунтування доцільності вибору варіанту термомодернізації існуючого теплозахисного покриття зовнішніх стін. Висвітлено основні властивості сучасних тепло ізолювальних будівельних матеріалів і наведено перспективні шляхи реалізації запланованих заходів при реалізації проектів з термомодернізації об'єктів житлового фонду.

Ключові слова: термомодернізація, житлові будівлі, вентильований фасад, огороджувальні матерыали.

Abstract

The necessity of developing energy-saving measures for existing residential buildings has been substantiated. The main promising solutions for thermal modernization of residential buildings with previously installed thermal insulation coverings have been highlighted. The feasibility of selecting a thermal modernization option for the existing thermal protection covering of external walls has been justified. The main properties of modern thermal insulating building materials have been outlined, and promising ways to implement planned measures during the realization of thermal modernization projects for residential buildings have been presented.

Keywords: thermal modernization, residential buildings, ventilated facade, enclosing materials

Вступ

У контексті глобальних викликів, пов'язаних зі зменшенням використання природних видобувних ресурсів та необхідністю забезпечення сталого розвитку, питання енергоефективності (енергозбереження) набуває особливої актуальності. Енергоефективність виступає одним із ключових інструментів мінімізації негативних наслідків кліматичних змін та подолання загрозливих тенденцій, що формують кризові явища у світовій екологічній системі. За статистичними даними, у розвинених країнах близько 40 % виробленої енергії споживається об'єктами нерухомості, включаючи значні витрати на опалення у холодний період року.

Оптимізація споживання енергоресурсів за умови збереження необхідного рівня комфорту у приміщеннях потребує реалізації комплексу інженерно-технічних заходів, спрямованих на термомодернізацію існуючого будівельного фонду. Сучасні підходи до енергозбереження передбачають оновлення або влаштування ефективної зовнішньої теплоізоляційної оболонки будівель, що забезпечує зниження трансмісійних тепловтрат. Такі заходи не лише скорочують обсяги енергоспоживання, але й зміцнюють національну енергетичну безпеку та сприяють зменшенню техногенного навантаження на довкілля.

На етапі проєктування термомодернізаційних рішень першочерговим завданням є проведення комплексного аналізу наявної моделі енергоспоживання об'єкта та чинних тарифів на комунальні послуги. Результати такого аналізу забезпечують можливість визначення групових та поелементних параметрів енерговитрат, що є базою для розроблення обґрунтованих енергозберігаючих заходів. При формуванні переліку оптимізаційних дій енергоспоживання необхідно розподіляти витрати за такими категоріями: електроприлади та електротехнічне обладнання будівлі, інженерні системи опалення, вентиляції й кондиціонування, огороджувальні конструкції, а також засоби контролю, моніторингу й управління енергоспоживанням.

Основна частина

Близько 70 % житлового фонду України становлять будівлі, що відносяться до енергозбиткових. Значна частина таких споруд була зведена в період масової індустріальної забудови та характеризується недостатнім термічним опором зовнішніх конструкцій. У зв'язку з цим постає необхідність невідкладного впровадження сучасних проєктних рішень з термомодернізації. Першочерговим завданням є інтеграція енергоефективних технологічних рішень у практику будівельного проєктування, що відповідатимуть вимогам чинного законодавства у сфері енергетичної ефективності.

Недостатній рівень термічного захисту житлово-комунальної інфраструктури зумовлює втрату 60–70 % енергоресурсів у масштабах держави, що потребує підвищення нормативно встановлених величин термічного опору огороджувальних конструкцій. За аналітичними даними, до 50 % теплової енергії втрачається через стіни та покрівлі будівель. Раціональне застосування сучасних теплоізоляційних матеріалів у будівництві дозволяє скоротити тепловтрати та зменшити витрати на опалення на 50–70 % [1, 2].

Таким чином, ефективна термомодернізація будівельного фонду є одним із ключових механізмів підвищення енергоефективності, забезпечення екологічної безпеки та стабілізації енергетичного балансу держави. Комплексний підхід до оцінки енергетичної поведінки будівлі, правильне проєктування та впровадження технологічних рішень сприятимуть значному підвищенню якості експлуатації об'єктів нерухомості та досягненню стратегічних цілей сталого розвитку.

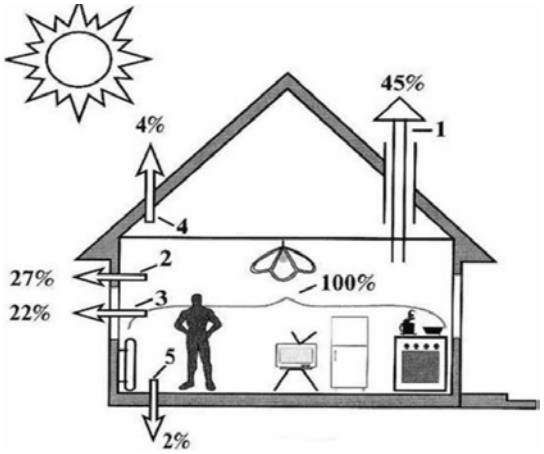


Рис. 1 Орієнтовна структура теплового балансу в житловому будинку під час опалювального періоду: 1 – втрати тепла за рахунок повітрообміну; 2 – трати тепла через стіни; 3 – втрати тепла через вікна; 4 – втрати тепла через дах; 5 – втрати тепла через підлогу

Добре відомо, що застосування зовнішньої теплоізоляції істотно знижує інтенсивність теплоперенесення з внутрішнього середовища будівлі у зовнішній простір. Потоки теплового випромінювання проходять крізь огороджувальні конструкції та частково затримуються шарами будівельних матеріалів, з яких сформована стіна. У разі припинення роботи системи опалення почи-нає діяти так званий «ефект голландської печі», коли огороджувальні конструкції поступово повертають накопичену теплову енергію назад у приміщення. Завдяки цьому внутрішній мікро-клімат з часом стабілізується.

Кам'яні стіни, утеплені за допомогою зовнішніх теплоізоляційних систем, не лише зменшу-ють тепловтрати, але й забезпечують додатковий захист інженерних комунікацій, розміщених на внутрішніх поверхнях стін, від ризику промерзання. Важливою перевагою є також захист від перегрівання у літній період: теплоізоляційний шар ефективно екранує стіни від впливу високих зовнішніх температур і зменшує надходження тепла всередину приміщення. Окрім того, зовні-шнє утеплення не зменшує площу корисного внутрішнього простору, що є додатковою перева-гою порівняно з внутрішнім утепленням.

На сьогодні розроблено значний спектр інженерно-технічних рішень щодо теплозахисту огороджувальних конструкцій стін, які класифікують за кількома основними ознаками:

1. За розміщенням теплоізоляційного шару:

– на внутрішній поверхні стіни;
– на зовнішній поверхні стіни;
– одночасно на внутрішній і зовнішній поверхнях (комбіновані рішення).
2. За наявністю та конфігурацією повітряного прошарку:
– повітряний прошарок між утеплювачем та зовнішньою поверхнею стіни;
– прошарок між захисним (оздоблювальним) шаром фасаду та утеплювачем;
– вентильовані та невентильовані повітряні прошарки в системах фасадної теплоізоляції.
3. За матеріалом теплоізоляційного шару:
– полімерні утеплювачі (пінополістирольні, поліуретанові матеріали тощо);
– органічні матеріали на основі природних компонентів (глини, рослинних наповнювачів);
– неорганічні матеріали: скловолокно, мінеральна вата, легкі бетони, теплоізоляційні розчи-ни.
4. За способом кріплення теплоізоляційного матеріалу:
– пошарове нанесення литих теплоізоляційних мас;
– механічне кріплення спеціальними фасадними системами;
– кріплення клеючими розчинами та сумішами;– комбіновані способи фіксації.
5. За матеріалами та системою кріплення оздоблювального захисного шару (штукатурні сис-теми, навісні фасади тощо) [3, 4].

Після вступу України до Світової організації торгівлі вітчизняна система будівельного нормування почала активно адаптуватися до вимог Європейського Союзу. Упродовж 2006–2022 років відбувалася поступова трансформація нормативної бази у сфері енергоефективності та теплозахисту будівель. Вперше мінімальні значення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій було встановлено у ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель». З 1 липня 2013 року до нього були внесені зміни, спрямовані на підвищення вимог до теплозахисту.

Подальший розвиток нормативної документації привів до оновлення стандарту у редакції ДБН В.2.6-31:2016, а згодом – до його трансформації у сучасний нормативний документ ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель», який комплексно регламентує вимоги як до теплозахисту, так і до енергоефективності будівельних об’єктів.

У таблиці 1 наведено порівняльні значення мінімального опору теплопередачі огороджува-льних конструкцій для І температурної зони відповідно до редакцій чинних у різні роки будівельних норм.

Таблиця 1 Зміни до мінімального опору теплопередачі визначені нормативними документами в різні періоди

Вид огороджувальної конструкції	2006	2013	2016	2021
	R_{min} м²*К/Вт	R_{min} м²*К/Вт	R_{min} м²*К/Вт	R_{min} м²*К/Вт
Зовнішні стіни	2,8	3,3	3,3	4,0
Суміщені покриття, що межують із зовнішнім повітрям	3,3	4,95	6,0	7,0
Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям та над неопалювальними підвалами	2,8	3,75	3,75	5,0
Світлопрозорі огороджувальні конструкції	0,6	0,75	0,75	0,9
Зовнішні двері	0,44	0,44	0,6	0,7

З метою підвищення енергоефективності будівель щороку реалізується значна кількість всеукраїнських та міжнародних грантових програм, конкурсів і проєктів, спрямованих на фінансування заходів із термомодернізації як вже існуючого будівельного фонду, так і нового житлового та громадського будівництва із застосуванням сучасних енергоефективних матеріалів. Одним із найбільш показових прикладів є програма «IQ Energy», підготовлена у 2016 році Європейським банком реконструкції та розвитку (ЄБРР). Програма стала складовою глобального фонду зеленого фінансування та була спрямована на стимулювання підвищення енергоефективності житлового сектору України відповідно до стандартів Європейського Союзу.

Поступове реформування національної нормативної бази у будівельній сфері, орієнтоване на адаптацію до європейських стандартів, привело до того, що значна частина будівель, які пройшли термомодернізацію до 2022 року, вже не відповідає чинним вимогам оновлених будівельних норм. Відомо, що більшість таких проєктів реалізовано на основі технології «мокрий фасад», відповідно до якої теплоізоляційні плити приклеюються до поверхні стіни, закріплюються дюбелями, а зверху покрива-

ються армувальним шаром із полімерною сіткою. Завершальним етапом є нанесення декоративно-захисної штукатурки та фарбування. Однак зміна теплозахисних характеристик огороджувальних конструкцій у таких системах до рівня, визначеного сучасними нормами, є практично неможливою без проведення додаткових інженерно-технічних заходів, зокрема часткового або повного оновлення фасадної теплоізоляційної системи.

Сучасний ринок теплоізоляційних матеріалів України представлений широкою номенклатурою будівельно-оздоблювальних рішень, кожне з яких має свій специфічний набір експлуатаційних характеристик, переваг та обмежень. Найпоширенішими видами теплоізоляції залишаються пінополістирол та мінераловатні плити. За результатами аналітичних досліджень установлено, що пінополістирольні плити застосовуються приблизно у 40 % випадків термомодернізації існуючих будівель. Основні технічні характеристики теплоізоляційних матеріалів, що найчастіше використовуються в огороджувальних конструкціях, наведено у таблиці 2 [5].

Упродовж останніх років на вітчизняному ринку з'явилася велика кількість нових теплоізоляційних матеріалів, що значно розширило можливості впровадження інноваційних рішень у сфері енергозбереження. З удосконаленням технологій сучасні ізоляційні матеріали стали більш ефективними, екологічно безпечними та різноманітними за функціональними властивостями. Завдяки цьому забезпечується виконання широкого спектру технічних завдань, серед яких: зведення будівель збільшеної поверховості, зменшення товщини огороджувальних конструкцій, зниження загальної маси будівель, скорочення витрат будівельних матеріалів та мінімізація споживання паливно-енергетичних ресурсів при збереженні нормативних параметрів внутрішнього мікроклімату.

Окремої уваги заслуговують фасадні системи утеплення з опорядженням панелями та влаштуванням вентильованого повітряного прошарку. На відміну від традиційних штукатурних систем, такі конструктивні рішення дають змогу гнучко змінювати товщину існуючого теплоізоляційного шару в межах реконструкції або доутеплення. Технологія «вентильований фасад» передбачає формування повітряного зазору товщиною 20–50 мм між теплоізоляційним шаром та зовнішнім облицюванням. Наявність цього прошарку забезпечує ефективне видалення водяної пари, що дає змогу підтримувати теплоізоляційний матеріал у сухому стані, підвищуючи його теплозахисні властивості. Крім того, багатошарова структура вентильованої фасадної системи значно зменшує вплив атмосферних чинників, полегшує експлуатаційні навантаження та збільшує довговічність огороджувальних конструкцій.

Таблиця 2 Теплоізолювальні матеріали та їх характеристики

Назва матеріалу	Густина, кг/м³	Питома теплоємність, кДж/кг/К	Теплопровідність в сухому стані, Вт/(м К)	Розрахункова теплопровідність, Вт/(м К)	Коефіцієнт паропроникності, мг/(м год Па)
Мінеральна вата	30-225	0,84	0,039-0,040	0,046-0,054	0,30-0,55
Скловолокно	10-70	0,84	0,032-0,044	0,042-0,057	0,45-070
Екструдований пінополістирол	30-35	1,45	0,034-0,035	0,035-0,037	0,008
Пінополістрол	40-100	1,68	0,038-0,047	0,041-0,064	0,23
Перліт	250-450	0,84	0,071-0,110	0,083-0,202	0,1-0,20
Піноскло	120	0,84	0,045	0,053-0,054	0,002
Арболіт	300-800	2,3	0,07-0,16	0,11-0,3	0,11-0,3

Наявність повітряного прошарку в конструктивних рішеннях типу «вентильований фасад» є ключовим фактором, що визначає довговічність та експлуатаційну надійність таких систем. Завдяки різниці тисків у вертикальному каналі відбувається природна тяга, яка працює за принципом витяжної вентиляції. Унаслідок цього з простору теплоізоляційного шару ефективно видаляється надлишкова внутрішня волога, що позитивно впливає на стабільність теплотехнічних характеристик утеплювача та попереджає ризики його зволоження, втрати форми та мікробіологічного ураження.

Вентильований повітряний прошарок також сприяє зменшенню тепловтрат через огороджувальні конструкції, виконуючи функцію демпферного температурного бар'єра. Температура повітря всередині каналу, як правило, на 2–3 °С вища порівняно із зовнішнім середовищем, що знижує тепловий градієнт між внутрішнім об'ємом будівлі та атмосферою. Крім того, зовнішній оздоблювальний шар

виконує комплексну захисну роль — він оберігає теплоізоляцію та несучі стінові конструкції від прямого впливу атмосферних опадів, ультрафіолетового випромінювання, вітрових навантажень та механічних пошкоджень, тим самим подовжуючи строк їх служби.

Застосування технології «вентильований фасад» у проєктах термомодернізації існуючих будівель, зокрема тих, де вже встановлено попередні системи теплоізоляції, є одним із найбільш перспективних напрямів удосконалення фасадних конструкцій. Такий підхід забезпечує можливість посилення теплозахисту без демонтажу старого шару утеплення, дозволяє адаптувати теплоізоляційну систему до сучасних нормативних вимог, а також значно підвищує архітектурно-естетичні властивості будівлі.

Однією з переваг навісних вентильованих фасадів є широкий вибір облицювальних матеріалів, які можуть застосовуватися для формування зовнішнього шару. До найпоширеніших належать:

- композитні панелі (рейнобонд, алюконбонд, алполік тощо), що відзначаються малою вагою, високою міцністю та стійкістю до ультрафіолетового випромінювання;
- керамогранітні плитки, які мають підвищену морозостійкість, низьке водопоглинання та механічну міцність;
- волокнисто-цементні листи (фіброцементні та азбестоцементні), стійкі до температурних коливань і біокорозії;
- металеві фасадні системи у вигляді панелей, касет або сайдингу, що відрізняються довговічністю, корозійною стійкістю та простотою монтажу.

Висновки

Проведені дослідження технологічних рішень щодо термомодернізації фасадних систем будівель з існуючими теплоізоляційними покриттями підтверджують доцільність застосування вентильованих фасадів. Аналіз характеристик теплоізолювальних матеріалів демонструє, що влаштування вентильованого повітряного прошарку є ефективним рішенням, оскільки саме цей прошарок забезпечує зниження тепловтрат. Повітряний простір працює як демпферний температурний екран, що стабілізує тепловий режим огороджувальних конструкцій та підвищує загальну енергоефективність фасадної системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гайдук О.В., Герлянд Т.М., Кулалаєв Н.В., Півторацька Н.В., Пятинчук Т.В. Технології утеплення фасадів будівель. Підручник. Житомир: «Полісся», 2021. – 362 с. ISBN 978-617-8117-00-9.
2. Технологія облаштування фасадів будинків навісними фасадними системами з вентиляцією / Р. Я. Яким, О. А. Ужегова // Містобудування та територіальне планування. - 2011. - Вип. 40(2). - С. 581-588.
3. ДБН В.2.6-33:2018 "Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування". // Мінрегіон України. – 2018.
4. Сердюк В. Р. Організаційно-технологічні заходи термомодернізації застарілого житлового фонду [Текст] / В. Р. Сердюк, С. Ю. Франишина, Т. В. Сердюк, О. В. Христич // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2022. – № 2. – С. 6-17.
5. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель /Технічний комітет стандартизації «енергоефективність будівель і споруд» (ТК 302), Державне підприємство «Державний науково- дослідний інститут будівельних конструкцій».

Майданюк Сергій Сергійович – студент 2-го курсу магістратури, група 1БМ-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, kalashVE@gmail.com

Меть Іван Миколайович **–** к.т.н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, e-mail: met@vntu.edu.ua

Maydanyuk Serhiy Serhiyovych **–** 2nd year master's student, group 1BM-23m, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, kalashVE@gmail.com

Met Ivan Mykolayovych **–** Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture Vinnitsa National Technical University, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

УДК 699.841

Н. О. Мельник
В. М. Андрухов

ПІДВИЩЕННЯ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ БАГАТОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ІНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКТИВНИМИ ЗАХОДАМИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В досліджені приділено увагу інженерно-конструктивним та архітектурно-планувальним рішенням, які визначають та впливають на сейсмостійкість. Аналіз причин руйнувань будівель під впливом сейсмічних коливань, дозволив виокремити коло інженерних рішень на які необхідно звернути особливу увагу. Визначено основні проблеми, спричинені землетрусами для багатоповерхових будівель, та розглянуто можливі конструктивні рішення та заходи для зменшення, запобігання та уникнення пошкоджень, руйнувань будівельних конструкцій.

Ключові слова: землетрус, сейсмічний вплив, демпфери коливань, системами дисипації сейсмічної енергії, числове моделювання, сейсмічні ізолятори, недоліки конструктивних рішень, напружено-деформований стан, рамно-в`язева конструктивна схема, просторова комп'ютерна модель, програмний комплекс «ЛІРА».

Abstract

The study focuses on engineering, structural and architectural planning solutions that determine and influence seismic resistance. The analysis of the causes of building destruction under the influence of seismic vibrations allowed us to identify a range of engineering solutions that require special attention. The main problems caused by earthquakes for multi-story buildings are identified, and possible design solutions and measures to reduce, prevent, and avoid damage and destruction of building structures are considered.

Keywords: earthquake, seismic impact, vibration dampers, seismic energy dissipation systems, numerical modeling, seismic isolators, shortcomings of structural solutions, stress-strain state, frame-tie structural scheme, spatial computer model, LIRA software package.

Вступ

За результатами вивчення та аналізу наслідків руйнівних землетрусів виявляють існуючі недоліки в поширених підходах сейсмостійкого проектування [1], зокрема щодо визначення інтенсивності (напрямку, амплітудно-частотних характеристик, тривалості тощо) розрахункового сейсмічного впливу та врахування його у поєднанні із іншими навантаженнями і впливами, що діють на конструкції будівель і споруд в процесі експлуатації. Тобто такий аналіз дозволяє звернути увагу, виявити ті інженерно-конструктивні рішення, які вимагають перегляду та також опрацювати такі інженерні рішення які спрямовані на зниження сейсмічної інтенсивності впливу на будівлю і за рахунок цього спроектувати її більш сейсмостійкою.

Результати дослідження

Землетруси можуть призвести до пошкодження конструкцій будівель, якщо вони не належним чином збудовані або/та не захищені системами дисипації сейсмічної енергії та/або належного розрахунку стійкості до сейсмічних впливів.

Основні сейсмічні зони у світі знаходяться на або поблизу літосфери.

Проектуючи сейсмостійкі конструкції, основну увагу приділяють горизонтальним коливанням, що виникають при землетрусах; вплив вертикальних коливань вважають неважливими або вторинними.

Забезпечення сейсмостійких характеристик конструкцій, стійких до землетрусу, передбачає впровадження систем сейсмічного захисту, як то сейсмічні ізолятори та/або системи дисипації енергії, для зменшення рівня сейсмічних зусиль, що діють на будівлю та покращення сейсмічних характеристик будівлі.

Оскільки обидві системи мають однакову мету, необхідно порівнювати ефективність, яку отримує будівля та з'єднання її елементів для підвищення сейсмостійкості в цілому і, таким чином визначити, яка є найбільш ефективною для досліджуваної структури.

Система сейсмічної ізоляції відокремлює будівлю від рухів ґрунту, які є наслідком землетрусу, розсіювання енергії це не робить, але частково поглинає енергію, що входить до структури за допомогою спеціальних пристроїв. Будучи системою демпфування сейсмічна ізоляція, яка обмежує кількість енергії, що надходить у структуру, є більш ефективною. Система дисипації енергії розглядає зсувні сили, що діють на структуру під час динамічного аналізу, для проектування своїх пристроїв, тоді як система сейсмічної ізоляції спирається лише на гравітаційні навантаження, що діють на неї, на основні елементи структури. Найефективнішою є система дисипації енергії, яка більш детально аналізує поведінку будівлі.

Основні вимоги до структури будівель в сейсмічних зонах

Конфігурація конструктивних елементів, повинна забезпечувати стійкість і жорсткість горизонтальним навантаженням у будь-якому напрямку. Необхідно передбачати використання конструктивно стійких систем у двох ортогональних напрямках.

Конфігурація та конструктивні рішення повинні забезпечувати безперервний, регулярний та ефективний опір потоку сейсмічних сил.

Слід уникати посилення коливань, концентрацій напружень та коливань кручення, тому перевагу слід надавати простим, регулярним та симетрично безперервним структурам.

Мати відповідну жорсткість і відповідно пружну деформаційну здатність, щоб розсіювати енергію землетрусу, використовуючи високе пружне демпфування.

Ізолятори сейсмічної енергії

Підвищення сейсмостійкості будівель та споруд, для здатності вистояти розрахунковим землетрусам без масштабного руйнування і з мінімальними людськими жертвами, з використанням спеціальних конструктивних елементів.

Будівля не обов'язково повинна сама чинити опір нищівному землетрусу. Можна надати цій будівлі, за допомогою сейсмічної ізоляції (base isolation, що означає "ізоляція фундаменту"), можливість як би зависати над коливаннями землі і, таким чином, істотно знижувати сейсмічне навантаження.

Будинки, побудовані в сейсмічних активних районах, значно краще протистоять руйнівним землетрусам, якщо вони будуються з простотою та симетричною конфігурацією в плані.

Будинки з формами L, T, etc .. слід уникати або розділити на прості форми.

Будинки у формі T, L, H, Z, U показали погану сейсмічну поведінку внаслідок того, що кожна з зон піддається силам інерції, які можуть коливатись одночасно за різними траєкторіями.

Основні недоліки конструктивних рішень, що призводять до руйнувань під впливом сейсмічної активності

* незабезпечення механічного опору та стійкості;
* недостатня міцність плит перекриття на продавлювання;
* недоліки конструктивних рішень в балках і колонах;
* недоліки в армовані стіни;
* втрати, пов'язані з надмірною пластичністю;
* виведення з ладу вертикальних несучих елементів;
* відмова (руйнування) в з'єднаннях без реалізації належної пластичності;
* недостатність довжини анкерування.

Зіткнення між будинками

Якщо між сусідніми будинками недостатньо сейсмічного поділу, їх сейсмічні коливання можуть викликати вдаряння між ними.

Ще більш небезпечно, коли сусідні будівлі не збігаються по висоті, тобто є будівлями з різною висотою.

Збитки, спричинені землетрусом 16 квітня 2016 року в місті Екуа Еквадору

Найбільшу інтенсивність коливань при землетрусі було зафіксовано, більш ніж 7 балів за шкалою Ріхтера, що призвело до загальної чисельності випадків загибелі людей до 219 осіб.



Аналіз зруйнованих будівель під час землетрусу 16 квітня 2016 року

Причиною колапсу будівель стало невдалі інженерно-конструктивні рішення в будівельних об’єктах, які не забезпечували адекватного опору, щоб протистояти зсувним силам.



Як видно на малюнку, відстань між стрижнями становить приблизно 15 см, що вказує на недостатність стримуючих можливостей поперечною арматурою в зоні конфайнмента, який може поглинати напруги, спричинені землетрусом.



В рамках гіпотези про надійне сейсмостійке проектування в залізобетонних конструкціях критерій "STRONG COLUMN - WEAK BEAM" повинно задовольняється так, що вузол їх з’єднання мав би характер пластичної поведінки.



Коли колона не працює на сейсмічний вплив, практично це слід розглядати як зникнення вертикальної несучої основи в будівлі, що призводить до великих людських і матеріальних втрат, тоді мета, на якій виконаний критерій, може бути легко інтерпретована.



У цьому будинку можливо чітко бачити недостатність міцності в вузлах, крім того, стрижні були зроблені гладкими прутами 6 мм, регулювання вказує на те, що для поперечних стержнів мінімальний діаметр має дорівнювати 10 мм, крім того, стержень повинен бути гофрованим.



Будівля з великим кроком між колонами, перетворює її в дуже гнучку структуру

Висновки

В дослідженні проаналізовано наслідки руйнувань багатоповерхових будівель та споруд, а також причини та недоліки конструктивних рішень, що призвели до руйнувань. На основі вивчення наслідків руйнувань запропоновано перелік архітектурно-планувальних та інженерно-конструктивних заходів, дотримання яких сприятиме підвищенню сейсмостійкості як окремих елементів будівлі, так і будівлі в цілому. Визначено перелік конкретних інженерних рішень, недостатнє опрацювання яких може призвести до руйнувань.

Розглянуто багатоповерхову будівлю за рамно-в`язевою конструктивною схемою із використанням залізобетонного каркасу, що проектується для будівництва у сейсмічному районі України. На основі розрахунку просторової комп'ютерної моделі з використанням програмного комплексу «ЛІРА», отримано параметри НДС несучих конструкцій при сейсмічному впливі інтенсивністю 7 - 9 балів, заданому за спектральним та прямим динамічним методами ДБН В.1.1-12 [1]. Виконано порівняння параметрів сейсмічної реакції (частот коливань, перекосів поверхів) та НДС конструкцій, отриманих за результатами розрахунків без та з урахуванням заходів з підвищення сейсмостійкості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.1.1-12:2014. БУДІВНИЦТВО У СЕЙСМІЧНИХ РАЙОНАХ УКРАЇНИ. – К.: МІНРЕГІОНБУД УКРАЇНИ, 2014 Р. – 117 С.
2. ДСТУ-Н Б EN 1998-1:2010 ЄВРОКОД 8. ПРОЕКТУВАННЯ СЕЙСМОСТІЙКИХ КОНСТРУКЦІЙ. ЧАСТИНА 1. ЗАГАЛЬНІ ПРАВИЛА, СЕЙСМІЧНІ ДІЇ, ПРАВИЛА ЩОДО СПОРУД (EN 1998-1:2004, IDT).
3. ДСТУ Б В.1.1-28: 2010. ШКАЛА СЕЙСМІЧНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ. - К.: МІНРЕГІОН УКРАЇНИ, 2010.
4. БІРБРАЕР А.Н. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЙ НА СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ. – СПБ.: НАУКА, 1988. – 255 С., ИЛ. 70.
5. HARRINGTON C., LIEL A. COLLAPSE ASSESSMENT OF MOMENT FRAME BUILDINGS, CONSIDERING VERTICAL GROUND SHAKING// EARTHQUAKE ENGINEERING & STRUCTURAL DYNAMICS 45(15) · JULY 2016. DOI: 10.1002/EQE.2776

Мельник Назар Олександрович – студент гр. 2Б-24м , факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Андрухов Валерій Михайлович — к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Nazar MELNYK — student group 2B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Valeriy ANDRUKHOV — Ph.D., Associate Professor of the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia.

УДК 697.7; 697.9

В. С. Запрелюк
В. В. Швець

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ДИТЯЧИХ САДКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НАДБУДОВИ ПОВЕРХІВ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ВНУТРІШНЬОГО ПРОСТОРУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Стаття присвячена комплексному аналізу інноваційних технологій реконструкції дитячих садків із використанням надбудови поверхів та оптимізації внутрішнього простору. Розглянуто сучасні підходи до модернізації застарілих дошкільних закладів, зокрема застосування легких конструктивних систем, модульного будівництва, трансформованих планувальних рішень та енергоефективних технологій. Акцентовано увагу на практичних аспектах проєктування, технічному аудиті будівлі, забезпеченні інклюзивності, покращенні мікроклімату та створенні сучасного освітнього середовища. Проаналізовано можливості впровадження цифрових технологій, таких як BIM-моделювання, а також використання екологічних матеріалів та сучасних інженерних рішень. Наведено аргументацію щодо ефективності надбудови поверхів як методу збільшення площ без розширення території, визначено її переваги та обмеження. Окреслено значення грамотної організації реконструкції для сталого розвитку міської інфраструктури, підвищення доступності дошкільної освіти та забезпечення безпечного середовища для дітей.

Ключові слова: інноваційна реконструкція, дитячий садок, надбудова поверхів, оптимізація простору, трансформовані приміщення, інклюзивність, легкі конструкції, енергоефективність, BIM-технології, модернізація освітніх закладів

Abstract

The article presents a comprehensive analysis of innovative reconstruction technologies for preschool educational institutions, focusing on the use of additional floor extensions and the optimization of interior spaces. It examines modern approaches to upgrading outdated kindergarten buildings, including the application of lightweight structural systems, modular construction methods, transformable spatial solutions, and energy-efficient technologies. Particular attention is given to practical aspects of architectural design, structural assessment, ensuring inclusivity, improving indoor microclimate, and creating a contemporary educational environment. The study highlights the role of digital tools such as BIM modeling, the use of environmentally friendly materials, and advanced engineering systems. The effectiveness of adding extra floors as a method of expanding usable space without enlarging the site boundaries is substantiated, with its benefits and limitations outlined. The article emphasizes the importance of well-organized reconstruction processes for the sustainable development of urban infrastructure, improving access to preschool education, and ensuring safe and comfortable conditions for children.

Keywords: innovative reconstruction, kindergarten, floor extension, space optimization, transformable interiors, inclusivity, lightweight structures, energy efficiency, BIM technologies, modernization of educational facilities.

Вступ

Сучасні тенденції розвитку дошкільної освіти потребують якісної модернізації існуючої мережі дитячих садків, значна частина яких була збудована в середині XX століття та вже не відповідає вимогам інклюзивності, енергоефективності, просторової гнучкості та безпеки [1]. Урбанізаційні процеси, щільна забудова міст, зростання населення в окремих житлових масивах спричиняють дефіцит місць у дитячих садках, що зумовлює необхідність пошуку сучасних архітектурно-конструктивних рішень без додаткового розширення території [2]. Одним з найбільш ефективних підходів є реконструкція будівель із надбудовою поверхів, яка дозволяє збільшити корисну площу без зупинки роботи закладу та без втручання у прилеглий дитячий простір. Одночасно важливою складовою модернізації є оптимізація внутрішнього простору, впровадження трансформованих приміщень та створення багатофункціонального освітнього середовища відповідно до сучасних педагогічних стандартів.

Інноваційні технології реконструкції дитячих садків поєднують новітні будівельні матеріали, цифрові інструменти моделювання, сучасні підходи до інклюзивності та екологічності, а також енергоефективні рішення, що дозволяють значно зменшити експлуатаційні витрати та підвищити комфорт перебування дітей і персоналу [3]. У цьому контексті реконструкція з надбудовою поверхів виступає

комплексним процесом, який охоплює технічний аудит будівлі, планувальні перетворення, впровадження інноваційних конструктивних систем, удосконалення інженерних мереж та формування нового зовнішнього благоустрою.

Таким чином, проблема інноваційної реконструкції дитячих садків є актуальною як у науковій площині, так і на рівні державної політики розвитку освітньої інфраструктури. Ця стаття присвячена аналізу сучасних технологій реконструкції дошкільних закладів, особливо із використанням надбудов та трансформації внутрішнього простору, з акцентом на проектуванні, інженерних рішеннях та організаційно-управлінських аспектах.

Основна частина

Реконструкція дитячих садків із використанням надбудови поверхів та оптимізації внутрішнього простору є комплексним процесом, що передбачає модернізацію застарілих архітектурно-планувальних рішень, підвищення енергоефективності будівлі та створення сучасного освітнього середовища. Передумовою таких змін є демографічні та урбаністичні виклики, оскільки більшість існуючих садків, побудованих у 1960–1980-х роках, не відповідають сучасним вимогам щодо комфортності, інклюзивності та ергономіки приміщень [4]. Типові будівлі мають вузькі коридори, окремі спальні кімнати, малофункціональні групові приміщення, застарілі інженерні мережі та низьку гнучкість щодо адаптації до нових освітніх програм. Саме тому сучасні підходи до реконструкції передбачають впровадження інноваційних технологій, які дозволяють значно збільшити функціональні можливості будівель, не збільшуючи фізичні межі ділянки.

Одним із ключових напрямів є надбудова одного або кількох поверхів, яка забезпечує збільшення площі без розширення території, що надзвичайно актуально в умовах щільної міської забудови. Сучасні будівельні технології дозволяють виконувати надбудови з використанням легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК), модульних систем prefab або клеєнодерев'яних елементів, які характеризуються малою масою та високою міцністю [5]. Це дає змогу уникнути перевантаження існуючого фундаменту та скоротити терміни будівництва. Важливою перевагою таких технологій є можливість монтажу в умовах діючого закладу, без повної його евакуації або тривалого припинення роботи. Надбудовані поверхи можуть використовуватися для додаткових груп, спортивних чи актових залів, сенсорних кімнат, адміністративних кабінетів або інтегрованих STEM-лабораторій.

Реконструкція внутрішнього простору супроводжується переходом від традиційної моделі роздільних групових і спальних кімнат до концепції універсальних трансформованих просторів. Мобільні перегородки, меблі-трансформери, інтегровані навчальні панелі та вбудовані системи зберігання дозволяють швидко адаптувати приміщення для занять, ігор, відпочинку або групової роботи дітей. Коридори, які раніше виконували лише транзитну функцію, трансформуються у сенсорні або інтерактивні галереї, що сприяють розвитку дрібної моторики та когнітивних навичок. Оптимізація внутрішньої структури передбачає створення інклюзивних просторів, серед яких сенсорні кімнати, безбар'єрні маршрути, тактильні доріжки та доступні санітарні вузли, що відповідають вимогам ДБН В.2.2-40:2018.

Інноваційні матеріали та енергоефективні технології також відіграють ключову роль у процесі реконструкції. Сучасні системи зовнішнього утеплення типу ETICS, енергоощадні вікна з мультифункціональним склом, рекуперaційні вентиляційні системи та теплові насоси дозволяють суттєво знизити споживання енергії та забезпечити оптимальний мікроклімат у приміщеннях [6]. Використання екологічно чистих, нетоксичних та гіпоалергенних матеріалів є особливо важливим у дитячих закладах, оскільки вони безпосередньо впливають на здоров'я та комфорт дітей. До таких матеріалів належать дерев'яні конструкції, фарби на водній основі, антибактеріальні покриття та натуральні теплоізоляційні матеріали.

Не менш важливим напрямом інноваційної реконструкції є цифровізація. Використання BIM-технологій на етапах проєктування дозволяє точно моделювати навантаження, інженерні системи та планувальні рішення, зменшуючи ризики помилок і прискорюючи реалізацію проєктів. У функціонуванні дитячих садків застосовуються системи відеоспостереження, контролю доступу, автоматичного регулювання температури й вентиляції, а також інтерактивні освітні панелі, що сприяють формуванню сучасного середовища для навчання.

Благоустрій території є невід'ємною частиною реконструкції. Сучасні норми передбачають створення окремих майданчиків для різних вікових груп, використання безпечних покриттів з гумової

крихти, облаштування тіньових навісів, міні-амфітеатрів та навчальних зон на відкритому повітрі. Територія повинна забезпечувати розвиток фізичних, соціальних та творчих навичок дітей.

Організація реконструкції потребує комплексного управління, яке включає технічний аудит будівлі, аналіз несучої здатності конструкцій, узгодження проєктних рішень, підготовку фінансової моделі та забезпечення поетапної реалізації з мінімальним впливом на роботу закладу. Фінансування може здійснюватися за рахунок державних і місцевих бюджетів, міжнародних грантів та партнерських програм. Практика показує, що інноваційні реконструкції, виконані із застосуванням сучасних технологій, значно підвищують ефективність використання площ, покращують умови для дітей та персоналу і сприяють розвитку освітньої інфраструктури відповідно до міжнародних стандартів.

Висновки

Реконструкція дитячих садків із використанням надбудови поверхів і оптимізації внутрішнього простору є одним з найефективніших шляхів модернізації освітньої інфраструктури в умовах обмежених міських територій і зростаючого попиту на дошкільну освіту. Використання легких конструктивних систем, модульних технологій, трансформованих приміщень, енергоефективних рішень та екологічно безпечних матеріалів дозволяє створити сучасний, безпечний і функціональний простір, що відповідає потребам дітей і педагогів. Інноваційні технології забезпечують швидкість виконання робіт, гнучкість планування та можливість модернізації без повної зупинки закладу. Такий підхід відповідає принципам сталого розвитку, сприяє економії ресурсів і формує нові стандарти для українських дошкільних закладів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. – Київ: Мінрегіон України, 2018. – 38 с.
2. ДБН В.2.2-4:2018. Заклади дошкільної освіти. – Київ: Мінрегіон України, 2018. – 46 с.
3. Тімофєєв В. А. Сучасні підходи до реконструкції будівель закладів освіти. – Київ: НАУ, 2020. – 214 с.
4. Жукова Н. П. Архітектурно-планувальні рішення дитячих садків: проблеми та перспективи. – Харків: ХНУБА, 2019. – 167 с.
5. Піменов О. М. Легкі сталеві конструкції в реконструкції будівель. – Львів: Вид-во ЛНТУ, 2021. – 192 с.
6. Кравчук І. С. Енергоефективні технології модернізації освітніх закладів. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – 145 с.

Запрелюк Віталій Сергійович – студент 2-го курсу магістратури, група 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, kalashVE@gmail.com

Швець Віталій Вікторович – к.т.н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

Zapreliuk Vitaliy – 2nd year master's student, group 1B-24m, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, kalashVE@gmail.com

Shvets Vitaliy – Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture Vinnitsa National Technical University, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

УДК 699.8:624.131.537

Н.В.Блащук
Є.П.Джига

УЛАШТУВАННЯ ПРОТИРАДІАЦІЙНИХ УКРИТТІВ В ІСНУЮЧИХ БУДІВЛЯХ ШЛЯХОМ ПІДСИЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ ПІДВАЛЬНОГО ПОВЕРХУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто можливість використання підвальних приміщень існуючих будівель для облаштування найпростіших протирадіаційних укриттів шляхом їх підсилення.

На основі технічного обстеження об'єкта в селищі Турбів запропоновано технологічне рішення з підсилення несучих конструкцій із урахуванням вимог ДБН В.2.2-5:2023.

Проведено порівняльний аналіз ефективності конструктивних рішень.

Ключові слова: укриття, підсилення, підвальні приміщення, захисні споруди, ДБН В.2.2-5:2023.

Abstract

The paper examines the feasibility of utilizing basement premises of existing buildings for the arrangement of simple radiation protection shelters by means of structural reinforcement.

Based on the technical inspection of a facility in the settlement of Turbiv, a technological solution for strengthening load-bearing structures has been proposed in accordance with the requirements of DBN V.2.2-5:2023. A comparative analysis of the efficiency of structural solutions has been conducted.

Keywords: shelter, reinforcement, basement premises, protective structures, DBN V.2.2-5:2023

Вступ. Постановка проблеми

У сучасних умовах повномасштабної війни на території України питання захисту цивільного населення набуває виняткової актуальності. Надійні укриття є ключовим елементом у системі цивільного захисту, особливо в умовах масованих обстрілів, застосування засобів ураження, а також потенційної загрози використання зброї масового ураження. Враховуючи дефіцит фінансових ресурсів, обмеженість часу та технічні труднощі, особливо у малих населених пунктах, однією з найбільш доцільних і ефективних інженерних практик є переобладнання існуючих підвальних приміщень під найпростіші або протирадіаційні укриття.

Підвальні приміщення, які вже закладені в конструктивну систему будівель, мають базовий рівень захисту та певний потенціал для подальшої модернізації. Проте більшість таких приміщень не відповідають сучасним вимогам щодо міцності конструкцій, герметичності, опору радіаційному впливу та іншим критеріям, встановленим чинними будівельними нормами. Саме тому виникає необхідність технічного переосмислення їх функціонального призначення та реалізації інженерних заходів з підсилення основних несучих елементів (перекриттів, стін, фундаментів), облаштування аварійних виходів, систем вентиляції, герметизації та облаштування санітарно-побутової зони.

Згідно з оновленими нормами ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту», особлива увага приділяється саме існуючим будівлям і можливостям їхнього адаптивного використання для створення укриттів. Документом чітко окреслено конструктивні, просторові та інженерні вимоги до протирадіаційних укриттів, а також визначено допустимі методи підсилення для забезпечення їх експлуатаційної надійності.

Метою даної роботи є розробка техніко-конструктивного рішення з підсилення підвального приміщення будівлі з урахуванням особливостей геологічного середовища, початкового стану об'єкта, матеріалу несучих конструкцій і потенційного навантаження. У рамках дослідження заплановано провести аналіз існуючих інженерних рішень, порівняльну оцінку альтернативних

методів підсилення, розробити проектне рішення та виконати розрахунок несучої здатності конструкцій у порівнянні до та після підсилення.
Таким чином, результати дослідження дозволять обґрунтувати вибір ефективного способу перетворення типового підвального приміщення в повноцінне протирадіаційне укриття з урахуванням норм безпеки, економічної доцільності та практичної реалізованості для умов малих населених пунктів України.

Основна частина

Об’єктом дослідження є навчальний корпус Вінницького національного технічного університету, розташований за адресою: м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Будівля має цокольний поверх, частково заглиблений у ґрунт, що зумовлює потенційну можливість переобладнання існуючих підвальних приміщень у найпростіші захисні споруди цивільного захисту — протирадіаційні укриття. Враховуючи високий ризик виникнення надзвичайних ситуацій, пов’язаних з військовою агресією та потенційним застосуванням засобів масового ураження, питання адаптації таких приміщень є надзвичайно актуальним.

Відповідно до ДБН В.2.2-5:2023 [1], приміщення укриття повинні забезпечувати захист від іонізуючого випромінювання, уламкової дії боєприпасів та задовільні умови перебування людей. Базове обстеження об’єкта показало, що основні несучі конструкції — монолітні залізобетонні стіни та плити перекриття — перебувають у задовільному технічному стані, проте не відповідають нормативам за показниками радіаційного захисту, герметичності та аварійної евакуації. Також відсутні системи примусової вентиляції та автономного електропостачання.
У межах роботи було розроблено інженерне рішення з технічного переоснащення приміщення та підсилення конструкцій.
Зокрема, запропоновано:
Улаштування додаткових залізобетонних обойм навколо несучих стін і колон, що дозволить збільшити несучу здатність при дії вибухового навантаження;
Накладне підсилення перекриття шляхом монтажу збірно-монолітних плит на сталевих балках, яке забезпечує резерв жорсткості;
Гідроізоляція і герметизація конструкцій з використанням цементно-полімерних складів, які створюють бар’єр від проникнення газів і вологи;
Монтаж тамбурів з протирадіаційним захистом, згідно з додатком В ДБН [1], та організація додаткового аварійного виходу через отвір у зовнішній стіні;
Улаштування вентиляційної системи з можливістю роботи в автономному режимі (режим фільтрації), із встановленням регенераційних патронів;
Облаштування місць сидіння, санітарного вузла та запасів питної води, згідно з табл. 5.2 і 5.3 ДБН В.2.2-5:2023 [1].

Крім того, розглянуто варіант посилення фундаменту, у випадку виявлення ослабленої ґрунтової основи. У такому випадку доцільним є використання коротких буронабивних паль або мікропаль, які з'єднуються з ростверком через анкерні з'єднання. Даний спосіб має високу ефективність при обмежених просторових умовах.
З метою обґрунтування вибору технічного рішення було проведено порівняльний аналіз із проєктом, реалізованим у 2022 році в місті Житомир. Там для підсилення підвального приміщення використовували технологію ін’єкційного ущільнення з цементно-піщаною сумішшю та геосинтетичними матеріалами. Порівняння показало, що для умов корпусу ВНТУ вигіднішим є варіант монолітного підсилення ззовні — він забезпечує кращу сумісність з існуючими конструкціями, швидкість монтажу та доступність матеріалів.
Економічна оцінка проєкту також враховувала часові рамки реалізації, просторові обмеження, потребу в евакуаційних шляхах та санітарно-гігієнічному оснащенні. Усі рішення узгоджуються з положеннями нормативної бази, зокрема ДБН В.2.2-5:2023 [1], ДСТУ-Н Б В.1.1-30:2013, ДБН В.1.2-14:2018.
Таким чином, проведене дослідження доводить реалістичність та ефективність перетворення типового підвального приміщення навчального корпусу у повноцінне протирадіаційне укриття шляхом конструктивного підсилення. Такий підхід дозволяє не лише підвищити рівень безпеки, а й

створити універсальну модель для використання в інших будівлях освітньої або адміністративної сфери.

Висновки

Результати дослідження підтвердили доцільність використання існуючих підвальних приміщень будівель освітнього призначення для облаштування найпростіших протирадіаційних укриттів. На прикладі корпусу Вінницького національного технічного університету обґрунтовано технологічну можливість підсилення несучих конструкцій та вдосконалення інженерного обладнання відповідно до вимог ДБН В.2.2-5:2023.

Запропоновані конструктивні рішення забезпечують підвищення захисних властивостей об’єкта, зокрема його стійкість до дії ударної хвилі, герметичність та здатність до автономного функціонування у надзвичайних умовах. Порівняльний аналіз із аналогічними проєктами дозволив обрати найбільш ефективну та економічно доцільну модель підсилення конструкцій.

У результаті запропоновано універсальний підхід до трансформації підвальних приміщень в укриття, який може бути адаптований для інших будівель подібного типу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про цивільний захист». – Київ: ВРУ, 2013.
2. Сучасні проблеми утримання захисних споруд: аналітична довідка ДСНС України. – Київ, 2022.
3. ДБН В.2.2-5:2023 «Будинки і споруди. Захисні споруди цивільного захисту». – Київ: Мінрегіон, 2023.
4. ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва». – Київ: Мінрегіонбуд, 2016.
5.ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 «Настанова з оцінювання технічного стану будівельних конструкцій». – Київ: Мінрегіон, 2013.
6. ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи». – Київ: Мінрегіонбуд, 2006.
7. Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС). Типові рішення з переобладнання підвалів. – Київ, 2022.

Блащук Наталя Вікторівна — доцента кафедри Кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури, факультету Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницький національний технічний університет (ВНТУ)

Джига Євгеній Павлович — студент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, email: djigaje@gmail.com

Blashchuk Nataliia Viktorivna — Associate Professor at the Department of Construction, Urban Economy, and Architecture, Faculty of Civil, Construction and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University (VNTU)

Dzhyha Yevhenii Pavlovych — student at the Department of Construction, Urban Economy, and Architecture, Faculty of Civil, Construction and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine,
email: djigaje@gmail.com

УДК 725.69

В. В. Овод
В. М. Бойчук

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ВІДНОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ, ПОШКОДЖЕНИХ У КРИЗОВИХ СИТУАЦІЯХ ВОЄННОГО ХАРАКТЕРУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Ця робота спрямована на вивчення актуальних аспектів та можливостей удосконалення технологій демонтажу та реконструкції будівель і споруд, зруйнованих під час військових дій, з метою підвищення ефективності процесів відновлення та забезпечення стійкості об'єктів до майбутніх завдань.

Ключові слова: роботизація, інтелектуальна автоматизація, екологічне відновлення, інноваційні матеріали, міжнародна співпраця.

Abstract

This work is aimed at studying current aspects and possibilities of improving the technologies of dismantling and reconstruction of buildings and structures destroyed during military operations, with the aim of increasing the efficiency of restoration processes and ensuring the stability of objects for future tasks.

Keywords: robotics, intelligent automation, ecological restoration, innovative materials, international cooperation.

Вступ

В сучасних умовах конфліктів та військових дій спостерігається наявність швидкого та ефективного відновлення зруйнованих об'єктів інфраструктури. Розробка та впровадження удосконалених технологій демонтажу та реконструкції є великим аспектом відновлення території, підвищення стійкості будівель до майбутніх загроз та забезпечення безпеки мешканців [1-2].

Основна частина

Для розбирання зруйнованих будівель та споруд використовується різноманітна техніка: крани, екскаватори, навантажувачі, бульдозери, механізований інструмент [3]. При розбиранні руйнувань почергово використовують (рис. 1) вантажопідйомну техніку (крани з гаковою підвіскою або захватом) та екскаватори або навантажувачі з ківшем. Уламки із завалу навантажують у транспортні засоби, або переміщують екскаватором Е у майданчики-відвали (склади) I - II та автокраном К у майданчики-відвали III – IV. Потім автокран К та екскаватор Е міняються місцями і виконують розбирання решти завалу.

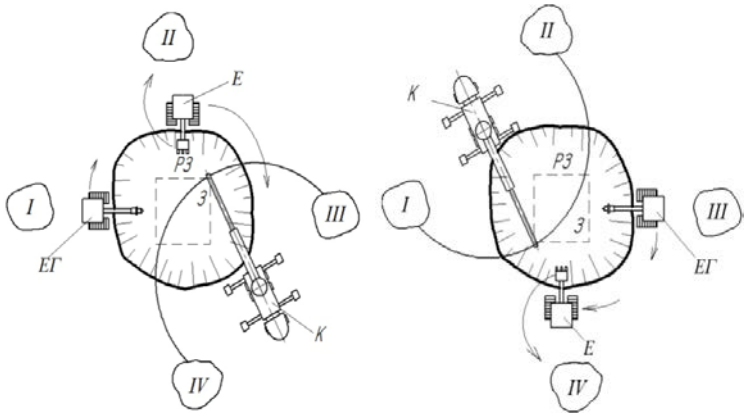


Рис. 1. Схема розстановки і переміщення при розбиранні руйнувань будівлі традиційною технікою: а – початок; б – закінчення розбирання. ЕГ – екскаватор з гідромолотом; Е – одноківшевий екска-ватор; К – автокран; I - IV – майданчики-відвали. З – будівля; РЗ – зруйнована будівля

Недоліками технологічних схем розбирання завалів подібних рисунку 3 є необхідність заведення вручну строп авто-крану під уламки - це не завжди можливо й небезпечно, а також необхідність використання ковшових машин для розбирання дрібних уламків. Відсутні обґрунтовані організаційно-технологічні рішення з розстановки та взаємному переміщенню машин на зруйнованому об'єкті, що приводить до виконання рятувальних або відновлювальних робіт за недосконалими технологічних схемами, збільшує їх терміни і трудомісткість.

Метою статті є розробка уніфікованих рішень з удосконалення технологічних процесів розбирання руйнувань будівель та споруд.

При ліквідації наслідків після військового влучання, який спричинив руйнування окремої будівлі, в залежності від характеру руйнувань і можливості доступу робітників та засобів механізації до завалу й залишків будівлі, роботи можуть виконуватися за схемами:

- розбирання завалу з усіх напрямків (чотирьох - відносно основних географічних координат або сторін світу), рисунок 2, а;
- розбирання завалу з обмеженням напрямків.

Друга схема проведення робіт, в залежності від кількості можливих напрямків роботи, має різновиди, які подані на рисунках 2, б – е. При розбиранні завалу з двох напрямків, роботи виконуються за схемами:

- розбирання завалу з двох протилежних напрямків (рис. 2, в);
- розбирання завалу з двох суміжних напрямків (рис. 2, г, д).

Кожна зі схем обумовлює свою послідовність робіт. Послідовність робочих процесів залежить від вимог рятувальних або відновлювальних робіт і характеру руй-нування будівлі та визначається для кожного об’єкта та конкретних умов. Наявність більшої кількості напрямків розбирання за-валу скорочує термін робіт за рахунок їх найбільшої продуктивності та можливості одночасного використання необхідних засобів механізації. Зменшення напрямків розбирання завалу приводить до обмеження

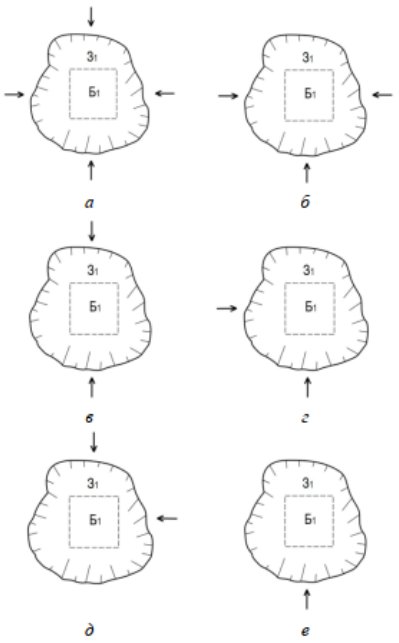


Рис. 2. Напрямки виконання робіт з розбирання завалу окремо зруйнованої будівлі:а - з усіх можливих; б – трьох; в, г, д – двох; е – одного; $Б_1$ – будівля; $З_1$ - завал

При розбиранні завалу з усіх напрямків (рис. 2, а) організація та виконання робіт проводиться за технологічними схемами:

- розбирання завалу з вертикальним підйомом частини уламків, коли у завалах можлива наявність потерпілих (роботи виконуються за схемою на рисунку 3);
- розбирання завалу з усіх напрямків без вертикального підйому частини уламків, коли у завалах відсутні потерпілі.

Обсяги робіт, їх послідовність та інші основні показники за обома технологічними схемами визначаються в залежності від характеру руйнувань будівель та стадії вико-нання робіт: розбирання руйнувань при наявності потерпілих (при рятувальних ро-ботах) або розбирання руйнувань при відновлювальних роботах [3].

Висновок

Аналіз досвіду робіт з розбирання зруйнованих будівельних об'єктів показує, що вони виконуються за недосконалими технологічними схемами, які не враховують характеру руйнування об'єктів та базуються на використанні загальнобудівельних машин, які не відповідають вимогам цих процесів, що приводить до значних ресурсних втрат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шатов С. В. Організаційно-технологічні рішення розбирання завалів декількох зруйнованих будівель або споруд / С. В. Шатов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2011. - № 1-2. – С. 8-14.
2. Шатов С. В. Організаційно-технологічні рішення розбирання пошкоджених та реконструйованих споруд та будівель / С. В. Шатов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2013. - № 4 : Наукові дослідження. – С. 12-17.
3. Хмара Л. А. Технологічні особливості розбирання завалів зруйнованих будівель / Л. А. Хмара, С В. Шатов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2010. − № 7. – С. 42-52

Овод Валерій Вікторович – студент 2-го курсу магістратури, група 2Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця,

Науковий керівник: ***Бойчук Віталій Миколайович*** – д.п.н., професор, кафедра будівництва цивільної і екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця. dudar@vntu.edu.ua

Ovod Valery – 2st year master's student, group 2B-22m, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia,

Supervisor: ***Vitaliy Boychuk*** – d.p.n, professor, Department of Civil Engineering and Environmental Engineering of the Vinnytsya national technical university. dudar@vntu.edu.ua

УДК 697.7; 697.9

Д. О. Печериця
В. В. Швець

ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА АРХІТЕКТУРНІ АСПЕКТИ АДАПТАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ПІД СОЦІАЛЬНІ ОБ'ЄКТИ НА ПРИКЛАДІ РЕКОНСТРУКЦІЇ МЕБЛЕВОЇ ФАБРИКИ У РЕАБІЛІТАЦІЙНИЙ ЦЕНТР

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглянуто технологічні та архітектурні аспекти адаптації промислових будівель під соціальні об'єкти на прикладі реконструкції меблевої фабрики у реабілітаційний центр. Досліджено потенціал промислових споруд для трансформації у заклади соціального призначення, визначено ключові вимоги до функціонального зонування, безбар'єрності, інженерно-технічної модернізації та формування комфортного реабілітаційного середовища. Проаналізовано конструктивні особливості промислових каркасних систем, можливості їх перепланування, інтеграції сучасних енергоефективних технологій, а також застосування принципів універсального та біофільного дизайну. Встановлено, що адаптація меблевої фабрики у реабілітаційний центр є ефективним інструментом ревіталізації промислового фонду, підвищення соціальної інфраструктури міста та створення інклюзивних просторів нового типу. Отримані результати підтверджують доцільність комплексного підходу до реконструкції промислових будівель та демонструють перспективність використання існуючого промислового потенціалу для формування сучасних реабілітаційних закладів.

Ключові слова: адаптація промислових будівель, реконструкція, реабілітаційний центр, меблева фабрика, ревіталізація, архітектурні рішення, енергоефективність, безбар'єрність, універсальний дизайн, сталий розвиток.

Abstract

The article examines the technological and architectural aspects of adapting industrial buildings for social use based on the case of transforming a furniture factory into a rehabilitation center. The study highlights the potential of industrial structures for conversion into socially oriented facilities and defines the key requirements for functional zoning, barrier-free accessibility, engineering modernization, and the creation of a comfortable therapeutic environment. The analysis focuses on the structural features of industrial frame systems, their potential for spatial reorganization, the integration of modern energy-efficient technologies, and the application of universal and biophilic design principles. The findings indicate that converting a furniture factory into a rehabilitation center is an effective tool for revitalizing industrial properties, strengthening urban social infrastructure, and creating new inclusive environments. The research confirms the relevance of a comprehensive approach to industrial reconstruction and demonstrates the feasibility of utilizing existing industrial assets to develop modern rehabilitation facilities.

Keywords: industrial building adaptation, reconstruction, rehabilitation center, furniture factory, revitalization, architectural solutions, energy efficiency, barrier-free design, universal design, sustainable development.

Вступ

В умовах сучасних урбанізаційних процесів та трансформації просторової структури міст усе більшої актуальності набуває адаптація промислових територій та об'єктів під нові функції. Значна частина існуючого промислового фонду України не використовується або функціонує частково, що створює соціальні, економічні та екологічні проблеми. Одночасно зростає потреба у приміщеннях соціального спрямування — реабілітаційних центрах, інклюзивних просторах, медико-соціальних закладах, центрах підтримки ветеранів, осіб з інвалідністю та постраждалих від війни. Така ситуація зумовлює необхідність ефективного переосмислення та ревіталізації колишніх промислових будівель, які можуть бути пристосовані під нові суспільні функції з мінімальною витратою ресурсів та максимальним збереженням архітектурної ідентичності.

Адаптація меблевих фабрик як будівель легкої промисловості є перспективним напрямом реконструкції: ці об'єкти, як правило, мають великі відкриті простори, значні прольоти, універсальні каркаси та високий рівень технічної автономності. Це створює передумови для ефективного перетворення їх під реабілітаційні центри, що потребують гнучких площ, спеціалізованих приміщень, зручної логі-

стики, доступності та можливості встановлення сучасного обладнання. У статті розглядаються технологічні, інженерні та архітектурні особливості реконструкції меблевої фабрики в реабілітаційний центр, визначаються ключові принципи адаптивного проєктування, етапи модернізації та найважливіші вимоги до безпеки й комфорту майбутніх користувачів.

Матеріали статті ґрунтуються на системному аналізі літератури, нормативних документів, досвіду ревіталізації промислових територій в Україні та за кордоном, а також на принципах адаптивного будівництва та сталого розвитку [1–6].

Основна частина

Адаптація промислових будівель під соціальні об’єкти є комплексним процесом, який передбачає узгодження архітектурних, конструктивних, інженерних та технологічних рішень з урахуванням нормативних вимог до безпечної експлуатації та комфортного перебування людей. У випадку реконструкції меблевої фабрики під реабілітаційний центр перед проєктувальниками постає завдання не лише модернізації фізичного середовища, а й створення простору, спрямованого на медико-психологічну, фізіотерапевтичну, соціальну та психологічну реабілітацію, що вимагає особливого підходу до планувальних рішень та інженерної інфраструктури.

Промислові об’єкти, зокрема меблеві фабрики, мають значні переваги для адаптації: великі виробничі зали, модульні каркаси, наявність вантажних ліфтів і технічних комунікацій, можливість створення відкритих планувань, високі стелі, хорошу інсоляцію та широкі можливості для впровадження сучасних технологій енергоефективності [1]. Однак вони містять і суттєві виклики: зношеність конструкцій, застарілі системи вентиляції та опалення, відсутність теплової ізоляції, підвищені вологісні та шумові режими, а також потенційні екологічні ризики. Тому реставраційно-реконструктивні роботи мають починатися з детального технічного обстеження будівлі, оцінювання міцності несучих конструкцій, аналізу стану фундаментів, перекриттів, колон та стін. Важливим етапом є визначення можливостей для зміни функціонального призначення без шкоди для стабільності конструктивної системи.

Ключовими архітектурними завданнями під час адаптації меблевої фабрики під реабілітаційний центр стають функціональне зонування, організація безбар’єрного доступу, створення комфортного і безпечного середовища, а також забезпечення логічного потокового руху користувачів. Простір реабілітаційного центру повинен містити зони фізіотерапії, тренажерні зали, кабінети індивідуальної терапії, медичні приміщення, психологічні та сенсорні кімнати, приміщення для групових занять, адміністративні зони, а також сервісні простори. Просторове перепланування можливою є завдяки універсальності промислових каркасних структур, що дозволяє створювати гнучкі планувальні рішення без істотного втручання в несучі конструкції.

Технологічна модернізація передбачає встановлення енергоефективних систем вентиляції з рекуперацією тепла, сучасних теплових пунктів, систем очистки повітря, низькотемпературного опалення, систем “розумної” автоматизації будівлі, а також використання екологічно безпечних матеріалів. Реабілітаційний центр потребує особливої уваги до мікроклімату: концентрації CO_2, вологості, температури, рівня освітленості, шумових характеристик, якості повітря. Реконструкція меблевої фабрики часто включає повну заміну огороджувальних конструкцій або утеплення фасадів з використанням сучасних систем зовнішніх теплоізоляційних композиційних матеріалів (СЕТК). Це підвищує енергоефективність будівлі та відповідає сучасним вимогам сталого будівництва [2].

На архітектурну концепцію реконструкції також впливає необхідність створення психологічно комфортного середовища для людей з різними видами травм. Тому застосовуються принципи біофільного дизайну, використання природного освітлення, теплих кольорових гамат, безпечних матеріалів, інтуїтивної навігації, а також просторів, що сприяють соціальній взаємодії — атріумів, внутрішніх дворів, відкритих галерей та зон відпочинку. Саме такі рішення рекомендовані сучасними дослідженнями медико-соціальної архітектури [3].

Важливим аспектом реконструкції є інтеграція будівлі у міський контекст: забезпечення доступності громадського транспорту, облаштування прилеглої території, озеленення, створення паркувальних зон, облаштування безпечних маршрутів для маломобільних груп населення. Особливе значення має адаптація входу, встановлення пандусів, тактильних елементів, ліфтів, а також спеціальних орієнтирів для людей з порушенням зору. Відповідно до державних будівельних норм такі умови є обов’язковими для соціальних об’єктів [4].

Конструктивні рішення реконструкції меблевої фабрики часто включають посилення колон і ригелів, заміну перекриттів, облаштування нових внутрішніх сходів і вертикальних комунікацій. Додатково здійснюється перепрофілювання існуючих виробничих поверхів у функціональні блоки із застосуванням легких перегородок та багатофункціональних конструкцій. Одним з ключових завдань є забезпечення пожежної безпеки: впровадження систем раннього виявлення пожежі, пожежних спринклерів, евакуаційних виходів, протидимних систем та вогнестійких матеріалів згідно з вимогами ДБН [5].

Завдяки наявності значних прольотів і високих стель меблеві фабрики дають змогу створювати просторі функціональні зали для фізичної реабілітації, гідротерапевтичні відділення, медичні кабінети та навіть стаціонарні блоки. Використання BIM-технологій під час проєктування забезпечує точний розрахунок навантажень, оптимальне планування інженерних мереж, підвищення ефективності будівельних робіт та прогнозування експлуатаційних характеристик будівлі [6].

Таким чином, адаптація меблевої фабрики під реабілітаційний центр є прикладом комплексної ревіталізації, яка поєднує реконструктивні технології, сучасні архітектурні підходи, принципи універсального дизайну та енергоефективності. Переосмислення промислових об'єктів у соціальні дозволяє створити нову цінність у міському середовищі, розвивати соціальну інфраструктуру та забезпечувати доступність медико-соціальних послуг для населення.

Висновки

Реконструкція меблевої фабрики під реабілітаційний центр демонструє ефективність адаптації промислових будівель до нових, соціально важливих функцій. Проєктування таких об'єктів ґрунтується на поєднанні технологічних, архітектурних, конструктивних та соціальних рішень, спрямованих на забезпечення комфорту, безпеки та функціональності майбутнього середовища. Аналіз показує, що промислові будівлі мають значний потенціал для перепрофілювання завдяки своїм конструктивним особливостям, проте потребують ретельного технічного обстеження, модернізації інженерних мереж, утеплення та створення безбар'єрного простору.

Ревіталізація промислових територій є стратегічно важливою для розвитку міст, оскільки дозволяє перетворювати занедбані об'єкти на активні суспільні простори. Реабілітаційні центри, розміщені в адаптованих промислових будівлях, здатні забезпечити високий рівень доступності послуг, гнучкість використання просторів, а також можливість інтеграції сучасних медичних та реабілітаційних технологій.

Таким чином, адаптація меблевої фабрики у реабілітаційний центр є прикладом вдалого синтезу інженерних інновацій, архітектурної креативності та соціальної орієнтованості, що підтверджує перспективність такого напрямку реконструкції в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іваненко В. П. Ревіталізація промислових територій у містобудівному розвитку. Київ: Будівельник, 2020. 256 с.
2. Кравченко О. М. Енергоефективні технології реконструкції будівель: сучасні підходи. Львів: ЛНАУ, 2019. 188 с.
3. Литвиненко М. С. Архітектура медичних та реабілітаційних закладів: принципи формування. Харків: ХНУБА, 2021. 312 с.
4. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Київ: Мінрегіон України, 2018.
5. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Київ: Мінрегіон України, 2016.
6. Мельник Ю. А. Інформаційне моделювання будівель (BIM) у реконструкції та модернізації. Одеса: ОДАБА, 2022. 204 с.

Печерица Денис Олександрович – студент 2-го курсу магістратури, група 2Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, kalash@gmail.com

Швець Віталій Вікторович – к.т.н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

Pecherytsya Denys – 2nd year master's student, group 2B-24m, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, kalash@gmail.com

Shvets Vitaliy – Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture Vinnitsa National Technical University, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

УДК 725.4:69.05:711.4

К. А. Аветісян
В. В. Швець

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО РЕКОНСТРУКЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ТА ЇХ ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ В УМОВАХ СУЧАСНОГО МІСТОБУДУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглянуто сучасні інноваційні підходи до реконструкції промислових будівель у контексті розвитку містобудування. Проаналізовано технологічні, конструктивні та архітектурні рішення, що забезпечують адаптацію індустріальних об'єктів до нових функцій, включаючи їх перетворення на соціальні, культурні та громадські установи. Особливу увагу приділено використанню BIM-моделювання, модульних надбудов, енергоефективних технологій, «зелених» фасадів, інклюзивних рішень та інтелектуальних систем керування будівлями. Визначено переваги комплексної реновації для сталого міського розвитку, покращення просторової організації та підвищення якості міського середовища. Розкрито перспективи впровадження інновацій у реконструкційні процеси з урахуванням сучасних трендів «розумної урбанізації», формування креативних кластерів та ревіталізації промислових територій.

Ключові слова: реконструкція промислових будівель, інноваційні технології, містобудування, BIM-моделювання, енергоефективність, модульні конструкції, адаптивне використання, ревіталізація, інклюзивність, урбаністичний розвиток.

Abstract

The article examines innovative approaches to the reconstruction of industrial buildings within the framework of contemporary urban development. The study analyzes technological, structural, and architectural solutions enabling the adaptive reuse of industrial facilities for new functions, including their transformation into social, cultural, and public institutions. Special attention is given to BIM modeling, modular extensions, energy-efficient technologies, green façades, inclusive design strategies, and intelligent building management systems. The advantages of comprehensive renovation for sustainable urban development, improved spatial organization, and enhanced environmental quality are highlighted. The article outlines future perspectives for implementing innovative reconstruction strategies in line with modern trends of smart urbanization, the formation of creative clusters, and the revitalization of post-industrial territories.

Keywords: industrial building reconstruction, innovative technologies, urban development, BIM modeling, energy efficiency, modular structures, adaptive reuse, revitalization, inclusive design, smart urbanization.

Вступ

Сучасне містобудування дедалі активніше орієнтується на раціональне використання наявного міського простору, зменшення антропогенного навантаження та інтеграцію застарілих територій у нові соціально-економічні процеси. Промислові будівлі, зведені у період активної індустріалізації XX століття, сьогодні нерідко втрачають первісне призначення, проте залишаються значним просторовим та інженерним ресурсом для розвитку міст. Їх реконструкція та повторне використання стають важливою складовою сталого розвитку територій, спрямованого на скорочення обсягів нового будівництва, збереження матеріальних ресурсів і відродження промислових зон [1].

Проблематика реновації промислових споруд пов'язана з низкою архітектурних, конструктивних та технологічних викликів. Вона потребує інноваційних підходів до адаптації інфраструктури, використання сучасних проєктних методик, впровадження цифрових інструментів, енергоефективних технологій, а також створення комфортного середовища з дотриманням принципів екологічності та економічної доцільності [2]. Особливо актуальним є перетворення індустріальних об'єктів на соціальні, культурні, освітні та громадські центри, що опосередковано сприяє соціальній інтеграції занедбаних територій [3].

Метою даного дослідження є аналіз інноваційних методів реконструкції промислових будівель, їх міської інтеграції, а також визначення перспектив розвитку таких підходів в умовах сучасного містобудування.

Основна частина

Реконструкція промислових будівель у сучасних містах стає важливим стратегічним напрямом, оскільки дозволяє ефективно використовувати потенціал міських територій та формувати нову архітектурну якість середовища. Інноваційні підходи до реновації передбачають застосування модульних конструкцій, адаптивних архітектурних рішень, цифрових систем моделювання, а також гнучких підходів до планувальної організації просторів. У цьому контексті BIM-технології відіграють провідну роль, забезпечуючи багатошарове моделювання об'єкта, аналіз технічного стану конструкцій та оптимізацію інженерних рішень на основі параметричних даних [4].

Важливим аспектом реконструкції є збереження автентичності промислових будівель, оскільки вони становлять унікальну частину історичної спадщини міста. Архітектори часто поєднують стару цегляну кладку та металеві ферми з сучасними скляними вставками, легкими фасадними системами та енергоефективними матеріалами, що створює контраст між індустріальним минулим і сучасною архітектурною естетикою. Промислові інтер'єри дозволяють впроваджувати open space-простори, трансформовані зали, багатофункціональні зони, що актуально для офісів, культурних майданчиків і громадських установ [5].

Окремої уваги заслуговує питання екологічності реконструкції. Використання вторинних матеріалів, мінімізація демонтажних робіт, впровадження систем утилізації тепла й дощової води, установка сонячних панелей та систем рекуперації дозволяють не лише підвищити енергоефективність, а й зменшити екологічний слід будівлі. Інноваційні фасадні системи з використанням «зелених» стін, біоадаптивних панелей або фотовольтаїки забезпечують не тільки технічне вдосконалення, але й формують естетично цінні зовнішні рішення.

Успішна реконструкція передбачає врахування міських сценаріїв розвитку територій. При трансформації промислової забудови на перший план виходить транспортна доступність, інтеграція у громадський простір, створення комфортних пішохідних і рекреаційних зон. Зміна функції будівель відкриває можливості розвитку соціальної інфраструктури, розміщення соціальних центрів, освітніх установ, креативних кластерів, реабілітаційних, медичних та культурних комплексів. Такі об'єкти стають осередками активності, формуючи нові вузли громадської взаємодії [6].

Технологічні інновації в реконструкції промислових будівель включають впровадження легких металевих та композитних добудов, надбудов поверхів, систем підсилення фундаментів і колон за допомогою фібробетонних композитів. Цифрові сканери та лазерне 3D-моделювання забезпечують точний аналіз деформацій та дефектів, дозволяючи проектувати підсилення без зайвих демонтажних робіт. Такий підхід знижує вартість реконструкції та скорочує термін її виконання.

Перспективи розвитку реновації промислових об'єктів у містобудуванні пов'язані з тенденцією «розумної урбанізації». Інтелектуальні системи управління будівлею (BMS), сенсорні мережі контролю мікроклімату, автоматизовані системи освітлення та вентиляції дозволяють створювати динамічні, адаптивні простори. У майбутньому популярності набуватимуть автономні мікромережі (microgrid), що інтегрують відновлювану енергію, а також сіткові інженерні рішення, які забезпечують синергію старих конструкцій і сучасних технологій.

Розвиток інноваційних методів реконструкції також тісно пов'язаний із соціальними потребами міського населення. У період активної урбанізації спостерігається брак земель під нове будівництво, тому трансформація промислових будівель стає раціональною альтернативою. Промислові об'єкти мають значний конструктивний потенціал, великі прольоти та можливість створення комбінованих просторів. Саме тому їх адаптація для соціальних цілей—шкіл, реабілітаційних центрів, лікарень, культурних просторів—є важливим напрямком сучасної архітектури.

Значну роль у реновації відіграють стандарти безпеки, інклюзивності та ергономіки. Застарілі промислові будівлі потребують адаптації до норм пожежної безпеки, теплоізоляції, інсоляції, акустичного комфорту. У межах комплексної реконструкції інтегрують ліфтові шахти, пандуси, системи безбар'єрного доступу, що сприяє підвищенню соціальної доступності об'єктів.

Для систематизації ключових інноваційних підходів було створено аналітичну таблицю 1.

Таблиця 1 – Інноваційні напрямки реконструкції промислових будівель та їх характеристика

Напрямок	**Сутність підходу**	**Основні переваги**	**Приклади застосування**
BIM-технології	Цифрове моделювання життєвого циклу будівлі	Точність проєктування, зменшення помилок, контроль вартості	Аналіз дефектів, планування реконструкції
Енергоефективні системи	Використання теплоізоляції, рекуперації, ВДЕ	Зниження енергоспоживання, екологічність	«Зелені» промислові реконструкції в ЄС
Модульні надбудови	Легкі металеві та композитні конструкції	Швидкість монтажу, менше навантаження	Добудова поверхів без зупинки експлуатації
Інклюзивна адаптація	Безбар'єрний доступ, вертикальна мобільність	Соціальна доступність	Реабілітаційні та освітні центри
Контрастна архітектурна реконструкція	Поєднання історичного та сучасного	Збереження спадщини, нова естетика	Лофт-центри, культурні майданчики
«Зелені» технології	Біофасади, утилізація води, вторинні матеріали	Зменшення впливу на довкілля	Еко-кластери, відновлені фабрики

Висновки

Інноваційні підходи до реконструкції промислових будівель формують нову парадигму містобудування, у якій промисловий спадок стає ресурсом для розвитку міського середовища. Аналіз сучасних тенденцій свідчить, що реконструкція промислових споруд має значний потенціал для створення багатофункціональних об'єктів, які поєднують економічну ефективність, екологічність, естетичну виразність та соціальну орієнтацію. Технологічні інновації — BIM-моделювання, модульні системи, новітні фасадні матеріали та енергоефективні технології – відкривають широкі можливості для оновлення будівельного фонду.

Перспективи реконструкції промислових будівель пов'язані з розвитком змішаних функцій, формуванням інноваційних кластерів, ревіталізацією занедбаних територій, створенням нової архітектурної ідентичності та інтеграцією сучасних екологічних рішень. Завдяки інноваційному підходу промислова архітектура здатна виконувати ключову роль у розвиткові міст і забезпечувати формування нових урбаністичних просторів, що відповідають викликам XXI століття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іваненко В. П. Адаптивне використання промислової архітектури в умовах сучасного міста. Київ: Будівельник, 2020. 284 с.
2. Мельник Ю. А. Інформаційне моделювання будівель (BIM) у реконструкції та модернізації. Одеса: ОДАБА, 2022. 204 с.
3. Кравченко О. М. Енергоефективні технології модернізації будівель промислового призначення. Львів: ЛНАУ, 2019. 188 с.
4. Литвиненко М. С. Сучасні фасадні системи в архітектурній реконструкції. Харків: ХНУБА, 2021. 312 с.
5. Петренко Д. В. Модульні та збірні конструкції у реконструкції промислових будівель. Дніпро: ПДАБА, 2021. 176 с.
6. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Київ: Мінрегіон України, 2018.

Аветісян Карен Арменович – студент 2-го курсу магістратури, група 2Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, kalash@gmail.com

Швець Віталій Вікторович – к.т.н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

Avetisyan Karen – 2nd year master's student, group 2B-24m, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, kalash@gmail.com

Shvets Vitaliy – Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture Vinnitsa National Technical University, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

УДК 728.3:72.033.1:711.4

В. В. Дімнич
В. В. Швець

АРХІТЕКТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ПІД ГОТЕЛІ В ІСТОРИЧНІЙ ЗАБУДОВІ НА ПРИКЛАДІ МІСТА ЧЕРНІВЦІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглянуто архітектурно-технологічні підходи до реконструкції житлових будівель під готелі в історичній забудові міста Чернівці. Проаналізовано особливості конструктивних елементів історичних споруд, технології підсилення перекриттів та фундаментів, інтеграцію сучасних інженерних систем, реставрацію фасадів і планувальну адаптацію внутрішніх просторів. Розглянуто використання BIM-технологій, модульних перегородок, енергоефективних систем та інклюзивних рішень. Показано перспективи комплексної реконструкції як способу збереження архітектурної спадщини та забезпечення сучасного туристично-гостинного функціоналу.

Ключові слова: реконструкція житлових будівель, готель, історична забудова, архітектурно-технологічні рішення, BIM-моделювання, підсилення конструкцій, енергоефективність, реставрація фасадів, інклюзивність, адаптивне використання.

Abstract

The article examines architectural and technological approaches to the reconstruction of residential buildings into hotels within the historical urban fabric of Chernivtsi. The study analyzes structural features of historic buildings, technologies for reinforcing floors and foundations, integration of modern engineering systems, façade restoration, and interior spatial adaptation. The use of BIM modeling, modular partitions, energy-efficient systems, and inclusive design solutions is discussed. The article demonstrates the prospects of comprehensive reconstruction as a method for preserving architectural heritage while providing modern hospitality functions.

Keywords: residential building reconstruction, hotel, historical urban fabric, architectural and technological solutions, BIM modeling, structural reinforcement, energy efficiency, façade restoration, inclusive design, adaptive reuse.

Вступ

Реконструкція житлових будівель, розташованих в історичній міській тканині, є одним з ключових напрямів розвитку сучасної архітектури, спрямованим на забезпечення функціонального оновлення застарілого міського фонду та водночас збереження історичної культурної цінності. Місто Чернівці, яке має багату архітектурну спадщину кінця XIX – початку XX століття, характеризується високим потенціалом для адаптивного використання історичних будівель під сучасні готельні комплекси. Особливість міста полягає у поєднанні різних стилів—неоренесансу, сецесії, класицизму, неоготики—що формують унікальний архітектурний образ органічного європейського центру [1].

Зростаючи як туристичний осередок західного регіону України, Чернівці потребують сучасної інфраструктури гостинності, включаючи малі та середні готелі, хостели, бутик-готелі та апарт-готелі. Через обмеження щодо нового будівництва в центральній історичній частині міста реконструкція існуючих житлових будівель стає найбільш доцільним і сталим рішенням, що відповідає як містобудівним, так і економічним вимогам [2].

Архітектурно-технологічні рішення при реконструкції повинні враховувати історико-культурні обмеження, конструктивні особливості старовинних споруд, вимоги до інженерних систем сучасного готелю та норми безпеки, комфорту й енергоефективності. Приклад Чернівців демонструє, що гармонійна інтеграція нових функцій у історичну структуру можлива лише за умови комплексного аналізу будівельної спадщини, використання сучасних технологій моделювання та реставрації, а також збереження автентичних архітектурних елементів [3].

Метою статті є всебічний аналіз архітектурно-технологічних рішень, що застосовуються при адаптації історичних житлових будівель під готельні заклади, з особливим акцентом на практиці міста Чернівці, визначення проблем, перспектив і можливостей.

Основна частина

Реконструкція історичних житлових будівель під готелі в місті Чернівці потребує глибокого аналізу архітектурних, конструктивних та технологічних особливостей сформованої забудови. Центральна частина міста включає будівлі австрійського періоду (1775–1918), значна частина яких має статус об'єктів культурної спадщини. Це зумовлює обмеження щодо втручання в первісні фасади, планувальні структури та декоративні елементи. Проте внутрішні простори таких будівель зазвичай можуть бути адаптовані для розміщення готельних номерів, рецепції, сервісних приміщень і технічних площ без втрати історичної автентичності [4].

Житлові будівлі, що підлягають реконструкції, характеризуються масивними зовнішніми стінами завтовшки 60–80 см, високими стелями (понад 3,5 м), дерев'яними міжповерховими перекриттями та складними архітектурними деталями. Одним із першочергових завдань є обстеження технічного стану несучих конструкцій. Застосування лазерного 3D-сканування та BIM-моделювання дозволяє детально відтворити геометрію споруди, оцінити деформації, виявити пошкодження штукатурки, фундаментів, кроквяних систем. Такі технології мінімізують ризики при подальшому втручанні та підвищують якість проєктної документації [5].

При реконструкції житлових будівель під готелі особливої уваги потребує планувальна адаптація. В історичних будівлях планування часто не відповідає сучасним нормам щодо площі номерів, санітарних вузлів і коридорів. Тому проводиться перепланування внутрішніх об'ємів з урахуванням мінімального втручання у несучі стіни. У деяких випадках можливе застосування легких модульних перегородок, фальшпідлог, інфраструктурних шахт, що дозволяють інтегрувати сучасні інженерні системи без порушення конструктивної цілісності.

Особливе значення має реставрація фасадів. Історичні будівлі Чернівців мають багатий декор – сандрики, ліпнину, карнизи, пілястри, декоративну цегляну кладку. Роботи з реставрації здійснюються з урахуванням вимог ДБН та рекомендацій Міністерства культури. Застосовують сучасні матеріали—мінеральні штукатурки, суміші для реставрації цегли, матеріали для зміцнення природного каменю. Важливим аспектом є збереження кольорової гами історичного середовища, що створює цілісність міського ансамблю.

Технологічним викликом є оновлення інженерних систем. Сучасні готелі потребують систем кондиціонування та вентиляції, пожежної сигналізації, відеонагляду, ліфтів, теплопостачання, гарячого водопостачання, Wi-Fi-інфраструктури, смарт-систем керування номерним фондом. Інтеграція цих систем у історичну будівлю вимагає застосування компактних трубопроводів, горизонтальних колекторних схем, індивідуальних теплових пунктів та енергоощадних технологій. Перевагу надають VRF/VRV-системам, які можна прокладати над стелями або підлогу без істотних руйнувань [5,6].

У багатьох випадках виникає потреба у посиленні фундаментів та перекриттів. Для цього використовують вуглецеві композити, ін'єктування тріщин, металеві обойми, армовані бетонні пояси. Такі методи дозволяють збільшити несучу здатність конструкцій без зміни зовнішнього вигляду будівлі. При реконструкції дахів застосовують металочерепицю, фальцеві системи, мідні покрівлі та теплий горищний простір із можливістю розміщення мансардних номерів.

Важливою частиною проєктування є забезпечення інклюзивності. У тісній історичній забудові впровадження ліфтів, пандусів, підйомників та безбар'єрних входів часто є складним завданням. Тому архітектори використовують малі підйомні платформи, внутрішні ліфтові шахти, адаптивні маршрути доступності, що мінімально впливають на зовнішній вигляд будівлі.

Для оцінки різних підходів було створено порівняльну таблицю 1 та таблицю 2.

На рисунку 1. Зображено схему адаптивного повторного використання історичної житлової будівлі під готель у місті Чернівці. Показано поетапний процес: від обстеження та цифрового моделювання (BIM) до підсилення конструкцій, інтеграції сучасних інженерних систем, реставрації фасадів та введення будівлі в експлуатацію як готельного комплексу. Такий підхід дозволяє зберегти автентичність архітектури та забезпечити сучасні функціональні та технологічні вимоги.

Таблиця 1 — Технологічні рішення при реконструкції історичних житлових будівель під готелі

Напрямок	Рішення	Переваги	Обмеження
Інженерні системи	VRV/VRF, рекуператори, індивідуальні теплові пункти	Енергоефективність	Необхідність прихованого монтажу
Конструктивне підсилення	Вуглецеві стрічки, ін’єктування	Мінімальне втручання	Висока вартість
Реставрація фасадів	Мінеральні штукатурки, реставрація ліпнини	Збереження автентики	Роботи під наглядом експертів
Планувальні зміни	Легкі перегородки, фальшпідлога	Гнучка адаптація	Обмеження на демонтаж несучих стін

Таблиця 2 — Порівняння типових параметрів житлових будівель до та після реконструкції під готель

Показник	До реконструкції	Після реконструкції
Висота поверху	3,2–3,8 м	3,0–3,8 м
Тип перекриття	Дерев'яне	Підсилене або замінене
Інженерні мережі	Зношені	Нова комплексна система
Функція приміщень	Житлові	Готельні номери, сервісні зони
Фасад	Частково пошкоджений	Реставрований за історичним стилем

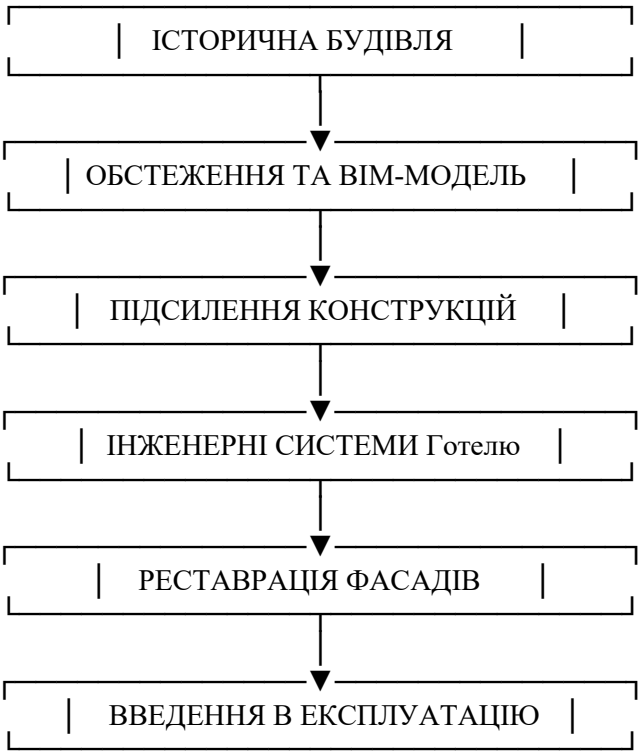


Рис. 1 Схема адаптивного повторного використання історичної будівлі під готель

Висновки

Реконструкція житлових будівель під готелі в історичній забудові міста Чернівці є комплексним процесом, що вимагає узгодження архітектурних, технологічних, інженерних та реставраційних рішень. Ефективність адаптивного використання залежить від точного технічного обстеження, застосування сучасних цифрових технологій моделювання, збереження історичної автентичності та інтеграції енергоефективних інженерних систем. Використання таких рішень дозволяє сформувати конкурентоспроможний готельний фонд, забезпечити тури-

стичну привабливість міста та зберегти його унікальну архітектурну спадщину. Чернівці демонструють перспективність комплексної реновації як моделі сталого розвитку історичного міського середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.3.2-1-2004 Реставраційні, консерваційні та ремонтні роботи на пам’ятках культурної спадщини.
2. ДБН А.2.2-3:2014 Склад та зміст проектної документації на будівництво.
3. Слободян В. Чернівці: Архітектурна спадщина та перспективи її використання. – Чернівці: Рута, 2020. – 248 с.
4. Логвин Г. Архітектура Буковини: історичний розвиток та стилістика. – Львів: Вид-во ЛНУ, 2018. – 312 с.
5. Eastman C. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling. – New Jersey: Wiley, 2018.
6. Plevoets B., Van Cleempoel K. Adaptive Reuse of Heritage Buildings. – London: Routledge, 2019.

Дімнич Віталій Вікторович – студент 2-го курсу магістратури, група 2Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, kalash@gmail.com

Швець Віталій Вікторович – к.т.н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

Dimnich Vitaliy – 2nd year master's student, group 2B-24m, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, kalash@gmail.com

Shvets Vitaliy – Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture Vinnitsa National Technical University, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

УДК 728.3:69.035.5:721.2

О. В. Найчук
Ю. С. Бікс

РАЦІОНАЛЬНІ КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ БАГАТОШАРОВИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СТІН ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглянуто сучасні конструктивні рішення багатошарових енергоефективних стін житлових будівель, що забезпечують оптимальне поєднання теплоізоляційних, міцнісних та експлуатаційних характеристик. Проведено аналіз матеріалів, товщини шарів, способів кріплення та технологій монтажу, включно з вентильованими фасадами, паро- і вітрозахисними шарами, армуванням утеплювачів. Представлено розрахунки тепловтрат та порівняння ефективності різних конструкцій через таблиці та схеми. Стаття демонструє переваги комплексного підходу до проєктування багатошарових стін для зниження енергоспоживання, підвищення довговічності та комфорту мешканців.

Ключові слова: багатошарова стіна, енергоефективність, теплоізоляція, житлова будівля, вентильований фасад, пароізоляція, вітрозахист, матеріали, тепловтрати, конструктивні рішення.

Abstract

The article examines modern constructive solutions for multilayer energy-efficient walls of residential buildings, ensuring optimal combination of thermal insulation, strength, and operational characteristics. The analysis includes materials, layer thickness, fastening methods, and installation technologies, including ventilated facades, vapor- and wind-proof layers, and insulation reinforcement. Heat loss calculations and efficiency comparisons of different constructions are presented through tables and diagrams. The study demonstrates the advantages of a comprehensive approach to designing multilayer walls for reducing energy consumption, enhancing durability, and improving residents' comfort.

Keywords: multilayer wall, energy efficiency, thermal insulation, residential building, ventilated facade, vapor barrier, wind protection, materials, heat loss, constructive solutions.

Вступ

Сучасне житлове будівництво стикається із завданням одночасного забезпечення високих експлуатаційних характеристик, комфорту мешканців та енергоефективності будівель. Одним із ключових елементів у досягненні цих цілей є багатошарова стіна, яка об'єднує несучу конструкцію, тепло- та звукоізоляційні матеріали, пароізоляційні та захисні шари, а також оздоблювальні покриття [1].

Раціональне проєктування багатошарових стін передбачає не лише вибір матеріалів із високими теплоізоляційними властивостями, але й оптимізацію товщини шарів, конструктивних рішень, методів монтажу та взаємодії елементів. Важливим аспектом є баланс між несучою здатністю, енергоефективністю, вартістю та архітектурним оформленням фасадів.

Метою статті є системний аналіз конструктивних рішень багатошарових енергоефективних стін житлових будівель, оцінка їх теплотехнічних характеристик, довговічності та економічної доцільності.

Основна частина

Багатошарові стіни житлових будівель складаються з наступних елементів: несуча конструкція (зазвичай монолітний залізобетон, цегляна кладка або блоки з легких матеріалів), утеплювач, пароізоляційна плівка, вітрозахисний шар та зовнішнє оздоблення (штукатурка, фасадні панелі, вентильовані системи). Оптимізація цих елементів є критичною для забезпечення енергоефективності будівель [2].

Теплотехнічний розрахунок багатошарових стін показує, що значну роль відіграє товщина і тип утеплювача. Використання мінеральної вати, екструдованого пінополістиролу (XPS) та пінополіуретану (PUR) дозволяє досягти високих показників опору теплопередачі ($R \geq 5$ м²·К/Вт) при товщині

150–250 мм. Однак для досягнення оптимальної конструкції важливо враховувати не лише теплоізоляційні характеристики, а й вологостійкість, паропроникність та сумісність матеріалів [3].

Сучасні конструктивні рішення передбачають використання вентильованих фасадів. Ця технологія дозволяє уникнути конденсації в товщі стіни, забезпечує додаткову вентиляцію повітря між утеплювачем і зовнішнім облицюванням, а також знижує ризик розвитку грибка та цвілі [4].

У таблиці 1 наведено порівняння різних типів багатошарових стін за основними характеристиками.

Таблиця 1 – Порівняння типів багатошарових стін

Конструктив	**Товщина, мм**	**Теплопровідність, Вт/(м·К)**	**Опір теплопередачі R, м²·К/Вт**	**Вологопроникність**	**Вартість, грн/м²**
Монолітний ЗБ	300	1,7	0,18	Низька	1200
Цегляна кладка + мінеральна вата	500	0,35	5,0	Середня	1500
Газобетон + XPS	400	0,25	5,5	Висока	1400
Вентильований фасад + PUR	450	0,22	6,0	Висока	1800

Раціональне конструювання стін передбачає також зменшення містків холоду. Для цього використовуються:

- спеціальні кріплення для утеплювача з низькою теплопровідністю,
- армуючі сітки з композитних матеріалів,
- розриви металевих елементів на несучих конструкціях [5,6].

На рисунку 1 показано схему сучасної багатошарової енергоефективної стіни.



Рис. 1 Схема багатошарової енергоефективної стіни

Ключовим елементом є енергетичний баланс будівлі. Оптимізація багатошарових стін дозволяє досягти значного зниження витрат на опалення (до 40–60%) та кондиціонування, зменшення втрат тепла через зовнішні огороджувальні конструкції. Таблиця 2 демонструє розрахункові показники тепловтрат для різних конструкцій.

Для підвищення довговічності конструкцій застосовують армування утеплювача, фіксатори з низькою теплопровідністю, водовідштовхувальні просочення та організацію дренажних шарів у вентильованих фасадах. Таблиця 3 показує основні матеріали для багатошарових стін і їх характеристики.

Таблиця 2 – Розрахунок тепловтрат через зовнішні стіни

Тип стіни	Площа стіни, м²	R, м²·К/Вт	Тепловтрати, Вт/м²	Витрати на опалення, грн/рік
Монолітний ЗБ	120	0,18	500	120000
Цегляна кладка + мінеральна вата	120	5,0	18	4300
Газобетон + XPS	120	5,5	16	3800
Вентильований фасад + PUR	120	6,0	15	3500

Таблиця 3 – Матеріали для багатошарових стін

Шар	Матеріал	Товщина, мм	λ, Вт/(м·К)	Особливості
Несучий	Цегла	250	0,6	Висока міцність
Утеплювач	Мінеральна вата	150	0,035	Паропроникний
Утеплювач	XPS	100	0,028	Вологостійкий
Пароізоляція	Плівка PE	1	0,2	Захист від конденсату
Фасад	Керамічна плитка	20	0,9	Декоративний шар

Аналіз таблиць 1–3 та рисунку 1 дозволяє зробити кілька важливих висновків щодо раціонального конструювання багатошарових енергоефективних стін житлових будівель. По-перше, порівняння різних типів стін (таблиця 1) демонструє, що використання сучасних утеплювачів, таких як XPS та PUR, у поєднанні з вентильованим фасадом дозволяє досягти максимальної теплоізоляції при оптимальній товщині конструкції. Це підтверджується також розрахунками тепловтрат у таблиці 2, де сучасні багатошарові стіни показують значне зменшення енергоспоживання – до 30–35% порівняно з традиційними монолітними стінами.

По-друге, таблиця 3 демонструє важливість підбору матеріалів з урахуванням їх фізико-механічних і теплоізоляційних властивостей. Комбінування несучої конструкції з сучасними утеплювачами, паро- та вітрозахисними шарами дозволяє оптимально поєднати міцність, довговічність і енергоефективність.

Рисунок 1 наочно ілюструє логічну послідовність створення багатошарової стіни, від несучої конструкції до оздоблення фасаду, що підкреслює важливість системного підходу.

Загалом, аналіз показує, що застосування комплексного підходу до конструювання багатошарових стін дозволяє досягти наступних переваг:

- значне зниження тепловтрат та енергоспоживання;
- підвищення терміну служби будівельних конструкцій;
- можливість інтеграції сучасних технологій (вентильовані фасади, паро- та вітрозахисні шари, композитне армування);
- досягнення комфорту для мешканців і відповідність сучасним екологічним та енергетичним стандартам.

Таким чином, представлені таблиці та рисунок не лише демонструють технічні характеристики матеріалів і конструкцій, але й дозволяють оцінити комплексну ефективність багатошарових енергоефективних стін у житловому будівництві.

Висновки

Раціональні конструктивні рішення при проєктуванні багатошарових енергоефективних стін житлових будівель забезпечують баланс між теплоізоляцією, довговічністю, економічністю та архітектурною привабливістю. Використання сучасних утеплювачів, паро- та вітрозахисних шарів, вентильованих фасадів і цифрових методів моделювання дозволяє значно зменшити тепловтрати, підвищити комфорт мешканців та знизити експлуатаційні витрати. Таблиці та рисунки демонструють ефективність різних конструктивних варіантів, а їх систематизація сприяє раціональному вибору рішень для конкретних умов будівництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-31:2016. Енергоефективність будівель. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. – 28 с.
2. ДБН В.2.6-167:2013. Теплова ізоляція будівель. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2013. – 34 с.
3. ДБН В.2.6-98:2017. Вентильовані фасади будівель. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. – 24 с.
4. ДСТУ Б В.2.6-217:2010. Будівельні матеріали та вироби. Теплопровідність та термічний опір. – Київ: ДП «УкрНДІспецбуд», 2010. – 18 с.
5. Ковальчук І. Теплотехнічні розрахунки багатошарових стін житлових будівель. – Київ: Будівельник, 2019. – 152 с.
6. Лук'яненко В. Сучасні фасадні системи та енергоефективність будівель. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2020. – 136 с.

Найчук Олег Віталійович – студент 2-го курсу магістратури, група 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Naichuk2023@gmail.com

Бікс Юрій Семенович **–** к.т.н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, e-mail: biks@vntu.edu.ua

Naichuk Oleg **–** 2nd year master's student, group 1B-24m, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Naichuk2023@gmail.com

Biks Yuri **–** Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture Vinnitsa National Technical University, e-mail: biks@vntu.edu.ua

ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РЕЦИКЛІНГУ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ (ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ)

Шевчук Денис Сергійович

кафедра БМГА, факультет ФБЦЕІ

Науковий керівник: Христич Олександр Володимирович, доцент

Будівельні відходи, що утворюються внаслідок руйнувань цивільних, промислових та військових об’єктів, становлять одну з найбільш значущих кризових екологічних та інженерних проблем сучасної України. До 80 % загального обсягу таких відходів складають бетонні та цегляні конструкції, які є потенційно придатними для повторної переробки та використання у новому будівництві. Масштаб руйнувань та швидкість утворення відходів потребують технологічних рішень, здатних працювати мобільно, ефективно та економічно доцільно.

Стан системи рециклінгу в Україні ускладнюється недостатністю спеціалізованих комплексів та перевантаженням полігонів. Одним із найефективніших шляхів розв’язання проблеми є застосування мобільних дробильно-сортувальних установок, що дозволяють проводити первинну переробку безпосередньо на місці руйнування. Це значно зменшує обсяг транспортування, прискорює обробку матеріалів та мінімізує екологічні ризики.

Військові об’єкти створюють окрему категорію відходів: багатошарові конструкції, високий вміст армування, деформовані металеві елементи та фрагменти захисних інженерних споруд. Переробка таких відходів потребує застосування спеціального обладнання: гідроножиць, гідромолотів, високопродуктивних подрібнювачів та магнітних сепараторів. Це дозволяє відокремити метал, зменшити фракцію матеріалу й забезпечити належну якість вторинного заповнювача.

Сучасні дослідження вказують на ефективність багатоступеневих технологічних схем, що включають: попереднє сортування, подрібнення, магнітну та повітряну сепарацію, фракціонування та доочищення. На одному типовому зруйнованому об’єкті може утворюватися понад 9000 тонн будівельних відходів, що потребує чіткої логістики та грамотного розміщення мобільних комплексів.

Інтеграція мобільних та стаціонарних рішень формує оптимальну модель рециклінгу. Мобільні установки доцільно застосовувати на початкових етапах, особливо у зонах активних руйнувань, де вирішальним фактором є швидкість. Стаціонарні комплекси забезпечують стабільну якість продукції при переробці великих накопичень вторинних матеріалів.

Економічні розрахунки доводять, що використання вторинних заповнювачів дає змогу зменшити собівартість бетонних сумішей у середньому на 20–25 %. Це забезпечує не лише екологічний ефект, а й фінансову вигоду в процесах відновлення інфраструктури. Використання вторинного щебеню у дорожньому будівництві, фундаментах та легких бетонних конструкціях дає можливість знизити навантаження на кар’єри та природні ресурси.

Висновки:

Впровадження сучасних технологічних рішень у сфері рециклінгу будівельних відходів є необхідною умовою для відновлення територій, постраждалих від воєнних дій. Застосування мобільних дробильно-сортувальних комплексів, комбінованих схем переробки та стандартизації вторинних матеріалів дозволяє зменшити екологічне навантаження, підвищити ефективність демонтажних робіт та забезпечити економічно вигідне повторне використання матеріалів.

Рисунки:



Рисунок 1 – Гідроножиці EPIROC CC 1600 U



Рисунок 2 – Гідромолот HM 900

Список використаних джерел:

1. Утилізація бетону та відходів залізобетону. URL: https://vyvoz.org/blog/utilizacija-betona-i-othodov-zhelezobetona/
2. ДБН В.1.4-2.01-97 Склад і зміст екологічного обґрунтування. – p. 4–17.
3. ДБН В.2.7-32:2014 Будівельні матеріали. Дроблені матеріали з відходів будівництва. – p. 12–28.
4. Пилипенко О. С. Переробка будівельних відходів: сучасні підходи та проблеми впровадження. Київ, 2020. – p. 56–78.
5. Ковальов В. В. Технології переробки будівельних відходів та вторинні матеріальні ресурси. Харків: ХНУБА, 2018. – p. 31–52.
6. Huang B., Wang X., Kua H., Geng Y., Bleischwitz R., Ren J. Construction and demolition waste management in China through the 3R principle / Resources, Conservation and Recycling. 2018. Vol. 129. Pp. 36–44.
7. Rao A., Jha K., Misra S. Use of Recycled Aggregates in Concrete: A Review. Journal of Construction Materials, 2019. – p. 9–23.
8. Fišer J., Kovač M. Recycling of Construction and Demolition Waste. Springer, 2021. – p. 112–145.

УДК 728.3:697.1:620.9

Б. В. Сіньчук
В. В. Джеджула

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕРІАЛИ У ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ВИКЛИКІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті досліджено інноваційні технології та матеріали, що застосовуються у термомодернізації індивідуальних житлових будинків в умовах сучасних кліматичних викликів. Особливу увагу приділено теплоізоляційним системам нового покоління (аерогельним панелям, вакуумним ізоляційним плитам, PUR/PIR-утеплювачам, біо-базованим матеріалам), високоефективному склінню, вентильованим фасадним конструкціям та інтеграції «розумних» інженерних систем. Окреслено вплив зміни клімату на тепловий режим будівель і необхідність одночасного зниження тепловтрат у зимовий період та захисту від перегріву влітку. Проаналізовано техніко-економічну ефективність заходів термомодернізації та їх внесок у підвищення енергетичної незалежності домогосподарств. Наведено порівняльні таблиці, теплотехнічні характеристики та узагальнені схеми модернізації житлових будинків. Результати підтверджують, що комплексна термомодернізація із застосуванням інноваційних матеріалів дозволяє скоротити енергоспоживання на 50–70 %, підвищити стійкість будівель до кліматичних навантажень та забезпечити комфортний мікроклімат упродовж року.

Ключові слова: термомодернізація, енергоефективність, теплоізоляція, інноваційні матеріали, аерогель, вакуумні панелі, біо-базовані утеплювачі, скління, вентильований фасад, кліматична стійкість, індивідуальний житловий будинок.

Abstract

The article examines innovative technologies and materials used in the thermal modernization of individual residential buildings under current climate challenges. Special emphasis is placed on next-generation insulation systems (aerogel panels, vacuum insulation panels, PUR/PIR materials, bio-based insulations), high-performance glazing, ventilated façade systems, and the integration of smart engineering solutions. The influence of climate change on a building's thermal performance is analyzed, highlighting the need to reduce heat losses during winter while preventing overheating in summer. The study evaluates the technical and economic efficiency of modernization measures and their contribution to enhancing household energy independence. Comparative tables, thermophysical characteristics, and generalized modernization schemes are presented. The results confirm that comprehensive modernization using innovative materials can reduce energy consumption by 50–70 %, improve climate resilience of buildings, and ensure comfortable indoor conditions throughout the year.

Keywords: thermal modernization, energy efficiency, insulation, innovative materials, aerogel, vacuum insulation panels, bio-based insulation, glazing, ventilated façade, climate resilience, residential building.

Вступ

Умови сучасних кліматичних змін, які проявляються у зростанні кількості аномальних морозів, теплових хвиль, тривалих періодів спеки, різких температурних коливань та зміні режиму опадів, суттєво впливають на режими експлуатації індивідуальних житлових будинків. У більшості приватного житлового фонду, зведеного до 2000-х років, теплозахисні якості огороджувальних конструкцій не відповідають сучасним вимогам енергоефективності та комфорту перебування людини в приміщенні [1]. Високі втрати тепла через стіни, покрівлю, вікна, містки холоду у вузлах сполучення конструкцій, недостатня повітронепроникність будівельних оболонок призводять до значного перевитрату паливно-енергетичних ресурсів, підвищеного рівня викидів CO_2 та зростання експлуатаційних витрат на опалення й охолодження будинків.

Термомодернізація індивідуальних житлових будинків є ключовим інструментом зниження енергоспоживання та адаптації до кліматичних викликів. Вона передбачає комплекс заходів, спрямованих на підвищення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій, оптимізацію систем опалення, вентиляції та кондиціонування, зменшення інфільтрації повітря, впровадження відновлюваних дже-

рел енергії та «розумних» систем керування [2]. Особливу увагу привертає використання інноваційних теплоізоляційних матеріалів (аерогелів, вакуумних ізоляційних панелей, фазозмінних матеріалів), високоефективного скління, вентильованих фасадних систем, «теплих» покрівель та фасадів із комбінованим озелененням.

В умовах поглиблення кліматичних змін термомодернізація вже не обмежується лише зменшенням тепловтрат у зимовий період. Зростає роль захисту від перегріву влітку, реалізації пасивних стратегій охолодження, контролю сонячних надходжень, забезпечення стійкого мікроклімату без надмірної залежності від активних систем кондиціонування [3]. Саме тому інноваційні технології та матеріали мають розглядатися комплексно: з позицій енергоефективності, кліматичної стійкості, екологічності, довговічності та економічної доцільності.

Метою цієї статті є аналіз інноваційних технологій і матеріалів, що використовуються у термомодернізації індивідуальних житлових будинків, оцінка їхнього потенціалу в умовах сучасних кліматичних викликів, порівняння техніко-економічної ефективності різних рішень та формування рекомендацій щодо раціонального вибору конструктивно-технологічних підходів [4–6].

Основна частина

Термомодернізація індивідуальних житлових будинків в умовах кліматичних викликів повинна ґрунтуватися на комплексному підході, який включає енергетичний аудит існуючої будівлі, моделювання теплових потоків, аналіз впливу метеорологічних факторів, вибір інноваційних матеріалів та технологій утеплення, а також оптимізацію інженерних систем життєзабезпечення [1; 2]. Ключовою конструктивною ланкою термомодернізації є огороджувальна оболонка будинку, до складу якої входять зовнішні стіни, покрівля, підлоги на ґрунті, віконні й дверні прорізи. У традиційних індивідуальних будинках, зведених із повнотілої цегли, шлакоблоків чи панельних елементів, опір теплопередачі стін часто у 2–3 рази нижчий за вимоги чинних норм щодо енергоефективності будівель [1]. У цьому контексті інноваційні технології термомодернізації спрямовані на формування багатошарових фасадних систем із високоефективними утеплювачами, застосуванням зовнішнього утеплення типу ETICS, вентильованих фасадів, комбінованих систем з озелененими поверхнями, а також на використання нових класів матеріалів: аерогелів, вакуумних ізоляційних панелей (VIP), фазозмінних матеріалів (PCM), біо-базованих утеплювачів на основі целюлози, конопляного волокна, деревного волокна тощо [3; 5].

Важливо зазначити, що вибір тієї чи іншої системи має враховувати не лише нормативний коефіцієнт теплопередачі, а й параметри паропроникності, вологонакопичення, вогнестійкості, стійкості до біологічного ураження та ультрафіолетового випромінювання, а також можливість адаптації контуру будівлі до підвищених літніх температур. Застосування вентильованих фасадів у поєднанні з мінераловатними чи комбінованими утеплювачами дозволяє організувати повітряний зазор, який сприяє видаленню вологи та частковому відведенню надлишкового тепла за рахунок повітряної конвекції, що особливо актуально в умовах літніх теплових хвиль [4]. Інноваційні облицювальні матеріали, зокрема світловідбивні та «холодні» покриття з високим коефіцієнтом відбиття сонячної радіації (high albedo coatings), сприяють зменшенню перегріву поверхні фасадів, а отже, і внутрішніх приміщень. Водночас інтеграція фазозмінних матеріалів у штукатурні шари чи гіпсокартонні облицювання дозволяє акумулювати надлишкове тепло в денний час і вивільняти його вночі, згладжуючи добові коливання температури та знижуючи пікові навантаження на системи охолодження [3]. Не менш важливою складовою термомодернізації є модернізація віконних систем. Заміна одинарних склопакетів на енергоефективні багатокамерні склопакети з низькоемісійним (low-e) покриттям, інертними газами в камерах, «теплими» дистанційними рамками, поєднання з зовнішніми сонцезахисними пристроями (маркізами, ролетами, жалюзі) забезпечує значне зниження тепловтрат узимку та контроль над сонячними надходженнями влітку [2; 5]. У поєднанні із зовнішніми чи внутрішніми системами сонцезахисту віконні конструкції стають активним елементом кліматичної адаптації будинку. Покрівля індивідуальних будинків також є критичним елементом у контексті термомодернізації, оскільки через неї може втрачатися до 20–30 % тепла.

Використання систем «теплої покрівлі», де утеплювач розміщується над плитою перекриття, застосування пароізоляційних шарів, вентильованих покрівельних систем, а також влаштування «зелених» покрівель із рослинністю, яка виконує роль природного утеплювача та захищає від перегріву, є ефективною відповіддю на кліматичні виклики [4]. Додатково інтеграція сонячних фотомодулів

(BIPV – building integrated photovoltaics) у покрівельні конструкції дозволяє частково компенсувати енергоспоживання будинку, перетворюючи оболонку на активний енергогенеруючий елемент [6]. Для оцінки ефективності різних варіантів термомодернізації доцільно використовувати порівняльні таблиці, де враховуються параметри теплопровідності, товщини, вартості, екологічності та довговічності матеріалів (див. табл. 1, табл. 2). Окремо слід відзначити роль систем керованої вентиляції з рекуперацією тепла та вологи, які не лише скорочують енергетичні втрати, але й забезпечують стабільний мікроклімат, нормовану концентрацію CO_2 та комфортну вологість повітря. У поєднанні з герметизацією стиків, ущільненням вікон і дверей, застосуванням паро- й повітронепроникних мембран формуються будівлі із високим рівнем герметичності оболонки, що відповідає принципам пасивного будинку [6]. Водночас надмірна герметизація без відповідної вентиляції створює ризики погіршення якості повітря та зростання вологості, тому інноваційні рішення мають враховувати баланс між повітронепроникністю та потребою в повітрообміні.

З огляду на економічний аспект термомодернізації індивідуальних будинків, особливо в умовах обмежених фінансових можливостей домогосподарств, важливим є оптимальний добір заходів, які забезпечують найкоротший термін окупності. Для цього використовують прості та комбіновані показники ефективності: питомі тепловтрати до та після модернізації, скорочення витрат на паливо, термін окупності утеплення фасаду, даху, заміни вікон та впровадження «розумних» систем керування. Практика показує, що комплексна термомодернізація з використанням інноваційних матеріалів та технологій може зменшити енергоспоживання будинку на 50–70 %, що стає особливо важливим в умовах зростання тарифів і нестабільності енергоринку [2; 4]. У контексті кліматичних викликів слід також враховувати адаптаційний потенціал рішень: здатність оболонки будівлі протидіяти не лише холоду, а й перегріву, екстремальним зливам, сильним вітрам, граду тощо.

У цьому сенсі перспективними є комбіновані фасадні системи з озелененням (вертикальні сади), використання перфорованих екранів, регульованих ламельних систем, які забезпечують динамічний контроль сонячних надходжень. Узагальнення результатів термомодернізації, представлених у таблицях та на схемах, дає можливість сформувати для власників індивідуальних будинків типові стратегії модернізації: від «базового» рівня (заміна вікон, часткове утеплення) до «просунутого» (пасивний рівень, BIPV, «розумний дім», використання фазозмінних матеріалів) [5; 6]. Таким чином, інноваційні технології та матеріали в термомодернізації індивідуальних житлових будинків мають розглядатися не як окремі елементи, а як взаємопов'язані компоненти єдиної системи, здатної забезпечити високу енергоефективність, комфорт та стійкість до сучасних і майбутніх кліматичних викликів.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика сучасних теплоізоляційних матеріалів для термомодернізації стін

Матеріал	**Коефіцієнт теплопровідності λ, Вт/(м·К)**	**Рекоменд. товщина для R≈5 м²·К/Вт, мм**	**Паропроникність**	**Орієнтовна вартість, грн/м²**	**Особливості застосування**
Мінеральна вата	0,034–0,040	160–200	Висока	Середня	Вентильовані фасади, ETICS
Пінополістирол (EPS)	0,036–0,040	160–200	Низька	Низька	Системи ETICS, цокольні зони
Екструдований XPS	0,028–0,032	140–180	Дуже низька	Вища за EPS	Цоколь, підлоги, інверсійні дахи
Пінополіуретан (PUR/PIR)	0,022–0,026	110–140	Низька	Висока	Покрівлі, складні вузли, труби
Аерогельні панелі	0,013–0,018	70–90	Середня	Дуже висока	Тонкі стіни, історичні фасади
Целюлозний утеплювач	0,037–0,040	160–200	Висока	Середня	Еко-рішення, каркасні конструкції

Дані таблиці 1 показують, що найбільш низькі значення теплопровідності мають аерогельні панелі та пінополіуретан (PUR/PIR), що дозволяє зменшити товщину утеплювача при досягненні необхідно-

го опору теплопередачі. Проте їхня висока вартість обмежує використання переважно вузловими рішеннями або в об’єктах з підвищеними вимогами до енергоефективності та обмеженою товщиною огороджувальних конструкцій [3]. Мінеральна вата й целюлозні утеплювачі мають більшу товщину, але забезпечують високу паропроникність і екологічність, що є важливим для довгострокової експлуатації та формування «дихаючих» огороджувальних конструкцій [5]. EPS та XPS демонструють баланс між вартістю та ефективністю, однак потребують ретельного конструкторського опрацювання для запобігання запарюванню конструкцій.

Таблиця 2 – Орієнтовна економічна ефективність окремих заходів термомодернізації індивідуального будинку

Захід	**Зменшення тепловтрат, %**	**Орієнтовні капітальні витрати, грн**	**Скорочення витрат на енергію, %**	**Орієнтовний термін окупності, років**
Утеплення фасаду (R≈5 м²·К/Вт)	25–35	2000–2500/м²	20–30	5–8
Утеплення покрівлі	15–20	1500–2000/м²	10–15	4–7
Заміна вікон на енергоефективні	10–15	6000–8000/м² отвору	8–12	7–10
Встановлення рекуператора	10–20	40 000–70 000	10–18	6–9
Інтеграція BIPV (дах, фасад)	15–25 (компенсація)	80 000–150 000	20–30	8–12

Таблиця 2 ілюструє, що найбільш швидкоокупними заходами є утеплення покрівлі й фасадів, які дають істотне скорочення тепловтрат при відносно помірних інвестиціях [2; 4]. Заміна вікон та встановлення рекуперaційних систем потребує більших початкових витрат, проте суттєво покращує якість мікроклімату та зменшує втрати через інфільтрацію і вентиляцію. Інтеграція BIPV має найдовший термін окупності, однак забезпечує додатковий енергетичний ефект та підвищує енергетичну автономність будинку, що важливо в умовах енергетичних і кліматичних ризиків [6].

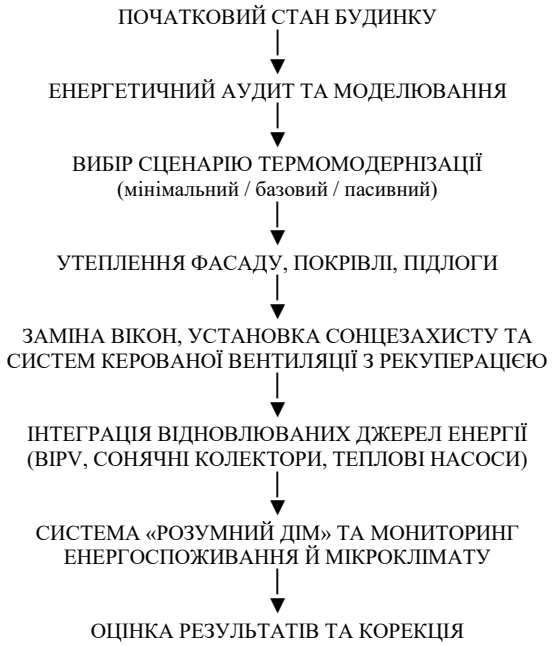


Рис. 1. Узагальнена схема термомодернізації індивідуального житлового будинку

Схема на рисунку 1 узагальнює логіку термомодернізації індивідуального будинку як поетапного процесу: від вихідного діагностичного етапу до впровадження «розумних» систем керування. Такий підхід дозволяє уникнути хаотичних, несистемних рішень, мінімізувати ризики технічних помилок (наприклад, запаровування конструкцій чи надмірної герметизації без вентиляції) та забезпечити максимальний ефект від інвестицій у модернізацію [3; 6]. Послідовність кроків підкреслює необхідність інтеграції інноваційних матеріалів, інженерних рішень та цифрових технологій моніторингу в єдину систему.

Висновки

Інноваційні технології та матеріали у термомодернізації індивідуальних житлових будинків є визначальним фактором підвищення енергоефективності, комфорту та стійкості до кліматичних викликів. Проведений аналіз показав, що застосування високоефективних теплоізоляційних матеріалів (аерогелі, PUR/PIR, XPS, целюлозні утеплювачі), сучасних фасадних систем (ETICS, вентильовані фасади, «зелені» рішення), енергоефективного скління та систем керованої вентиляції з рекуперацією дозволяє суттєво знизити тепловтрати, стабілізувати мікроклімат та зменшити вплив екстремальних температур на житлове середовище [1–5].

Табличні та графічні матеріали підтверджують, що найбільший енергетичний ефект досягається за рахунок комплексної термомодернізації огороджувальних конструкцій у поєднанні з модернізацією інженерних систем і впровадженням відновлюваних джерел енергії. Умови кліматичних змін, зокрема зростання інтенсивності теплових хвиль та аномальних погодних явищ, зумовлюють необхідність переходу від суто «зимового» підходу до утеплення до всебічної адаптації будинків до цілорічних навантажень, включно із захистом від перегріву, контролем сонячних надходжень, організацією пасивного охолодження.

Перспективи розвитку термомодернізації індивідуальних будинків пов’язані з подальшою інтеграцією інноваційних матеріалів (фазозмінних, біо-базованих, гібридних), розвитком BIPV-рішень, широким впровадженням систем моніторингу та «розумного» керування, а також із формуванням державних і місцевих програм підтримки енергоефективних заходів для домогосподарств [4–6]. Раціональне поєднання технічних, економічних та екологічних аспектів термомодернізації дозволить суттєво знизити навантаження на енергетичну систему, підвищити рівень енергетичної безпеки та покращити якість життя населення в умовах кліматичних викликів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція будівель. – Київ : Мінрегіон України, 2021. – 78 с.
2. ДБН В.2.6-33:2018. Конструкції зовнішніх стін із утеплювачем. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 28 с.
3. ДСТУ ISO 52016-1:2020. Енергетичні характеристики будівель. Розрахунок потреби в енергії для опалення та охолодження. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 74 с.
4. Стеценко В. М. Термомодернізація житлових будинків : монографія. – Львів : ЛНТУ, 2021. – 212 с.
5. Кравчук І. С. Сучасні теплоізоляційні матеріали та системи фасадної термомодернізації : навч. посіб. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 180 с.
6. Пархоменко О. П., Яковенко Л. В. Пасивний дім в українських кліматичних умовах : проєктні рішення. – Київ : КНУБА, 2019. – 196 с.

Сіньчук Богдан Васильович – студент 2-го курсу магістратури, група 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, kalashVE@gmail.com

Джеджула В’ячеслав Васильович – д.т.н., професор кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, e-mail: djedjula@vntu.edu.ua

Sinchuk Bohdan – 2nd year master's student, group 1B-24m, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, kalashVE@gmail.com

Shvets Vitaliy – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Urban Construction and Architecture of Vinnytsia National Technical University, e-mail: djedjula@vntu.edu.ua

УДК 699.85

Н. В. Блащук
Є. П. Джига

УЛАШТУВАННЯ ПРОТИРАДІАЦІЙНИХ УКРИТТІВ В ІСНУЮЧИХ БУДІВЛЯХ ШЛЯХОМ ПІДСИЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ ПІДВАЛЬНОГО ПОВЕРХУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто можливість використання підвальних приміщень існуючих будівель для облаштування найпростіших протирадіаційних укриттів шляхом їх підсилення.

На основі технічного обстеження об'єкта запропоновано технологічне рішення з підсилення несучих конструкцій із урахуванням вимог ДБН В.2.2-5:2023.

Проведено порівняльний аналіз ефективності конструктивних рішень.

Ключові слова: укриття, підсилення, підвальні приміщення, захисні споруди, ДБН В.2.2-5:2023.

Abstract

The paper examines the feasibility of utilizing basement premises of existing buildings for the arrangement of simple *radiation protection shelters by means of structural reinforcement.*

Based on the technical inspection of a facility in the settlement, a technological solution for strengthening load-bearing structures has been proposed in accordance with the requirements of DBN V.2.2-5:2023.

A comparative analysis of the efficiency of structural solutions has been conducted.

Keywords*: shelter, reinforcement, basement premises, protective structures, DBN V.2.2-5:2023*

Вступ. Постановка проблеми

У сучасних умовах повномасштабної війни на території України питання захисту цивільного населення набуває виняткової актуальності. Надійні укриття є ключовим елементом у системі цивільного захисту, особливо в умовах масованих обстрілів, застосування засобів ураження, а також потенційної загрози використання зброї масового ураження. Враховуючи дефіцит фінансових ресурсів, обмеженість часу та технічні труднощі, особливо у малих населених пунктах, однією з найбільш доцільних і ефективних інженерних практик є переобладнання існуючих підвальних приміщень під найпростіші або протирадіаційні укриття.

Підвальні приміщення, які вже закладені в конструктивну систему будівель, мають базовий рівень захисту та певний потенціал для подальшої модернізації. Проте більшість таких приміщень не відповідають сучасним вимогам щодо міцності конструкцій, герметичності, опору радіаційному впливу та іншим критеріям, встановленим чинними будівельними нормами. Саме тому виникає необхідність технічного переосмислення їх функціонального призначення та реалізації інженерних заходів з підсилення основних несучих елементів (перекриттів, стін, фундаментів), облаштування аварійних виходів, систем вентиляції, герметизації та облаштування санітарно-побутової зони.

Згідно з оновленими нормами ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту», особлива увага приділяється саме існуючим будівлям і можливостям їхнього адаптивного використання для створення укриттів. Документом чітко окреслено конструктивні, просторові та інженерні вимоги до протирадіаційних укриттів, а також визначено допустимі методи підсилення для забезпечення їх експлуатаційної надійності.

Метою даної роботи є розробка техніко-конструктивного рішення з підсилення підвального приміщення будівлі з урахуванням особливостей геологічного середовища, початкового стану об'єкта, матеріалу несучих конструкцій і потенційного навантаження. У рамках дослідження заплановано провести аналіз існуючих інженерних рішень, порівняльну оцінку альтернативних

методів підсилення, розробити проектне рішення та виконати розрахунок несучої здатності конструкцій у порівнянні до та після підсилення.

Таким чином, результати дослідження дозволять обґрунтувати вибір ефективного способу перетворення типового підвального приміщення в повноцінне протирадіаційне укриття з урахуванням норм безпеки, економічної доцільності та практичної реалізованості для умов малих населених пунктів України.

Основна частина

Об’єктом дослідження є навчальний корпус Вінницького національного технічного університету, розташований за адресою: м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Будівля має цокольний поверх, частково заглиблений у ґрунт, що зумовлює потенційну можливість переобладнання існуючих підвальних приміщень у найпростіші захисні споруди цивільного захисту — протирадіаційні укриття. Враховуючи високий ризик виникнення надзвичайних ситуацій, пов’язаних з військовою агресією та потенційним застосуванням засобів масового ураження, питання адаптації таких приміщень є надзвичайно актуальним.

Відповідно до ДБН В.2.2-5:2023 [1], приміщення укриття повинні забезпечувати захист від іонізуючого випромінювання, уламкової дії боєприпасів та задовільні умови перебування людей. Базове обстеження об’єкта показало, що основні несучі конструкції — монолітні залізобетонні стіни та плити перекриття — перебувають у задовільному технічному стані, проте не відповідають нормативам за показниками радіаційного захисту, герметичності та аварійної евакуації. Також відсутні системи примусової вентиляції та автономного електропостачання.

У межах роботи було розроблено інженерне рішення з технічного переоснащення приміщення та підсилення конструкцій.

Зокрема, запропоновано:

Улаштування додаткових залізобетонних обойм навколо несучих стін і колон, що дозволить збільшити несучу здатність при дії вибухового навантаження;

Накладне підсилення перекриття шляхом монтажу збірно-монолітних плит на сталевих балках, яке забезпечує резерв жорсткості;

Гідроізоляція і герметизація конструкцій з використанням цементно-полімерних складів, які створюють бар’єр від проникнення газів і вологи;

Монтаж тамбурів з протирадіаційним захистом, згідно з додатком В ДБН [1], та організація додаткового аварійного виходу через отвір у зовнішній стіні;

Улаштування вентиляційної системи з можливістю роботи в автономному режимі (режим фільтрації), із встановленням регенераційних патронів;

Облаштування місць сидіння, санітарного вузла та запасів питної води, згідно з табл. 5.2 і 5.3 ДБН В.2.2-5:2023 [1].

Крім того, розглянуто варіант посилення фундаменту, у випадку виявлення ослабленої ґрунтової основи. У такому випадку доцільним є використання коротких буронабивних паль або мікропаль, які з'єднуються з ростверком через анкерні з'єднання. Даний спосіб має високу ефективність при обмежених просторових умовах.

З метою обґрунтування вибору технічного рішення було проведено порівняльний аналіз із проєктом, реалізованим у 2022 році в місті Житомир. Там для підсилення підвального приміщення використовували технологію ін’єкційного ущільнення з цементно-піщаною сумішшю та геосинтетичними матеріалами. Порівняння показало, що для умов корпусу ВНТУ вигіднішим є варіант монолітного підсилення ззовні — він забезпечує кращу сумісність з існуючими конструкціями, швидкість монтажу та доступність матеріалів.

Економічна оцінка проєкту також враховувала часові рамки реалізації, просторові обмеження, потребу в евакуаційних шляхах та санітарно-гігієнічному оснащенні. Усі рішення узгоджуються з положеннями нормативної бази, зокрема ДБН В.2.2-5:2023 [1], ДСТУ-Н Б В.1.1-30:2013, ДБН В.1.2-14:2018.

Таким чином, проведене дослідження доводить реалістичність та ефективність перетворення типового підвального приміщення навчального корпусу у повноцінне протирадіаційне укриття шляхом конструктивного підсилення. Такий підхід дозволяє не лише підвищити рівень безпеки, а й

створити універсальну модель для використання в інших будівлях освітньої або адміністративної сфери.

Висновки

Результати дослідження підтвердили доцільність використання існуючих підвальних приміщень будівель освітнього призначення для облаштування найпростіших протирадіаційних укриттів. На прикладі корпусу Вінницького національного технічного університету обґрунтовано технологічну можливість підсилення несучих конструкцій та вдосконалення інженерного обладнання відповідно до вимог ДБН В.2.2-5:2023.

Запропоновані конструктивні рішення забезпечують підвищення захисних властивостей об’єкта, зокрема його стійкість до дії ударної хвилі, герметичність та здатність до автономного функціонування у надзвичайних умовах. Порівняльний аналіз із аналогічними проєктами дозволив обрати найбільш ефективну та економічно доцільну модель підсилення конструкцій.

У результаті запропоновано універсальний підхід до трансформації підвальних приміщень в укриття, який може бути адаптований для інших будівель подібного типу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про цивільний захист». – Київ: ВРУ, 2013.
2. Сучасні проблеми утримання захисних споруд: аналітична довідка ДСНС України. – Київ, 2022.
3. ДБН В.2.2-5:2023 «Будинки і споруди. Захисні споруди цивільного захисту». – Київ: Мінрегіон, 2023.
4. ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва». – Київ: Мінрегіонбуд, 2016.
5.ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 «Настанова з оцінювання технічного стану будівельних конструкцій». – Київ: Мінрегіон, 2013.
6. ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи». – Київ: Мінрегіонбуд, 2006.
7. Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС). Типові рішення з переобладнання підвалів. – Київ, 2022.

Блащук Наталя Вікторівна — доцент кафедри Будівництва, міського господарства та архітектури, факультету Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницький національний технічний університет (ВНТУ)

Джига Євгеній Павлович — студент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, email: djigaje@gmail.com

Blashchuk Natalia Viktorivna — Associate Professor at the Department of Construction, Urban Economy, and Architecture, Faculty of Civil, Construction and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University (VNTU)

Dzhyha Yevhenii Pavlovych — student at the Department of Construction, Urban Economy, and Architecture, Faculty of Civil, Construction and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, email: djigaje@gmail.com

UDC 621.3.088

Y. S. Biks

PREDESIGN OPTIMISATION OF THERMAL PERFORMANCE FOR MULTILAYERED ENVELOPES

Vinnytsia National Technical University

Abstract

The predesign optimisation of the total energy consumption has been proposed to comprehensively assess the thermal performance of multilayered wall assemblies, using the minimisation of the total embodied and operational energy as the goal function. The proposed model considers physical characteristics, such as internal areal heat capacity, decrement factor, embodied and operational energy, through the 50-year lifespan of the particular multilayered assembly. Current research focuses on defining the best wall performance solely based on the wall material's physical parameters, its dynamic characteristics under ISO 13786 and the total energy consumption value.

The performed numerical research has revealed that, in terms of the total energy figures, the AAC wall configuration was the most energy-efficient, with an energy reduction possibility of 36.76%, while the least energy-efficient in terms of the total energy was the wall from wood-chip cement-bonded block, with an energy reduction possibility of 3.28% only.

Keywords: operational energy, embodied energy, internal area heat capacity, thermal performance, multilayered assemblies, energy efficiency, dynamic characteristic.

Introduction

Modern construction practice employs a variety of building materials and techniques, drawing attention to multicriteria decision analysis (MCDA) methods [1, 2]. Thus, the issue of optimised energy-efficient building envelopes in terms of thermal and mechanical performance remains a significant challenge for engineers and developers who aim to construct dwellings aligned with sustainable development principles, which LCA parameters could evaluate under EN 15978:2011 [3].

The optimisation process inevitably involves trade-offs among alternatives, making selecting an optimal solution inherently complex. The term optimal is used in this context because, as in a multicriteria evaluation of real-world issues, only the alternatives belonging to the Pareto set can be regarded as optimal, which in a particular case is literally equal to the "best" solution [4, 5]. To make a proper choice of a multilayered envelope, a comprehensive analysis is to be performed, where different criteria as physical, mechanical, structural and others, can be optimised with respect to the goal function. It can be quite tricky, often with contradicting competing parameters, even at the predesign stage [5, 6].

The scope of this paper is to perform the wall layer thickness optimisation with respect to the minimising of such physical parameters as total energy *Etot*, MJ/m^{2}year, by limiting the dynamic thermal performance parameters of wall assemblies as internal area heat capacity $k1$, kJ/m²K and decrement factor *f* under EN ISO 13786 [7] and thermal transmittance *u*-value, W/m²K, as the main influencer of envelope winter and summer behaviour [6] within the fixed range.

Materials and research methods

The abovementioned specific physical parameters were considered as those which could be easily quantifiable to facilitate the decision-making during the predesign stage of building construction. Five multilayered wall assemblies were assumed for the numerical assessment of dynamic, steady-state, and life cycle assessment characteristics. These characteristics include thermal transmittance (*U-value*, W/m²K) as the steady-state parameter, internal area heat capacity ($k1$, kJ/m²K) and decrement factor *f*, which are the dynamic thermal performance parameters of wall assemblies under EN ISO 13786 [7] and considered as the main influencer of envelope winter and summer behaviour under [6].

For current research, the embodied energy (*EE*) as LCA criteria [8] of each multilayered wall, MJ/m^2 is limited to the A1-A3 stages of the LCA framework, which was taken from the Baubook Eco2soft online tool [23] as a production of embodied energy of material functional unit, MJ/kg, to its mass in the wall.

The operational energy (*OE*), MJ/m^2 was calculated by the production of the effective exploitation term *Tef* for each multilayered wall (was taken as 50 years =50×24×3600 = 4320000 s), to the Hot Degree Day (HDD)

value for the city of Vinnytsia, namely HDD = 3676 and the wall *u*-value. Wall layer's optimisation was performed in Excel Solver.

The internal heat area capacity *k*1 and decrement factor *f,* as the dynamic thermal characteristics, were calculated using a downloadable Excel spreadsheet from HTflux [12].

The *u*-value of the assembly is inversely to the value of the thermal resistance and is calculated under the formula [9]:

$$u = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{int}} + \sum \frac{\delta i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ext}}} \quad (1)$$

where δ_i – the width of the *i*-th material;

R_{tot} – the total thermal resistance of the assembly;

where α_{int} is the heat transfer coefficient of the internal surface of the wall, α_{int} = 23 (W/m^{2}K) [9];

α_{int} is the heat transfer coefficient of the external surface of the wall, α_{int} = 8.7 (W/m^{2}K) [9];

The multilayered assemblies were taken into the current research:

- Wall A (Hempcrete);
- Wall B (Aerated autoclaved concrete (AAC) D300 + Rockwool as insulation material);
- Wall C (Insulated concrete formwork (ICF) block);
- Wall D (Hollow brickwork masonry (Porotherm 38) + Rockwool as insulation material);
- Wall E (Wood-chip cement-bonded block).

The proposed assemblies and their cross-section dimensions are represented as follows (Fig. 1).

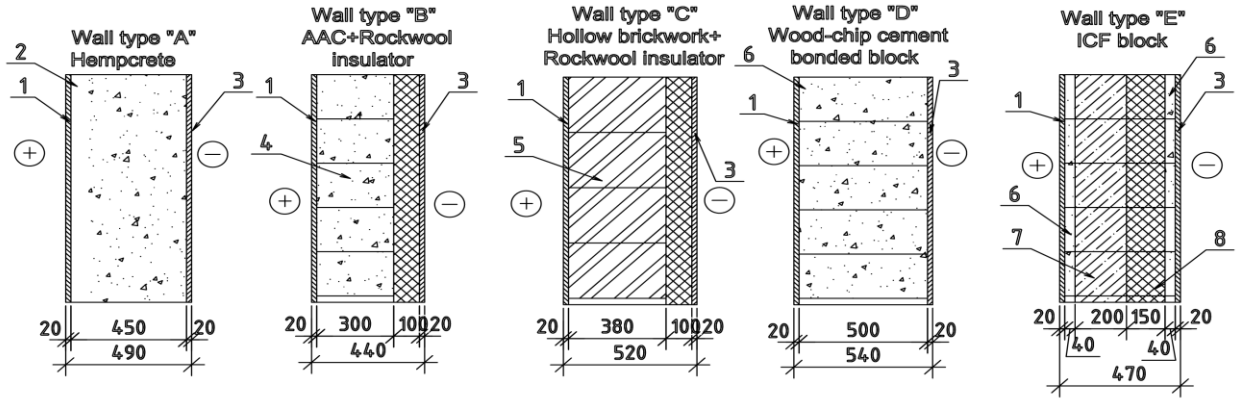


Fig. 1. Cross-sectional scheme of investigated wall assemblies: (1 – internal lime-sand plaster, 2 – hempcrete, 3 - external lime-sand plaster, 4 – aerated autoclaved concrete (AAC), 5 – hollow brickwork, 6 – wood-chip cement bonded block (woodcrete), 7 – reinforced concrete, 8 – BASF Neopor insulator)

The main thermal performance characteristics of the materials are presented in Table 1.

Table 1. Assumed thermal properties of wall materials

Assembly material	The thermophysical parameters of materials		
	Specific heat capacity, *c* (J/kgK)	Density ρ, (kg/m^3)	Thermal conductivity λ, (W/m·K)
Lime-sand plaster	1000	1500	0.67
Hempcrete	1200	450	0.08
Aerated autoclaved concrete (AAC)	100	275	0.09
Hollow brickwork masonry (Porotherm 38 W)	1000	745	0.112
Wood-chip cement-bonded block	1400	475	0.12
Reinforced concrete	1000	2200	1.65
BASF Neopor insulator	1450	16	0.031
Stone wool wall insulator (Rockwool®)	1030	70	0.034

The optimisation of multilayered envelopes was performed according to the following assumption:

1. Minimising the total energy consumption *Etot* = *EE* + *OE*→ *min* with constraints: total mass and width of the wall, u-value and decrement factor (see Table 2).

Table 2. The considered restriction conditions for research

Characteristic	Restriction
Thermal transmittance (u-value), W/m²K	≤0.25
Internal plaster thickness, m	∈[0.01; 0.05]
External plaster thickness, m	∈[0.01; 0.05]
Decrement factor, f	∈[0.04; 0.08]

Results of the research

After conducting numerical simulations for all assemblies, the output influence parameters were obtained (see Table 3 - Table 5).

Table 3. Output influence parameters of the assemblies (before optimisation, with respect to dimensions in Fig. 1)

	Wall width *d_wall*, m	Thermal transmittance at steady state, *u-value*, W/m²K	Internal areal heat capacity *k1*, kJ/(m²K)	Decrement factor *f*	Energy consumption, MJ/m²		
					Embodied, *EE*	Operational, *OE*	Total, *Etot*
Wall A	0.490	0.171	39.955	0.013	1926.30	2718.08	4644.38
Wall B	0.440	0.154	37.369	0.115	1613.03	2446.16	4059.19
Wall C	0.520	0.153	43.742	0.007	2075.68	2423.94	4499.62
Wall D	0.540	0.215	43.551	0.007	2013.88	3420.72	5434.60
Wall E	0.470	0.171	40.073	0.052	2597.28	2717.34	5314.61

Table 4. Output influence parameters of the assemblies (after optimisation)

	Wall width *d_wall*, m	Thermal transmittance at steady state, *u-value*, W/m²K	Internal areal heat capacity *k1*, kJ/(m²K)	Decrement factor *f*	Energy consumption, MJ/m²		
					Embodied, *EE*	Operational, *OE*	Total, *Etot*
Wall A	0.390	0.208	30.412	0.040	1181.17	3299.18	4480.34
Wall B	0.624	0.080	26.835	0.040	1293.04	1273.93	2566.97
Wall C	0.419	0.147	35.805	0.007	1292.12	2337.42	3629.54
Wall D	0.451	0.250	35.516	0.020*	1283.07	3970.51	5256.57
Wall E	0.389	0.169	33.573	0.080	1561.07	2677.02	42873.09

* the only parameter that wasn't optimised within the recommended range.

Table 5. Relative decrease of the *Etot* parameter of the assemblies

	Energy consumption, MJ/m²		
	Total, before *Etot*	Total, after *Etot*	Decrease $(Etot_{before} - Etot_after)/Etot_before, \%$
Wall A	4644.38	4480.34	3.53
Wall B	4059.19	2566.97	36.76
Wall C	4499.62	3629.54	19.34
Wall D	5434.60	5256.57	3.28
Wall E	5314.61	4287.09	19.33

Analysis of the data represented in Table 5 revealed that the maximum decrease in the *Etot* is shown for Wall B with 36.76%, where the minimum energy saving could be achieved in Wall D, which demonstrates 3.28% only. Wall C and Wall E demonstrate the same energy-saving achievement with 19.34% and 19.33% respectively. It means that walls B, C and D are aimed to be possibly modified at the predesign stage of construction, when walls A and D have no such significant energy-reducing potential.

The comparison between the *u*-value and *Etot* from Table 3 and Table 4 is shown in Fig. 2.

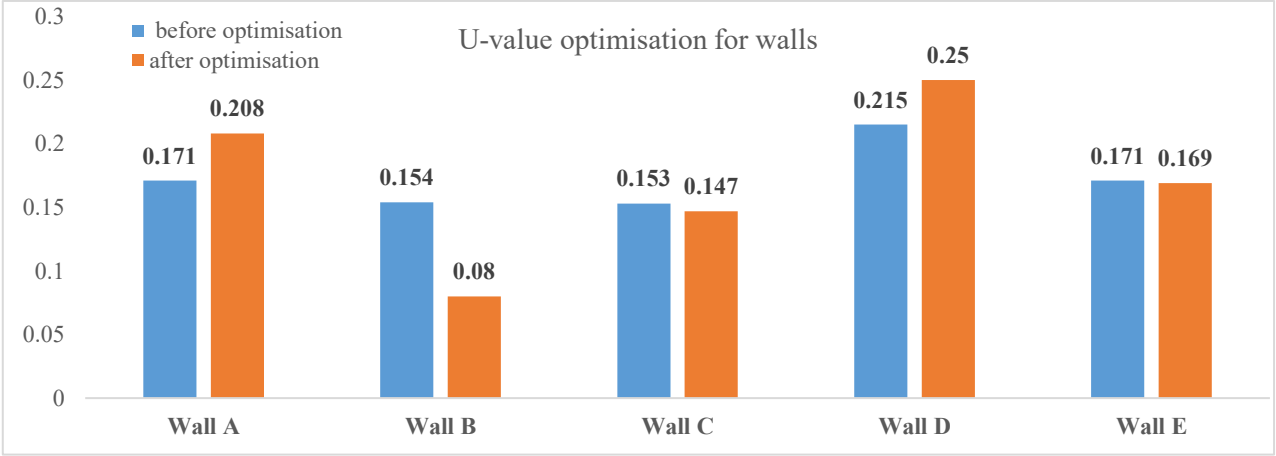


Fig. 2 Thermal transmittance value of the walls before and after optimisation of *Etot*

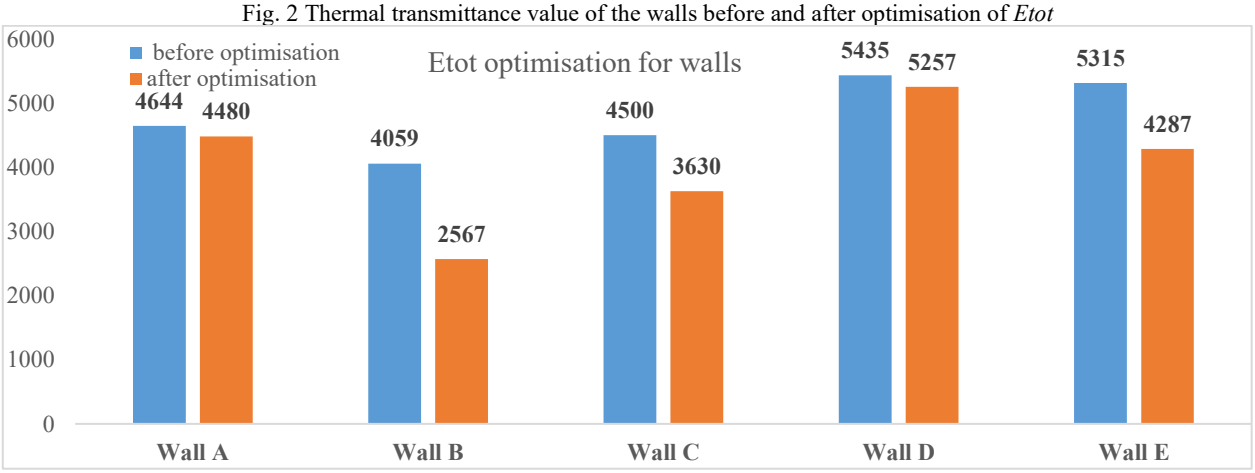


Fig. 3 Total energy *Etot* of the walls before and after optimisation of *Etot*

The general figures of the obtained research are not universal; results need to be clarified regarding the factual values with respect to the embodied energy *EE* figures for a particular country. Thus, further thorough analysis should be conducted to determine an affordable assembly in terms of the optimal thermal performance, dynamic behaviour, and embodied energy for a given LCA framework.

Conclusions

According to the proposed predesign LCA analysis, the research of the five assemblies revealed that the AAC wall could be the most energy-efficient in terms of *u*-value and total energy *Etot*, with great potential to decrease both total energy consumption *Etot by* 36.76% and *u*-value by almost 46%.

REFERENCES

1. Basińska M. The use of multicriteria optimisation to choose solutions for energy-efficient buildings. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*. 2017. Vol. 65, №. 6. P. 815-826. DOI: 10.1515/bpasts-2017-0084.
2. Wang J. J., Jing Y. Y., Zhang C. F., Zhao J. H. Review on multicriteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2009. Vol. 13. №9. P. 2263-2278. DOI: 10.1016/j.rser.2009.06.021.
3. EN 15978:2011. Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method. URL: https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/62c22cef-5666-4719-91f9-c21cb6aa0ab3/en-15978-2011 (Last accessed: 25.02.2023).
4. Thakkar J. J. Multicriteria Decision Making. Springer, 2021. Vol. 336. P. 1-365.
5. Biks Y., Ratushnyak G., Ratushnyak, O. Energy performance assessment of envelopes from organic materials. Architecture Civil Engineering Environment. 2019. № 3: P. 55-67. DOI: 0.21307/ACEE-2019-036.
6. Stazi F. Thermal Inertia in Energy Efficient Building Envelopes. Butterworth-Heinemann, 2017. DOI: 10.1016/B978-0-12-813970-7.00001-7.
7. ISO 13786:2017. Thermal performance of building components – Dynamic thermal characteristics – Calculation methods. URL: https://www.iso.org/ru/standard/65711.html (Last accessed: 10.10.2020).
8. Carabaño R. et al. Life Cycle Assessment (LCA) of building materials for the evaluation of building sustainability: the case of thermal insulation materials. *Revista de la Construcción. Journal of Construction*. 2017. Vol. 16. №. 1. P. 22-33.

9. DSTU-N. B. V. 2.6-189:2013. Methods for the selection of heat-insulating material for the insulation of buildings. [Valid from 2014-01-01]. Official issue Kyiv: Ministry of Region of Ukraine, 2014. 40 p. (in Ukrainian).
10. DBN V. 2.6-31:2021. Thermal insulation of buildings. [Valid from 2022-09-01]. Official issue Kyiv: Ministry of Region of Ukraine, 2022. 27 p. (in Ukrainian).
11. Vilaboa Díaz A., Francisco López A., Bello Bugallo P. M. Analysis of biowaste-based materials in the construction sector: evaluation of thermal behaviour and life cycle assessment (LCA) .*Waste and Biomass Valorization*. – 2022. Vol. 13. №. 12. p. 4983-5004.
12. ISO SPAN Expert 43/15**.** URL: https://www.baubook.at/m/PHP/EinreichungI/Infoauswahl/index.php?Minibox=I_PRW_S_EIKON&iSS=0&SI=2142730302&SG=&Balken=n&SW=5&LU=1823785713&qJ=54&LP=7wFvl&lng=2&SBT_open=738424&SKg=2 (Last accessed: 20.03.2025);
13. Cement-bonded boards made of wood chips (550 kg/m³). URL: https://www.baubook.at/m/PHP/EinreichungI/Infoauswahl/index.php?Minibox=I_PRW_S_EIKON&iSS=0&SI=&SG=2142715868&Balken=n&SW=5&LU=1823785713&qJ=63&LP=7wFvl&lng=2&SBT_open=738546&SKg=2 (Last accessed: 20.03.2025);
14. EPS W15 silver. URL: https://www.baubook.at/m/PHP/Info.php?SI=2142708381&SW=5&LU=1823785713&qJ=70&LP=7wFvl&Minibox=I_PRW_S_EIKON&SBT_open=738424&lng=2&SKg=2&win=y (Last accessed: 20.03.2025);
15. Florentin Y. et al. A life-cycle energy and carbon analysis of hemp-lime bio-composite building materials. *Energy and Buildings*. 2017, Vol. 156. P. 293-305.
16. A brief guide and free tool for the calculation of the thermal mass of building components. URL: https://www.htflux.com/en/free-calculation-tool-for-thermal-mass-of-building-components-iso-13786/ (Last accessed: 18.11.2023)
17. Porotherm. Wall solutions. URL: https://porotherm.com.ua/pdf/Porotherm_Klima.pdf (Last accessed: 22.03.2024) (in Ukrainian).

Biks Yuriy S. — PhD, Associate Professor, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: biks@vntu.edu.ua

УДК 699.86:620.193:691.32

Д. В. Сіташ
А. В. Бондар

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ЗНИЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ У СИСТЕМАХ ФАСАДНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проведено комплексне дослідження факторів, що призводять до зниження довговічності фасадних теплоізоляційних систем. Встановлено, що ключовими чинниками деградації є вологісні процеси, мікроструктурні дефекти штукатурних покриттів, термомеханічні напруження, адгезійні порушення та ультрафіолетове старіння. Наведено інтегральну класифікацію цих факторів та проаналізовано їх синергетичний вплив, який прискорює руйнування штукатурних шарів у 2–3 рази порівняно з дією одного ізольованого чинника. Виконано узагальнення технічних даних щодо зміни міцності, теплопровідності, адгезії та морозостійкості матеріалів. Обґрунтовано ефективність наномодифікованих полімерцементних складів, гідрофобних систем та оптимізованого армування для підвищення експлуатаційної надійності фасадних теплоізоляційних систем.

Ключові слова: фасадні теплоізоляційні системи, довговічність, деградація, штукатурні покриття, мікроструктура, тріщиностійкість, адгезія, вологість, термонапруження, UV-старіння.

Abstracts

The paper presents a comprehensive investigation of the factors that reduce the durability of External Thermal Insulation Composite Systems. The study identifies moisture influence, microstructural defects of plaster coatings, thermomechanical stresses, adhesion failures and ultraviolet degradation as the primary drivers of deterioration. An integral classification of degradation factors is proposed, highlighting their synergistic interaction, which accelerates façade degradation by 2–3 times compared to the effect of a single isolated factor. Technical data on changes in strength, thermal conductivity, adhesion and frost resistance of plaster layers are summarized. The effectiveness of nanomodified polymer-cement compositions, hydrophobic treatments and optimized reinforcement layers for improving the service life and structural stability of Insulation Composite Systems is substantiated.

Key words: *Insulation Composite Systems, durability, degradation, plaster coatings, microstructure, crack resistance, adhesion, moisture, thermomechanical stresses, UV degradation*.

Вступ

Системи фасадної теплоізоляції стали базовим технологічним рішенням у сучасному будівництві, орієнтованому на енергоефективність, зниження тепловтрат та підвищення комфорту експлуатації будівель [1, 2]. В умовах інтенсивної урбанізації, збільшення теплонавантажень на огороджувальні конструкції та посилення кліматичних впливів, питання довговічності фасадних систем набуває ключового значення. Останні експериментальні й аналітичні дослідження свідчать, що термін служби фасадної теплоізоляції часто виявляється меншим за проєктний через комплексний вплив зовнішніх факторів та внутрішніх дефектів матеріалів [3-6].

До найпоширеніших проблем належать накопичення вологи в шарах системи, зниження адгезійної міцності, розвиток мікро- та макротріщин у штукатурних покриттях, ерозія поверхні під дією ультрафіолетового випромінювання, а також нерівномірні термомеханічні напруження між матеріалами з різними фізико-механічними характеристиками [4, 6]. Вплив цих чинників є нелінійним та взаємопов’язаним, що ускладнює їх окремий аналіз та вимагає комплексного підходу.

Особливо важливим є дослідження мікроструктурної стійкості штукатурних покриттів, адже саме тонкошарові захисно-декоративні шари визначають довготривалу експлуатаційну поведінку фасаду. Технологічні порушення, неякісні матеріали, недосконаліть рецептур та вплив атмосферної вологи можуть суттєво прискорювати деградацію системи [5, 7]. У цьому контексті актуальним залишається аналіз як традиційних факторів зниження довговічності, так і сучасних інноваційних шляхів їх мінімізації – використання нанонаповнювачів, модифікованих полімерцементних складів, удосконалених армувальних шарів та гідрофобних мостів.

Метою цього дослідження є розширена оцінка і систематизація факторів, які найінтенсивніше впливають на довговічність фасадної теплоізоляції, а також формування наукового підґрунтя для

подальшої оптимізації складів і технологій виконання фасадних робіт.

Результати дослідження

1. Вологісний режим та його роль у деградації фасадної теплоізоляції

Одним із найбільш критичних чинників, що впливають на довговічність фасадної теплоізоляції, є вологісний режим. Вода легко проникає в шар утеплювача або штукатурки через мікропори й капілярну систему. Після накопичення волога збільшує теплопровідність матеріалу, створюючи умови для нерівномірного охолодження фасаду та формування зон переохолодження [4, 6, 8]. Саме такі зони виступають ініціаторами появи тріщин, особливо взимку, коли відбувається багаторазовий перехід вологи з рідкого стану у лід і назад (рис. 1).



Рисунок 1 – Механізм руйнування штукатурки у системі фасадної теплоізоляції

Підтвердження впливу вологості на теплопровідність наведено на рисунку 2, де видно, як зростання вологості утеплювача на 8–12% збільшує його λ до 0,055–0,06 Вт/(м·К), що знижує ефективність системи й створює передумови для руйнування цементного каменю.

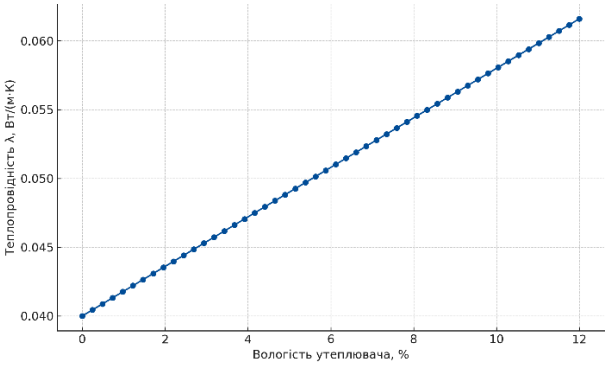


Рисунок 1 – Вплив вологості на теплопровідність утеплювача

Такі процеси особливо небезпечні для мінераловатних плит, які мають високу водопоглинальність. Узагальнені властивості вологісної деградації наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Вплив вологи на параметри роботи фасадної теплоізоляції

Показник	Значення	Наслідок
Зростання λ при вологості 8–10%	+20–35%	Переохолодження штукатурки, ризик тріщин
Водопоглинання мінераловати	5–12%	Конденсація в шарах системи
Локальне водонасичення штукатурки	до 15%	Руйнація при замерзанні

2. Мікроструктурні дефекти штукатурних покриттів

Мікроструктура цементного каменю визначає його міцність, тріщиностійкість та довговічність. У випадку фасадної теплоізоляції проблема ускладнюється тим, що шар штукатурки є тонким, а тому будь-які дефекти розвиваються швидко [6, 9]. Поява пор діаметром більше 0,15–0,25 мм призводить до

зростання водопоглинання та зменшення зв'язності. Усадкові процеси під час тверднення сприяють формуванню первинних мікротріщин, які згодом стають шляхом проникнення вологи.

Для наочного розуміння зміни структури штукатурки до і після введення нанонаповнювачів наведено рисунок 3, що демонструє різницю між крупною пористістю та ущільненою наномодифікованою структурою. Узагальнення мікроструктурних дефектів наведено у таблиці 2.

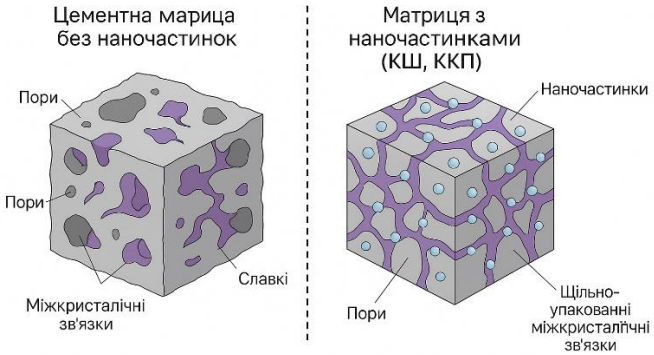


Рисунок 3 – Схема впливу наночастинок на мікроструктуру цементної матриці

Таблиця 2. Характерні мікроструктурні дефекти штукатурних покриттів

Вид дефекту	Причина	Результат
Крупнопористість	Надлишок води, нерівномірна дисперсність	Зниження морозостійкості
Мікротріщини	Усадка, швидке висихання	Поширення у макротріщини
Капілярні канали	Вода + замерзання	Розриви структури
Слабкі зони	Нерівномірна гідратація	Втрата міцності

3. Адгезійні порушення та відшарування

Адгезія між шарами фасадної теплоізоляції – це основний параметр, який визначає стабільність системи. Якщо адгезія слабшає, формується порожнина між шарами, у яку потрапляє повітря або волога. У таких зонах температура змінюється швидше, ніж у цілісному шарі, що провокує відшарування штукатурки [7, 10]. Порівняння міцності зчеплення звичайних та наномодифікованих складів наведено на рисунку 4, де чітко видно, що введення 5–10% КШ (кремнеземна шлакова мікросфера має розмір частинок 50–200 нм; основа – до 95% SiO_2) або ККП (каоліновий композиційний порошок, який отримують шляхом термоактивації каоліну та подрібнення до нанорозміру ~100–300 нм; основа – Al_2O_3 + SiO_2) збільшує адгезію майже вдвічі.

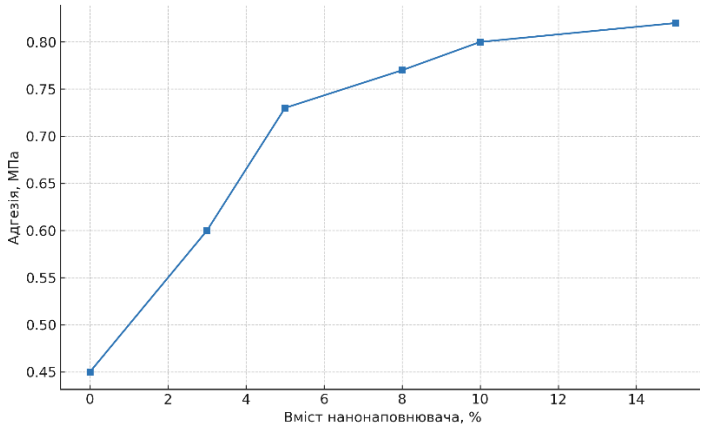


Рисунок 4 – Вплив нанонаповнювача на адгезію штукатурки

4. Ультрафіолетове старіння та температурні впливи

Під дією UV полімерні компоненти штукатурки втрачають еластичність, а поверхня стає шорсткою, з'являється характерна «сіточка» тріщин. Це супроводжується підвищенням крихкості та поступовим руйнуванням поверхневих шарів. Разом із тим, добові температурні перепади створюють термомеханічні напруження [8-11]. Розподіл цих напружень у штукатурці різко зменшується у разі використання армування, що показано на рисунку 5.

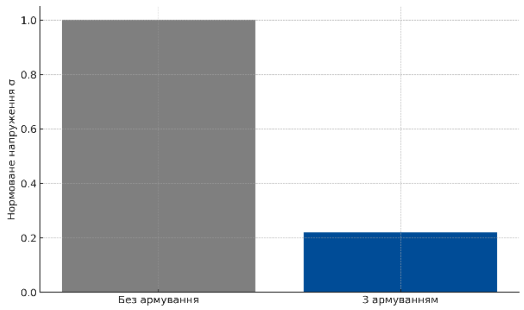


Рисунок 5 – Зниження напружень у штукатурці при армуванні

5. Інтегральна класифікація факторів деградації

Проведений комплексний аналіз показує, що процеси деградації фасадних теплоізоляційних систем мають багатофакторний характер і залежать не лише від якості матеріалів чи технології виконання робіт, а й від складної взаємодії кліматичних, фізико-хімічних та конструктивних впливів. Для систематизації та глибшого розуміння механізмів руйнування доцільно застосувати інтегральну класифікацію факторів, що охоплює чотири ключові блоки: вологісні, адгезійні, термомеханічні та атмосферно-кліматичні.

Для кількісної інтерпретації застосовано ранжування критичності (1–5), наведене у таблиці 3. Найвищу критичність мають вологісний і мікроструктурний блоки, оскільки вони одночасно ініціюють і прискорюють більшість інших процесів.

Таблиця 3. Ранжування критичності факторів деградації фасадних теплоізоляційних систем

Фактор	Оцінка критичності (1–5)	Примітка
Вологість	5	Фундаментальним фактор, який ініціює більшість руйнівних процесів
Мікроструктура	5	Визначає стійкість штукатурки
Термонапруження	4	Викликає тріщини та відшарування
Адгезійні порушення	4	Призводять до втрати цілісності
UV-старіння	3	Синергетичний ефект із вологою

Для систематизації чинників впливу використано комплексну інфографіку (рисунок 6):

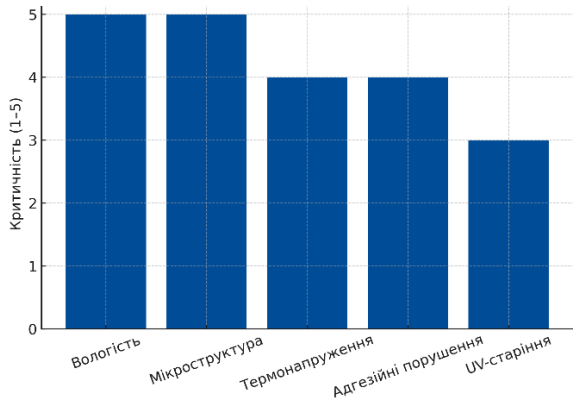


Рисунок 6 – Узагальнена класифікація факторів деградації фасадних теплоізоляційних систем

Таке представлення дозволяє визначити взаємозв’язок між вологістю, UV, адгезією, мікроструктурою та термонапруженнями, які діють не ізольовано, а в поєднанні, прискорюючи деградацію у 2–3 рази.

Висновки

Проведений аналіз показав, що довговічність фасадних теплоізоляційних систем визначається комплексною взаємодією вологісних, мікроструктурних, адгезійних, термомеханічних та атмосферно-кліматичних чинників, які діють синергетично та взаємно підсилюють руйнівні ефекти:

1. Вологість є головним фактором деградації фасадних теплоізоляційних систем: підвищення вологості утеплювача на 8–10% збільшує його теплопровідність з 0,038–0,040 до 0,050–0,060 Вт/(м·К), що зменшує енергоефективність системи на 20–35%.

2. Мікроструктурні дефекти штукатурки критично впливають на міцність: збільшення середнього діаметра пор понад 0,15–0,25 мм знижує морозостійкість штукатурки на 1–2 класи (F25 → F15).

3. Адгезійні порушення формуються при зниженні міцності зчеплення нижче 0,45 МПа, що призводить до локальних відшарувань; нормативною мінімальною межею вважається 0,6 МПа для тонкошарової штукатурки.

4. Термонапруження у штукатурних шарах можуть сягати 0,8–1,2 МПа на південних фасадах у період літніх температурних пікових навантажень, що перевищує межу тріщиностійкості більшості немодифікованих складів.

5. UV-старіння знижує еластичність полімерцементних покриттів на 25–40% за 3–5 років експлуатації, що сприяє появі поверхневих мікротріщин розміром 0,05–0,1 мм.

6. Синергетичний ефект “волога + мороз” збільшує об’єм порового льоду на ≈9%, що створює розпірний тиск до 20–25 МПа – значно більше, ніж межа міцності цементного каменю (8–15 МПа).

7. Наномодифікатори зменшують середній діаметр капілярів у 3–5 разів (з 0,20–0,25 мм до 0,05–0,07 мм) та підвищують щільність структури на 12–18%.

9. Адгезія наномодифікованих штукатурок підвищується до 0,75–0,80 МПа, що на 35–45% більше порівняно з базовими цементними складами без них.

10. Правильно розташована армувальна сітка знижує пікові напруження у штукатурці у 4–5 разів (з 1,0 до 0,20–0,25 МПа), що значно зменшує ризик утворення тріщин.

11. Гідрофобні покриття зменшують водопоглинання штукатурки з 6–8% до 1,5–2,0%, що збільшує морозостійкість на один або два класи та подовжує термін служби системи на 25–30%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ Б В.2.6–36:2008. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 43 с.
2. ДБН В.2.6-33:2018. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування. К.: Мінрегіон України, 2018. 25 с.
3. Farenyuk G. Experimental evaluation of etics reliability factors. *Наука та будівництво*. 2019. Вип. 4 (22). С. 4–10.
4. Олексієнко О.Б. Оцінка експлуатаційних якостей конструкцій фасадної теплоізоляції з тонкошаровою штукатуркою. *Світ геотехніки*. Запоріжжя, 2012. Вип. 2 (34). С. 31 – 33.
5. Фаренюк Г. Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огороджувальних конструкцій. Київ : Гама-Принт, 2019. 216 с.
6. Фаренюк Г. Г., Олексієнко О. Б. Аналіз критеріїв оцінки фасадних систем з штукатурним шаром з урахуванням європейського досвіду. *Вісник ОДАБА*. 2020. №80. С. 150–161. DOI: 10.31650/2415-377X-2020-80-150-161.
7. Дворкін Л. Й. Будівельні розчини: навчальний посібник. Київ: Каравела, 2021. 222 с.
8. Daniotti B., Paolini R., Re Cecconi F. Effects of Ageing and Moisture on Thermal Performance of ETICS Cladding. Durability of Building Materials and Components. ed. V.P. de Freitas, J.M.P.Q. Delgado. Springer Berlin Heidelberg, 2013. P. 127–171. DOI: 10.1007/978-3-642-37475-3_6.
9. Parracha J.L., Borsoi G., Veiga R., Flores-Colen I., Nunes L., Garcia A.R., Ilharco L.M., Dionísio A., Faria P. Effects of hygrothermal, UV and SO_2 accelerated ageing on the durability of ETICS in *urban environments. Building and Environment*. 2021. Vol. 204. Article 108151. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108151.
10. Silva L., Flores-Colen I., Vieira N., Barros Timmons A., Sequeira P. Durability of ETICS and Premixed One-Coat Renders in Natural Exposure Conditions. J.M.P.Q. Delgado (ed.) New Approaches to Building Pathology and Durability. Springer Singapore, 2016. P. 131-158. DOI: 10.1007/978-981-10-0648-7_7.
11. Parracha J. L., Veiga R., Flores-Colen I., Nunes L. Toward the Sustainable and Efficient Use of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS): A Comprehensive Review of Anomalies, Performance Parameters, Requirements and Durability. *Buildings*. 2023. Vol. 13, No 7, Article 1664. DOI: 10.3390/buildings13071664.

Сіташ Дмитро Володимирович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Бондар Альона Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

Sitash Dmytro – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Bondar Alena – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

УДК 691.3:666.972.1

В. А. Кравчук
А. В. Бондар

РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ БЕТОНІВ ДЛЯ ВЛАШТУВАННЯ ПЛОСКИХ ПОКРІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі узагальнено результати досліджень, спрямованих на створення ефективних бетонів для облаштування плоских покрівель громадських та житлових будівель. Основну увагу приділено застосуванню самоущільнюючих бетонів (СУБ) із використанням промислових відходів (зола-винос, склобій, мікрокальцит, шлаки) та поліпропіленової фібри для підвищення довговічності, водонепроникності та морозостійкості. Проаналізовано структуру бетонної матриці, механізм самоущільнення, вплив добавок на фізико-механічні характеристики, а також показники експлуатаційної надійності в умовах циклічного зволоження, температурних деформацій та впливу кліматичних факторів. Показано, що оптимальна кількість комплексних мінеральних відходів у складі СУБ становить 10–15%, що забезпечує підвищення міцності на 15–20%, морозостійкості — у 1,8–2,1 рази, водонепроникності — до рівня W12–W20. Використання поліпропіленової фібри зменшує утворення мікротріщин та підвищує тріщиностійкість на 40–90%. Узагальнено матеріали експериментальних досліджень і наведено рекомендації щодо застосування таких бетонів у сучасному покрівельному будівництві.

Ключові слова: самоущільнюючий бетон, плоскі покрівлі, фібробетон, зола-винос, склобій, морозостійкість, водонепроникність, довговічність.

Abstracts

The paper summarizes the results of research aimed at creating effective concretes for arranging flat roofs of public and residential buildings. The main attention is paid to the use of self-compacting concretes (SCC) using industrial waste (fly ash, cullet, microcalcite, slag) and polypropylene fiber to increase durability, water resistance and frost resistance. The structure of the concrete matrix, the self-compacting mechanism, the effect of additives on physical and mechanical characteristics, as well as indicators of operational reliability under conditions of cyclic moistening, temperature deformations and the influence of climatic factors are analyzed. It is shown that the optimal amount of complex mineral waste in the composition of SCC is 10–15%, which provides an increase in strength by 15–20%, frost resistance by 1.8–2.1 times, and water resistance to the level of W12–W20. The use of polypropylene fiber reduces the formation of microcracks and increases crack resistance by 40–90%. Materials from experimental studies are summarized and recommendations for the use of such concretes in modern roofing construction are given.

Key words: *self-compacting concrete, flat roofs, fiber concrete, fly ash, broken glass, frost resistance, waterproofing, durability.*

Вступ

Плоскі покрівлі є одним з найбільш поширених конструктивних елементів сучасних громадських і житлових будівель. Вони зазнають підвищених експлуатаційних впливів – атмосферних опадів, циклічного заморожування-відтавання, температурних деформацій, локальних навантажень, впливу сонячної радіації та зволоження. Основною проблемою традиційних бетонних покриттів є недостатня водонепроникність, розтріскування та скорочений строк служби внаслідок дії кліматичних факторів.

В умовах сучасних будівельних технологій особливо актуальними стають модифіковані бетони підвищеної щільності та тріщиностійкості, здатні забезпечити герметичність і довговічність покрівельних систем. Самоущільнюючі бетони (СУБ) є одним із найбільш перспективних матеріалів для плоских покрівель, оскільки забезпечують формування однорідної безповітряної структури без віброущільнення, знижують пористість та підвищують експлуатаційні властивості [1-6].

У той же час, включення промислових відходів – золи-виносу, мікрокальциту, мікрокремнезему, склобою, доменного шлаку – дозволяє покращити структуру цементного каменю, підвищити щільність та підсилити пуцоланові реакції, що позитивно впливає на морозостійкість і водостійкість [7]. Додавання поліпропіленової фібри забезпечує контроль усадкових і температурних тріщин [6].

Метою дослідження є розроблення ефективного складу бетонів для влаштування плоских покрівель з покращеними показниками міцності, морозостійкості, водонепроникності та тріщиностійкості шляхом комплексної модифікації структури.

Матеріали та методи дослідження

У роботі застосовано лабораторні методи визначення фізико-механічних властивостей бетонів згідно з ДСТУ 9208:2022 «Бетони важкі. Технічні умови», ДСТУ Б В.2.7-214:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками», ДСТУ Б В.2.7-47-96 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги», ДСТУ Б В.2.7-170:2008 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності» та іншими нормативними документами [8-12]. Дослідження включали:

- підбір складів СУБ з різною кількістю промислових відходів (0–20% маси цементу);
- аналіз реологічних параметрів СУБ (розтікання конуса, здатність до самоущільнення);
- визначення міцності на стиск у віці 7, 28 та 90 діб;
- аналіз впливу різних типів відходів на пористість та капілярне всмоктування;
- оцінку морозостійкості F за критерієм втрати маси та зниження міцності;
- оцінку водонепроникності за капілярним всмоктуванням;
- оцінку тріщиностійкості фібробетону.

Використано самоущільнюючу бетонну суміш, у склад якої вводили 5–20% мінеральних промислових відходів (золу-винос ТЕС, подрібнене скло (склобій <0,63 мм), мікрокальцит, доменний гранульований шлак) та 0,6–1,0 кг/м³ поліпропіленової фібри.

Бетонні суміші готувалися у лабораторному примусовому змішувачі. Послідовність завантаження компонентів була сталою для всіх серій дослідів: спочатку в змішувач засипали сухі компоненти (цемент, пісок, мінеральні відходи, мікрокальцит, склобій), після чого додавали щебінь. Суху суміш перемішували протягом 60–90 секунд до однорідності. Далі вводилась частина води з розчиненим суперпластифікатором, після чого суміш перемішувалася ще 120 секунд. На завершальному етапі вводилась поліпропіленова фібра, яку додавали поступово для забезпечення рівномірного розподілу в об’ємі бетону. Загальний час перемішування однієї порції складав близько 5 хвилин.

Формування зразків здійснювалося без вібрації, оскільки СУБ має здатність до самоущільнення. Бетонна суміш самостійно розтікалась у формах повільним заповненням з мінімальним механічним втручанням. Поверхня зразків вирівнювалася металевим шпателем.

Для подальших випробувань готувалися такі типи зразків: куби розміром 100×100×100 мм для визначення міцності на стиск та решти фізичних властивостей; призми 100×100×400 мм для визначення міцності на згин.

Результати дослідження

Таблиця 1 містить узагальнений оптимізований склад самоущільнювального бетону, модифікованого промисловими відходами та поліпропіленовою фіброю. Основним в’яжучим є цемент CEM II/A-LL 42.5 (М500) у кількості 400–440 кг, який забезпечує необхідний рівень початкової та кінцевої міцності. Пісок фракції 0–2 мм і щебінь 5–10 мм формують раціональний гранулометричний склад, що сприяє самоущільненню суміші без застосування вібрації.

Комплекс мінеральних відходів – зола-винос, подрібнений склобій та мікрокальцит/шлак – виконує роль активних та інертних мікродобавок, що ущільнюють структуру цементного каменю, знижують пористість і підвищують морозостійкість та водонепроникність. Мікрокремнезем забезпечує додаткове мікронаповнення та активує пуцоланові реакції, що істотно впливає на щільність і довговічність бетону.

Реологічні властивості суміші регулюються суперпластифікатором і модифікатором в’язкості, які забезпечують високу плинність, відсутність розшаровування та стабільність СУБ під час заливання. Водоцементне відношення на рівні ≈0,32 дозволяє отримати щільну й однорідну структуру.

Поліпропіленова фібра (0,6–1,0 кг/м³) виконує роль мікроармування, зменшуючи утворення усадкових і температурних мікротріщин, підвищуючи тріщиностійкість і експлуатаційну надійність бетонного шару.

У цілому склад, наведений у Таблиці 1, є комплексно збалансованим і забезпечує високі міцнісні, морозостійкі та гідроізоляційні властивості бетону, необхідні для експлуатації у плоских покрівлях.

Таблиця 1 – Склад СУБ з відходами та фіброю

Компонент	Од.	Кількість	Призначення
Цемент М500	кг	400–440	Основа
Пісок 0–2 мм	кг	780–850	Заповнювач
Щебінь 5–10 мм	кг	740–870	Заповнювач
Зола-винос	кг	40–80	Пуцолан
Склобій <0,63 мм	кг	20–40	Нанонаповнювач
Мікрокальцит/шлак	кг	20–50	Мікрофіллер
Мікрокремнезем	кг	10–25	Активатор
Вода	л	150–165	В/Ц≈0,32
Суперпластифікатор	%	1,2–1,8	Регулювання рухливості
Модифікатор в’язкості	%	0,10–0,20	Стабілізація суміші
ПП-фібра 6–12 мм	кг	0,6–1,0	Армування

Таблиця 2 подає порівняльні експлуатаційні характеристики звичайного бетону, самоущільнюючого бетону (СУБ) та його модифікованих варіантів із додаванням промислових відходів і поліпропіленової фібри. Видно, що перехід від традиційного бетону до СУБ уже забезпечує суттєве підвищення міцності, водонепроникності та морозостійкості завдяки щільнішій структурі та зниженій пористості цементного каменю.

Таблиця 2 – Властивості бетонних сумішей (СУБ + відходи + фібра)

Показник	Звичайний бетон	СУБ без відходів	СУБ + 15% відходів	СУБ + 15% відходів + фібра+СП
Міцність на стиск, МПа	32–35	42	52	52–54
Водонепроникність, W	W4–W6	W8	W12–W14	W14–W16
Морозостійкість, цикли	F150–F200	F200	F330	F330–F380
Пористість, %	12–16	10–12	8–9	7–8
Рухливість (розтікання конуса), мм	160–200	250	280–320	280–320
Тріщиностійкість (відн. од.)	1,0	1,2	1,4	2,0–2,3
Усадка, мм/м	0,5–0,7	0,45	0,40	0,30–0,35
Орієнтовний строк служби, років	10–15	20–25	25–35	30–40

Додавання 15% комплексних мінеральних відходів призводить до подальшого зростання експлуатаційних властивостей: міцність підвищується до 52 МПа, клас водонепроникності зростає до W12–W14, а морозостійкість – до F330, що значно перевищує показники контрольної суміші. У таких складах спостерігається зменшення пористості до 8–9% та помітне зниження усадки.

Введення поліпропіленової фібри забезпечує додаткове підвищення тріщиностійкості, яка досягає рівня 2,0–2,3 умовних одиниць, що вдвічі перевищує параметри звичайного бетону. Це позитивно позначається на довговічності матеріалу: прогнозований строк служби підвищується до 30–40 років, що є ключовою перевагою для плоских покрівель, які працюють у складних кліматичних умовах.

Таким чином, дані таблиці підтверджують, що поєднання технології самоущільнювального бетону, промислових відходів і мікроармування фіброю є ефективним шляхом отримання довговічного, щільного та гідротехнічно стійкого покрівельного бетону.

Висновки

1. Додавання мінеральних відходів (золи-виносу, склобою та мікрокальциту) у кількості 10–15% маси цементу забезпечило ущільнення структури цементного каменю та зниження капілярної пористості, що позитивно вплинуло на міцність і довговічність бетонів.

2. Модифіковані бетонні суміші продемонстрували морозостійкість на рівні F350, що пов’язано зі зменшенням водонасичення, активізацією пуцоланових реакцій та підвищенням однорідності структури внаслідок мікронаповнення.

3. Реальна рухливість сумішей відповідала класу P5 (22–24 см), що забезпечує достатню пластичність і формостійкість матеріалу при влаштуванні покрівельних стяжок без ризику розшаровування.

4. Введення поліпропіленової фібри (0,6–1,0 кг/м³) сприяло зменшенню усадкових і температурних мікротріщин та підвищило тріщиностійкість, що покращило поведінку бетону під час циклічних температурних впливів.

5. Комплексне застосування відходів і фібри забезпечило значне підвищення водонепроникності (до W10–W12), що є критично важливим для довговічності бетонних шарів плоских покрівель.

6. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованих модифікованих бетонів для експлуатації у покрівельних конструкціях, де необхідні підвищена щільність, стійкість до заморожування-відтавання та мінімізація дефектів протягом тривалого терміну служби.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Самоущільнюючі бетонні суміші. URL: https://www.housebeton.com/betonni-sumishi/self-compacting-concrete-mixes
2. Кіракевич І.І., Марущак У.Д., Саницький М.А., Стечишин М.С. Самоущільнювальні бетони зі швидким наростанням міцності. URL: https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/31bc6849-6005-418b-ac63-958e2238ba8d/content
3. Кіракевич І.І., Саницький М.А., Чайковська Р.В. Технологія самоущільнювальних бетонів, що тверднуть у різних температурних умовах. URL: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4207/26165.pdf
4. Болотських О. М., Шаповал С. В. Переваги самоущільнювального бетону і перспективи його застосування В Україні. *Науковий вісник будівництва*. 2021. Том 103 № 1. С. 228-234.
5. Рунова Р.Ф., Гоц В.І., Саницький М.А. та ін. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження в будівництво. К.: УВПК „ЕксОб”, 2008. 360 с.
6. Гаращенко Д.П. Дисперсно-армований самоущільнюючий бетон на механоактивованому портландцементі : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Одеса, 2021. 159 с.
7. Дворкін Л.Й. Будівельні розчини: Навчальний посібник. Київ: Каравела, 2021. 222 с.
8. ДСТУ 9208:2022. Бетони важкі. Технічні умови. Чинний від 2023-09-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2023. 22 с.
9. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. Чинний від 2010-09-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-47-96. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги. Чинний від 1997-04-01. Вид. офіц. Київ : Держкоммістобудування, 1995. 22 с.
11. ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. Чинний від 2009-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 36 с.
12. ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013. Настанова щодо визначення складу важкого бетону. Чинний від 2014-07-01. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2014. 91 с.

Кравчук Вадим Андрійович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Бондар Альона Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

Kravchuk Vadym – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Bondar Alena – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

УДК 692.4:725.2

В. А. Тарасов
А. В. Бондар

СУЧАСНІ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ПЛОСКИХ ЕКСПЛУАТОВАНИХ ПОКРІВЕЛЬ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ ТА ЇХ ОЦІНКА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглянуто сучасні конструктивно-технологічні рішення плоских експлуатованих покрівель громадських будівель, які поєднують гідроізоляційні, теплозахисні та функціонально-просторові властивості. Проаналізовано конструктивні схеми інверсійних, баластних, зелених, терасних покрівель на регульованих опорах та мембранних систем на основі ПВХ, ТПО і EPDM-матеріалів. Встановлено основні переваги кожного типу покрівлі, їхню довговічність, ремонтопридатність, стійкість до механічних навантажень та теплотехнічну ефективність. Наведено порівняльну оцінку експлуатаційних характеристик, що дозволяє визначити оптимальні рішення для громадських будівель залежно від умов експлуатації, інженерних вимог та функціонального призначення покрівельного простору.

Ключові слова: плоскі покрівлі; експлуатовані покрівлі; інверсійні системи; мембранні покрівлі; тераси на опорах; зелені покрівлі; баластні системи; ремонтопридатність; експлуатаційна надійність; теплотехнічні властивості; громадські будівлі..

Abstracts

The paper examines modern structural and technological solutions for flat usable roofs in public buildings, which combine waterproofing, thermal protection and functional spatial capabilities. Various construction systems are analysed, including inverted roofs, ballasted systems, green roofs, terrace structures on adjustable pedestals, as well as PVC, TPO and EPDM membrane technologies. The study identifies the key advantages of each roofing type, evaluates their durability, maintainability, load resistance and thermal performance. A comparative assessment of operational characteristics is presented, enabling the selection of optimal roofing solutions depending on functional requirements, engineering constraints and operational conditions of public buildings. The findings demonstrate that contemporary combined membrane and pedestal-based systems provide the best balance of reliability, service life and adaptability, making them highly suitable for modern public architecture.

Key words: flat roofs, usable roofs, inverted roofing systems, membrane waterproofing, terrace systems, adjustable pedestals, green roofs, ballasted roofs, maintainability, operational reliability, thermal performance, public buildings.

Вступ

У сучасному будівництві плоскі експлуатовані покрівлі громадських будівель набувають стратегічного значення як багатофункціональні огороджувальні конструкції, що здатні поєднувати гідроізоляційні, теплозахисні, архітектурні та експлуатаційні властивості. На відміну від традиційних покрівель, експлуатовані системи передбачають активне використання верхнього покрівельного простору – як терас, рекреаційних зон, технічних площадок, озеленених майданчиків або платформ для обладнання. Це вимагає застосування інноваційних матеріалів, продуманих конструктивних схем і технологічних рішень, що забезпечують високу стійкість до механічних, кліматичних та експлуатаційних навантажень.

Розвиток технологій плоских покрівель зумовлений як функціональними вимогами, так і тенденціями сталого розвитку, зокрема необхідністю підвищення енергоефективності будівель, оптимізації теплообміну, зменшення тепловтрат та впровадження екологічно орієнтованих рішень – таких як зелені покрівлі [1]. Застосування мембранних матеріалів нового покоління (ПВХ, ТПО, EPDM), інверсійних схем, баластних систем та регульованих опор дозволяє створювати довговічні, технологічно гнучкі та ремонтопридатні конструкції, здатні забезпечити стабільну роботу в умовах інтенсивної експлуатації [2-4].

Комплексна оцінка конструктивно-технологічних рішень є ключовим етапом при виборі оптимальної системи плоскої покрівлі. До основних критеріїв належать: експлуатаційна надійність, довговічність гідроізоляційного шару, ремонтопридатність, теплозахисні властивості, стійкість до механічних навантажень, адаптивність до мінливих температурних режимів та економічна

ефективність. Систематизований порівняльний аналіз дозволяє визначити переваги кожного виду покрівель і обґрунтувати їх застосування в залежності від призначення будівлі та умов експлуатації. [5].

Результати дослідження

Плоскі експлуатовані покрівлі громадських будівель формують одну з найбільш перспективних груп покрівельних систем сучасної архітектури, оскільки поєднують захисну, теплозахисну, гідроізоляційну та функціонально-просторову функції [1-4]. На відміну від традиційних неексплуатованих дахів, дані системи здатні забезпечувати утворення додаткових рекреаційних, технічних або транспортних площ, що істотно розширює можливості просторової організації будівель. Їх конструктивні схеми і технічні параметри наведено на рисунку 1.

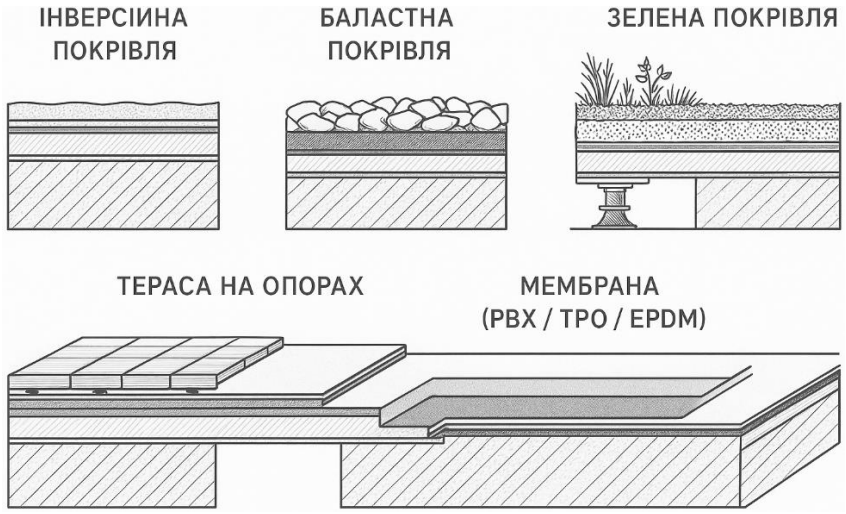


Рисунок 1 – Конструктивні розрізи експлуатованих покрівель

Виконано порівняльний аналіз провідних типів експлуатованих покрівель – інверсійних, баластних, зелених, терасних систем на регульованих опорах та мембранних покрівель на основі ПВХ, ТПО та EPDM. Їх основні характеристики, конструктивні вузли та сфери застосування систематизовано у Таблиці 1. Аналіз показує, що кожен тип має окремі технічні та експлуатаційні переваги, які визначають доцільність використання залежно від призначення будівлі та інтенсивності експлуатаційних навантажень.

Таблиця 1 – Порівняння конструктивно-технологічних рішень плоских експлуатованих покрівель

Тип покрівлі	Конструктивні особливості	Основні переваги	Обмеження
Інверсійна	Теплоізоляція над мембраною; баласт	Висока довговічність гідроізоляції; стабільність температур	Потребує XPS; збільшена маса
Баластна	Гравій/плити як фіксатор	Простота монтажу; невисока вартість	Не підходить для великих ухилів
Зелена	Дренаж, фільтрація, субстрат, рослинність	Екологічність; тепловий комфорт; акустика	Підвищене навантаження; догляд
Тераса на опорах	Плити на регульованих стійках	Ремонтопридатність; приховані мережі	Вимоги до рівності основи
Мембранна	Одношарова мембрана, механічне/клеєве кріплення	Швидкий монтаж; УФ-стійкість; гнучкість	Чутливість до механічних пошкоджень

Інверсійні покрівлі характеризуються найвищою стабільністю гідроізоляційного шару, оскільки теплоізоляційні плити XPS щільністю ≥300 кг/м³, укладені поверх мембрани, мінімізують термічні деформації та механічні впливи. За даними графіка на рис. 2, строк служби таких систем сягає 40–60 років, що є найвищим серед усіх досліджених варіантів.

Баластні системи із застосуванням щебеню, гравію або бетонних плит ефективні для технічних зон і покрівель, схильних до локальних навантажень. Вони не потребують термічного зварювання та дозволяють швидко формувати покрівлю великої площі при мінімальних витратах монтажного часу.

За оцінкою графіка на рис. 3, їх стійкість до навантажень становить 4,0 бала, що відповідає середньому рівню для технічних покрівель.

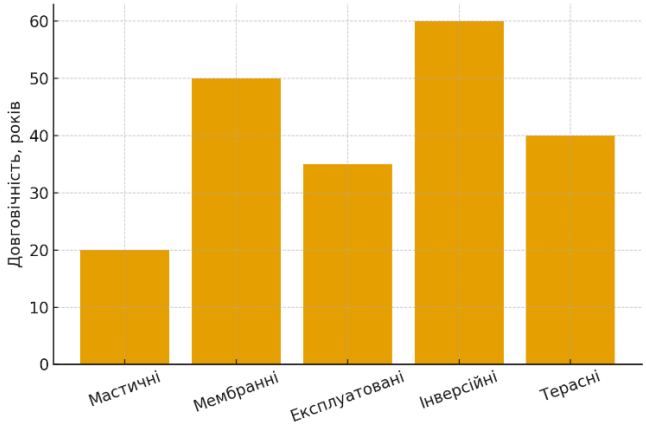


Рисунок 2 – Довговічність покрівельних систем

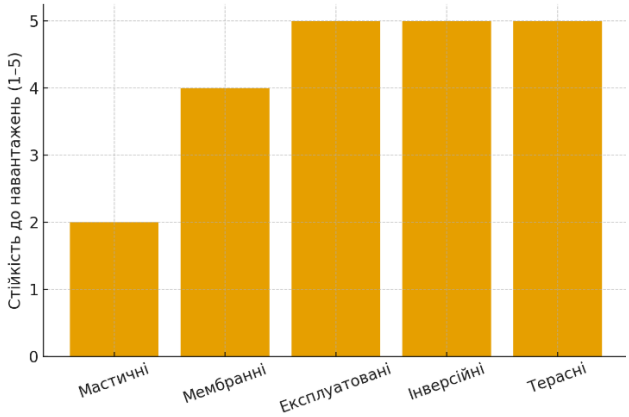


Рисунок 3 – Стійкість до навантажень покрівельних систем

Зелені покрівлі (екстенсивні та інтенсивні), технологічну схему яких наведено у таблиці 1, забезпечують додаткові екологічні та енергоефективні переваги – зниження температури покриття на 10–15°С, підвищення теплостійкості даху, зменшення шуму та покращення мікроклімату. Їх маса при зволоженні може досягати 450–950 кг/м², що потребує посиленого розрахунку несучої здатності перекриття.

Терасні покрівлі на регульованих опорах демонструють найвищу ремонтопридатність – 5,0 балів (див. рис. 4). Завдяки використанню поліпропіленових або гумових опор, здатних витримувати точкове навантаження до 2,0 т, забезпечується вентиляція піднастильного простору та можливість прихованого розміщення інженерних комунікацій.

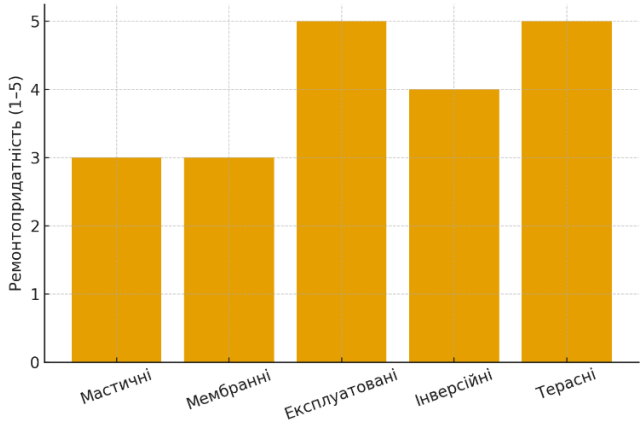


Рисунок 4 – Ремонтопридатність покрівельних систем

Мембранні покрівлі (ПВХ, ТПО, EPDM), відповідно до рис. 1, характеризуються максимальною експлуатаційною надійністю – 5,0 балів. Мембрани мають високу стійкість до УФ-випромінювання, розривну міцність 900–1200 Н/50 мм і можуть монтуватися механічним, баластним або клеєвим методом. Ці системи є одними з найбільш універсальних та технологічно гнучких.

Для визначення інтегральної ефективності використано комплексний аналіз за п’ятьма технічними критеріями: експлуатаційна надійність, довговічність, ремонтопридатність, стійкість до навантажень та теплоефективність (табл. 2).

Таблиця 2 – Оцінка експлуатаційних характеристик покрівельних систем

Показник	Мастичні	Мембранні	Експлуатовані на опорах	Інверсійні	Зелені
Експлуатаційна надійність (1–5)	3	5	5	5	4
Довговічність (роки)	15–25	30–60	25–40	40–60	30–50
Ремонтопридатність (1–5)	3	3	5	4	3
Стійкість до навантажень (1–5)	2	4	5	5	4
Теплотехнічні властивості (1–5)	3	4	4	5	5

Згідно з інтегральною кривою на рис. 5, найбільш збалансованими системами для громадських будівель є:

- інверсійні покрівлі (мембрана + XPS) – найкраща довговічність та теплоефективність,
- терасні системи на опорах – найвища ремонтопридатність і стійкість до навантажень,
- мембранні покрівлі (ТПО/ПВХ) – найкраща герметичність і стабільність при експлуатації, що показує найвищу надійність і довговічність.
- зелені покрівлі лідирують у теплоефективності;
- мастичні покриття поступаються за стійкістю та ресурсом.

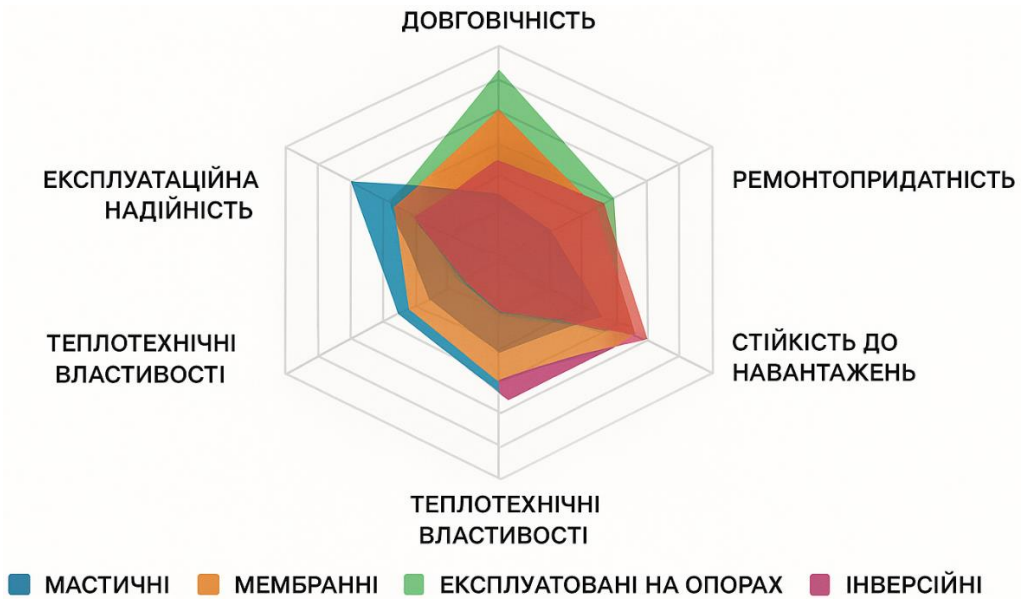


Рисунок 5 – Діаграма оцінки

Отже, найкращі інтегральні показники мають інверсійні та терасні системи на опорах, тоді як мембранні покрівлі – оптимальні для великих площ із високими вимогами до герметичності.

Таким чином, застосування сучасних покрівельних технологій дозволяє забезпечити відповідність вимогам ДБН В.2.6-31:2021 [6], підвищити енергоефективність будівлі, збільшити строк служби покрівельного «пирога» та оптимізувати витрати на технічне обслуговування конструкції. Результати дослідження є базою для вибору оптимальних рішень при проєктуванні та реконструкції громадських будівель.

Висновки

1. Інверсійні покрівлі забезпечують найвищу довговічність гідроізоляції (до 60 років) завдяки розташуванню XPS над мембраною та високій стійкості до температурних деформацій.
2. Мембранні системи (ПВХ/ТПО/EPDM) мають максимальну експлуатаційну надійність і стабільність швів, демонструють високу міцність і стійкість до УФ-випромінювання.
3. Терасні покрівлі на регульованих опорах характеризуються найвищою ремонтопридатністю та можливістю швидкого доступу до гідроізоляції без демонтажу основних конструкцій.
4. Зелені покрівлі забезпечують найкращі теплотехнічні властивості та додаткові екологічні переваги, але потребують значно більшої несучої здатності перекриття.
5. Баластні покрівлі є технологічно простими та придатними для технічних зон, однак мають обмеження щодо ухилу та високу вагу конструкції.
6. За інтегральною оцінкою, найефективнішими рішеннями для громадських будівель є інверсійні системи та тераси на опорах, які забезпечують оптимальний баланс довговічності, ремонтопридатності та стійкості до експлуатаційних навантажень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Flat roof design and maintenance guide. URL: https://biblus.accasoftware.com/en/flat-roof/
2. A Design & Materials Guide for Residential Flat Roofing Systems. URL: https://www.iko.com/blog/guide-flat-roof-systems/
3. Comprehensive Guide to Flat Roofs: Materials, Installation, Maintenance, and Repair. URL: https://www.ckmaterialsllc.com/ck-materials-construction-articles/comprehensive-guide-to-flat-roofs-materials-installation-maintenance-and-repair
4. Flat Roof Design Considerations Overview. URL: https://www.bauder.co.uk/technical-centre/standards-and-knowledge/flat-roof-design-considerations
5. ДБН В.2.6-220:2017. Покрівлі будівель і споруд. [Чинний з 2018-01-01]. Київ: Мінрегіон, 2017. 59 с.
6. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергофективність будівель. [Чинний з 2022-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2021. 108 с.

Тарасов Владислав Анатолійович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Бондар Альона Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

Tarasov Vladislav – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Bondar Alena – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

УДК 620.9:697

П. С. Гураш
О. В. Христич

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ КОНСТРУКЦІЇ ПІДЛОГ У СИСТЕМІ ТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ СУЧАСНИХ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто сучасні принципи підвищення енергоефективності підлогових конструкцій у структурі теплового захисту цивільних будівель. Обґрунтовано інженерно-технічні рішення із застосування теплоізоляційних матеріалів на основі екструзійного пінополістиролу, аерогелю та комбінованих відбивних систем. Проведено порівняльну оцінку впливу різних схем утеплення й інтеграції систем низькотемпературного обігріву типу «тепла підлога» на зменшення питомих тепловтрат. Показано, що застосування оптимізованої багатошарової конструкції дозволяє скоротити теплопередачу на 65–75 % і підвищити клас енергоефективності будівель до рівня B–A.

Ключові слова: енергоефективність, тепловий захист, підлога по ґрунту, екструзійний пінополістирол, аерогель, термомодернізація, тепла підлога.

Abstracts

The paper presents modern engineering solutions for improving the energy efficiency of floor structures within the overall thermal protection system of civil buildings. Technical approaches using extruded polystyrene foam, aerogel insulation, and combined reflective layers are substantiated. A comparative analysis of different insulation layouts and the integration of low-temperature heating systems ("warm floor") is provided. Modeling results demonstrate that the application of optimized multilayer floor structures reduces heat transfer by 65–75% and raises the building's energy performance class to levels B–A according to DBN V.2.6-31:2021.

Key words: energy efficiency, thermal protection, ground floor, extruded polystyrene foam, aerogel, thermal modernization, underfloor heating.

Вступ

Вступ

Однією з найважливіших складових підвищення енергоефективності будівель є вдосконалення системи теплового захисту огороджувальних конструкцій, що забезпечує зменшення витрат енергії на опалення, стабілізацію мікроклімату та підвищення експлуатаційної надійності споруди. В умовах сучасних вимог до енергозбереження, визначених положеннями ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» і європейськими директивами щодо Nearly Zero Energy Buildings (NZEB), підлоги розглядаються як невід'ємний елемент теплового контуру будівлі [1-4].

Підлогові конструкції, що безпосередньо контактують із ґрунтом або розділяють опалювані та неопалювані об'єми, характеризуються високою теплопровідністю і є значним каналом тепловтрат – до 20–25 % від загального балансу будівлі. Через наявність «містків холоду» у зоні стику «стіна–підлога» та недостатню товщину теплоізоляційного шару втрачається частина теплової енергії, знижується температура поверхні підлоги, виникають умови для конденсації вологи та зволоження матеріалів.

Проблема зменшення теплопередачі через підлоги особливо актуальна для житлових і громадських будівель, споруджених у 1960–1990-х роках, де теплоізоляція або відсутня, або виконана з матеріалів, що не відповідають сучасним стандартам. У новому будівництві зростає потреба у використанні конструкцій з високим опором теплопередачі, які одночасно забезпечують комфорт, довговічність і відповідність принципам сталого розвитку.

Науково-технічний прогрес у сфері теплоізоляційних матеріалів і систем обігріву створює можливість формування енергоефективних підлогових рішень. Сучасні технології, такі як екструзійний пінополістирол (ЕППС), пінополіуретан, надтонкі аерогельні ізолятори та низькотемпературні системи обігріву типу «тепла підлога», дозволяють суттєво підвищити термічний опір конструкції. Комплексна термомодернізація підлог, що включає утеплення, гідроізоляцію та автоматизоване регулювання температури, є ключовим напрямом у формуванні енергоефективних

будівель нового покоління [5-7].

Основна частина

Конструкції підлог значною мірою впливають на енергетичний баланс будівель. У неопалюваних цокольних або підвальних приміщеннях втрати тепла через підлогу можуть становити від 15 до 25 % від загальних тепловтрат споруди (рис. 1). Це обумовлено високою теплопровідністю ґрунту (λ ≈ 1,5–2,0 Вт/(м·К)) та наявністю «містків холоду» у зонах примикання [8-9].



Рис. 1. Тепловтрати через конструкції будівлі

Для зниження втрат тепла необхідно формувати багатошарові підлогові системи з урахуванням опору теплопередачі не менше 4,3 м²·К/Вт, що відповідає класу енергоефективності «В» (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняння теплотехнічних показників конструкцій підлог

№	Тип конструкції	Матеріал утеплювача	Товщина шару, мм	λ, Вт/(м·К)	R, Вт/м²·К	Примітка
1	Підлога по ґрунту	ЕППС	100	0,034	0,25	Рекомендовано для новобудов
2	Над підвалом	Мінеральна вата	80	0,042	0,32	Монтаж з боку підвалу
3	Дерев’яна підлога	Перліт + фольгопін	60	0,040	0,35	Для реконструкцій
4	Комбінована	Аерогель	25	0,015	0,18	Для історичних будівель

Матеріали нового покоління – ЕППС, пінополіуретанові піни H_2Foam FORTE, аерогельні композити – забезпечують надійний теплозахист і довговічність.

ЕППС характеризується закритопористою структурою, вологостійкістю, стискальною міцністю ≥ 250 кПа, тому рекомендований для бетонних підлог [10].

Рідка теплоізоляція (Icynene) утворює безшовне покриття, що герметизує стики й ліквідує «містки холоду», має клас екологічності А+ і термін служби 25 років [11].

Аерогель є інноваційним матеріалом із найнижчою теплопровідністю (0,013–0,020 Вт/(м·К)) та пористістю до 99 %, що дозволяє отримати високу ефективність навіть при мінімальній товщині шару [12].

Стовпчаста діаграма (рис. 1) відображає результати порівняння тепловтрат через підлогу залежно від типу теплоізоляції.

Найвищі втрати (≈ 14 Вт/м²) характерні для варіанта без утеплення. Використання мінераловати товщиною 80 мм знижує теплопотоки на 31 %, а застосування екструзійного пінополістиролу (ЕППС 100 мм) – на 55 % [5, 13-14].

Поєднання ЕППС з системою «тепла підлога» забезпечує зменшення втрат до 4,1 Вт/м² (економія ≈ 70 %), а додавання шару аерогелю 25 мм – до 3,2 Вт/м², тобто ≈ 78 %.

Таким чином, комплексна термомодернізація з використанням сучасних ізоляторів та низькотемпературного обігріву є найефективнішим шляхом підвищення енергоефективності підлогових конструкцій.

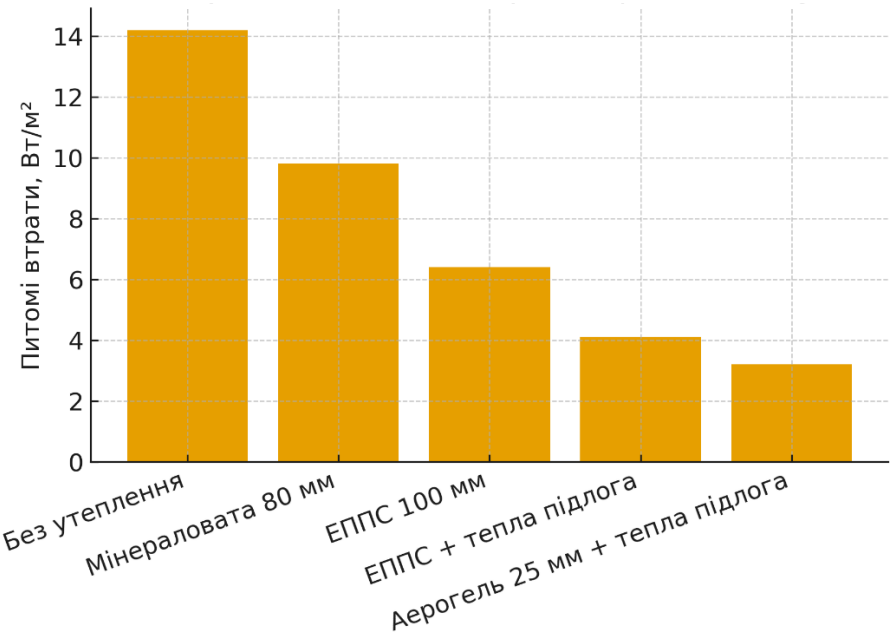


Рис. 1 – Порівняння питомих тепловтрат через підлогу для різних конструктивних рішень

Оптимальний тепловий режим досягається завдяки поєднанню теплоізоляційного шару з екструзійного пінополістиролу (ЕППС) товщиною 80–120 мм, армованої стяжки та системи «тепла підлога». Така система формує стабільну температуру поверхні +22…+27 °С при зовнішніх умовах –15 °С.

Системи «тепла підлога» – водяні або електричні – поєднують функції теплопередачі та регулювання мікроклімату. Згідно з дослідженнями, такі системи знижують споживання енергії на 5–20 %, створюючи рівномірний температурний розподіл у приміщенні та підвищуючи комфорт на рівні підлоги (табл. 2).

Таблиця 2 – Порівняння систем низькотемпературного підігріву підлог

Тип системи	Джерело тепла	Потужність, Вт/м²	Клас енергоефективності	Економія, %
Водяна	ЦО або тепловий насос	80–100	B	15–20
Електрична (резистивна)	Електромережа	100–120	C	10–15
Електрична (саморегульована)	Електромережа	60–80	A	20–25

На рисунку 2 показано розподіл температури по товщині конструкції підлоги при температурі повітря всередині приміщення +22 °С і зовні (у зоні ґрунту) –15 °С.

Крива 1 (синя) – варіант без утеплення, який демонструє різке зниження температури до +5 °С уже на глибині 0,2 м, що свідчить про високі втрати тепла.

Крива 2 (помаранчева) – підлога з шаром ЕППС 100 мм, яка забезпечує плавний температурний перехід та підвищення температури нижнього шару ґрунту до +2 °С.

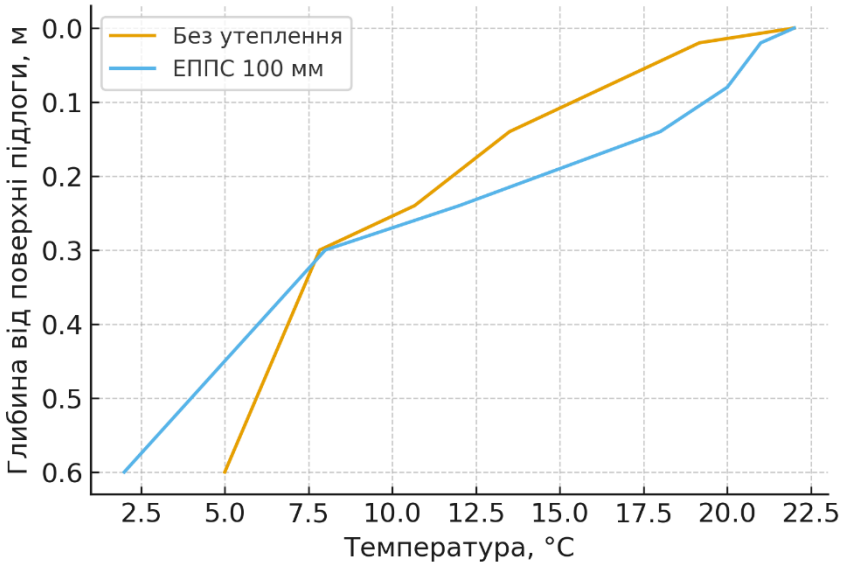


Рис. 2 – Температурний профіль через конструкцію підлоги

Завдяки теплоізоляції середня температура поверхні підлоги зростає з +12 °C до +22 °C (рис. 3), а щільність теплового потоку зменшується більш ніж удвічі (з 14 до 6 Вт/м²). Це дозволяє усунути ризик конденсації й промерзання вузла «стіна–підлога».

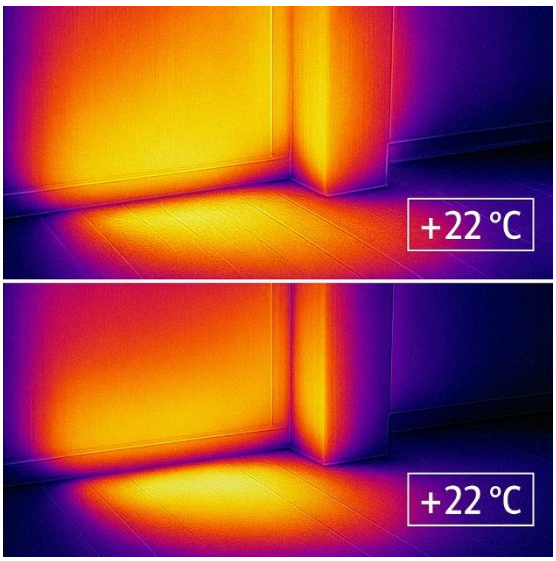


Рис. 3 – Температурний профіль через конструкцію підлоги

Рис. 3 показує 2D-профіль теплових потоків від внутрішнього приміщення (+22 °C) до ґрунтової зони (−15 °C). У моделі враховано багатошарову конструкцію підлоги, що складається з:

- фінішного покриття (ламінат або плитка) – рівномірно прогріта зона (червоні й помаранчеві кольори);
- стяжки з системою “тепла підлога”, де формується рівномірний тепловий потік униз;
- теплоізоляційного шару з ЕППС – синьо-зелені відтінки, які вказують на різке зниження температурного градієнта;
- гідроізоляційного шару – тонка смуга з незначною теплопровідністю;
- грунту – холодна зона (сині й фіолетові кольори), де температура поступово падає до −15 °C.

Ізотерми мають щільне розташування у верхній частині, що свідчить про активний теплообмін у шарі стяжки та системі підігріву. Нижче шару ЕППС ізотерми розріджуються, а тепловий потік зменшується у 2–3 рази. При відсутності утеплення температура на межі ґрунту та бетону знижується до +5 °C, тоді як із ЕППС – не нижче +15 °C. Таким чином, теплоізоляція забезпечує підвищення

температури поверхні підлоги на 8–10 °С та зменшення тепловтрат через ґрунт на понад 60 %, що підтверджує ефективність конструкції енергоефективної підлоги.

Удосконалення терморегулювання через автоматизовані контролери дозволяє стабілізувати температуру підлоги в межах +22…+27 °С при зниженні температури теплоносія до +35 °С, що суттєво зменшує навантаження на систему опалення.

Згідно з практичними проєктами термомодернізації, утеплення підлоги по ґрунту в поєднанні з гідроізоляцією, паробар'єром і системою підігріву знижує питомі тепловтрати з 14 до 6 Вт/м² [1, 5]. У разі використання аерогельного шару – до 3 Вт/м². Оптимізація структури конструкції підлоги включає:

- вирівнюючу стяжку з цементно-піщаного розчину;
- гідроізоляційну мембрану;
- теплоізоляційний шар (ЕППС або аерогель);
- армовану стяжку з системою обігріву;
- фінішне покриття.

Моделювання теплового потоку показує, що температура поверхні підлоги в зоні примикання до стіни підвищується на 8–10 °С порівняно з неутепленим варіантом, а градієнт тепловтрат через ґрунт скорочується у 2–3 рази (рис. 4).

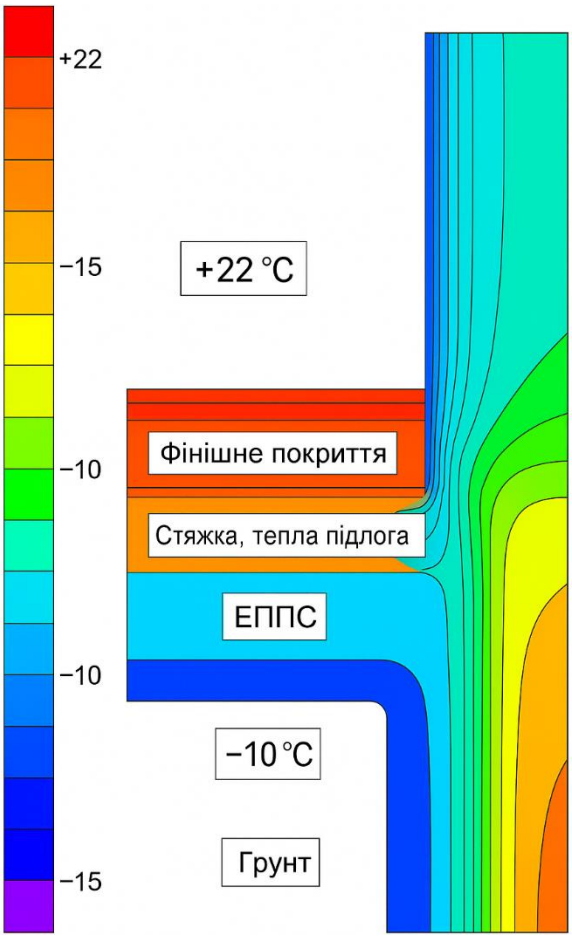


Рис. 4 – Моделювання розподілу температур через конструкцію підлоги

На рисунку 4 зображено багатошарову систему енергоефективної підлоги, де кожен елемент виконує певну функцію у формуванні теплового бар'єра:

- фінішне покриття (ламінат або плитка) – забезпечує рівномірне поширення тепла в приміщенні;
- армована стяжка з системою "тепла підлога" – головне джерело низькотемпературного обігріву, у якому формується найвищий градієнт температур;
- шар ЕППС (екструзійний пінополістирол, товщина 100 мм) – основний теплоізоляційний бар'єр, що знижує інтенсивність теплопередачі до 60–70 %;

- гідроізоляційна мембрана – перешкоджає проникненню вологи з ґрунту у шар утеплення;
- ущільнений ґрунт – зона із найнижчою температурою, яка становить близько −15 °С.

Кольорова шкала відображає зміну температури від +22 °С (червоні відтінки) у зоні приміщення до −15 °С (сині й фіолетові відтінки) у ґрунті. Ізотерми щільно розташовані у верхній частині – це свідчить про активний тепловий обмін у зоні стяжки та обігріву. У межах шару ЕППС ізотерми розріджуються, тобто тепловий потік значно знижується. Нижче ізоляції, у ґрунті, температура поступово зменшується без різких перепадів, що вказує на стабільний тепловий режим.

Отже, температура поверхні підлоги підтримується на рівні +22…+24 °С. На межі теплоізоляції та ґрунту температура становить близько +10 °С, що виключає промерзання конструкції. Тепловий потік через підлогу зменшується у 2,5–3 рази порівняно з неутепленим варіантом. Втрати тепла через підлогу скорочуються на ≈ 65 %, а зона комфорту всередині приміщення розширюється до 1,5 м від зовнішньої стіни.

Таким чином, теплове моделювання підтверджує, що використання ЕППС у поєднанні з системою “тепла підлога” формує ефективний тепловий бар’єр, зменшує енергоспоживання будівлі й підвищує її клас енергоефективності до рівня В–А.

Впровадження енергоефективних підлог зменшує річне енергоспоживання системи опалення будівлі на 20–25 %, скорочує питомі викиди CO_2 до 47 кг/м² на рік. Використання матеріалів з високим терміном експлуатації (ЕППС – до 50 років, аерогель – 30 років) забезпечує швидку окупність енергомодернізації – протягом 4–6 років [15-16].

Висновки

Проведене дослідження підтвердило, що енергоефективні конструкції підлог є одним із ключових напрямів підвищення теплового захисту сучасних цивільних будівель.

Оптимізація структури підлоги з використанням теплоізоляційних матеріалів (ЕППС, мінераловати, аерогелів) дозволяє знизити тепловтрати через ґрунт на 60–75 %, підвищуючи температуру поверхні підлоги з +12 °С до +22 °С.

Комплексна термомодернізація підлоги поєднує гідроізоляційні, пароізоляційні, теплоізоляційні та опалювальні шари, що забезпечує стабільність теплового режиму навіть при зовнішній температурі −15 °С.

Моделювання теплових потоків показало зменшення градієнта температури у 2,5–3 рази та збереження комфортного мікроклімату в приміщенні.

Економічна ефективність підтверджена зниженням питомого енергоспоживання будівлі з 210 до 120 кВт·год/м²·рік і скороченням викидів CO_2 на 20–30 %. Орієнтовний термін окупності заходів становить 5–7 років.

Інтеграція системи “тепла підлога” у поєднанні з ЕППС забезпечує рівномірний розподіл температури та зменшення споживання енергії на 15–25 %.

Використання аерогельних композитів як інноваційного утеплювача відкриває можливості для енергоефективної реконструкції історичних і громадських будівель із мінімальним збільшенням товщини конструкцій.

Отже, застосування сучасних енергоефективних матеріалів і технологій у конструкціях підлог дозволяє досягнути комплексного ефекту: зменшення енергоспоживання, підвищення комфорту, продовження терміну служби будівлі та зниження екологічного навантаження на довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергофективність будівель. [Чинний з 2022-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2021. 108 с.
2. Закон України № 2118-VIII від 22.06.2017 р. Про енергетичну ефективність будівель // Відомості Верховної Ради України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19
3. Nearly zero energy building standard. URL: https://www.seai.ie/plan-your-energy-journey/for-your-business/standards/nearly-zero-energy-building-standard
4. Borowski M., Rathnayake C. M., Zwolińska-Glądys K. Nearly Zero-Energy Buildings (NZEBs): A Systematic Review of the Current Status of Single-Family Houses in the EU // Energies. 2025. Vol. 18, Issue 12, Article 3215. DOI: 10.3390/en18123215.

5. Мандрика А. С. Енергоефективні технології : навчальний посібник. Сумський державний університет, 2021. 330 с.
6. Бахтін Д. Впровадження енергоефективних технологій при будівництві нової комерційної нерухомості в Україні. Вісник НУ «Львівська політехніка». Серія: Архітектура, 2020, №2(4), с. 8–18.
7. Гетун Г., Кошева В., Гамоцький Р., Гончаренко А. Вплив повітрообміну на енергоефективність багатоквартирних житлових будинків. Енергоефективність в будівництві та архітектурі, 2019, вип. 13, с. 58–68.
8. Pelsmakers S., Fitton R., Biddulph P., Swan W., Croxford B., Stamp S. Heat-flow variability of suspended timber ground floors: implications for in-situ heat-flux measuring. Energy and Buildings. 2017. Vol. 138. P. 396–405. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.02.048.
9. BSI. ISO 13370:2007. Thermal Performance of Buildings. Heat Transfer via the Ground. Calculation Methods. Brussels : British Standards Institution, 2009.
10. Екструдований пінополістирол: види, застосування, покрокова інструкція при утепленні. URL: https://vikbud.ua/news/korisna-informatsiya/jepps-vidy-primenenie-instrukcija-pri-uteplenii
11. Утеплювач ICYNENE (Айсинін) – революційне рішення в енергозбереженні будинків. URL: https://icynene.lviv.ua/index.php/main.html
12. Airoform Gel. URL: https://www.fortehealthcare.com.au/our-range/cushions-accessories-and-customisations/airoform-gel/
13. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. [Чинний з 2023-03-01]. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 142 с.
14. ДСТУ Б В.2.6-101:2010. Конструкції будинків та споруд. Метод визначення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій. [Чинний з 2010-10-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 90 с.
15. Сергейчук О., Кожедуб С. Розробка критеріальної оцінки енергоефективності та екологічності будівельних об'єктів // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – 2018. – № 11. – С. 61–68. DOI: 10.32347/2310-0516.2018.11.61-68
16. CIBSE. Guide A: Environmental Design. London : Chartered Institution of Building Services Engineers, 2015. 420 p.

Гураш Павло Сергійович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Христич Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: khristych@vntu.edu.ua

Gurash Pavlo Serhiyovych – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Khristych Oleksandr Volodymyrovych – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: khristych@vntu.edu.ua

УДК 691.3:691.175:539.2

Д. В. Собчук
О. В. Христич

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Теза присвячена сучасним технологіям виготовлення матеріалів для огороджуючих конструкцій будівель. Розглянуто газобетон, мінеральну вату, пінополістирол, пінополіуретан та композитні системи, їхні властивості та технології виробництва. Показано, як впровадження автоматизації, нанодобавок і полімерних модифікаторів підвищує енергоефективність, довговічність і екологічність будівель.

Ключові слова: огороджуючі конструкції, газобетон, пінополістирол, пінополіуретан, мінеральна вата, композитні матеріали, теплоізоляція, енергоефективність, нанотехнології, полімерні модифікатори, сталий розвиток.

Abstract

The thesis is dedicated to modern technologies for the production of materials used in building envelope structures. It examines aerated concrete, mineral wool, polystyrene, polyurethane, and composite systems, their properties, and manufacturing technologies. The study demonstrates how the implementation of automation, nanoaditives, and polymer modifiers enhances the energy efficiency, durability, and environmental performance of buildings.

Keywords: envelope structures, aerated concrete, polystyrene, polyurethane, mineral wool, composite materials, thermal insulation, energy efficiency, nanotechnologies, polymer modifiers, sustainable development.

Вступ

Сучасні технології виготовлення будівельних матеріалів для огороджуючих конструкцій спрямовані на підвищення енергоефективності, екологічності та довговічності споруд. Використання таких матеріалів, як газобетон, мінеральна вата, пінополістирол, пінополіуретан та композитні панелі, дозволяє зменшити тепловтрати, скоротити терміни будівництва й покращити експлуатаційні властивості будівель.

Завдяки інноваційним виробничим технологіям, автоматизації процесів і застосуванню модифікуючих добавок, сучасні матеріали поєднують високу якість, пожежну безпеку та економічність. Їх широке впровадження є важливою умовою формування енергоефективного та сталого будівництва майбутнього.

Результати дослідження

Огороджуючі конструкції будівель — це зовнішні елементи, які забезпечують теплоізоляцію, звукоізоляцію, вологозахист та комфортні умови всередині приміщення. До них належать зовнішні стіни, покрівлі, перекриття, фасадні панелі тощо. Від якості матеріалів, з яких вони виготовлені, залежить енергоефективність будівлі, довговічність споруди та витрати на її експлуатацію.

У сучасному будівництві основна увага приділяється створенню матеріалів нового покоління, які мають не лише високі технічні характеристики, а й відповідають принципам сталого розвитку. Це передбачає зниження енергоспоживання при їх виробництві, зменшення викидів CO_2 та можливість повторного використання матеріалів.

Інноваційні технології виготовлення теплоізоляційних матеріалів**.** Найпоширенішими матеріалами для огороджуючих конструкцій являються: газобетон, пінополістирол, пінополіуретан, мінеральна вата, а також сучасні композиційні матеріали.

Газобетон (або автоклавний ніздрюватий бетон) є одним із найпоширеніших матеріалів для зведення зовнішніх і внутрішніх стін будівель. Його головною перевагою є поєднання малої густини, високих теплоізоляційних властивостей і достатньої міцності. Виробництво газобетону базується на використанні суміші кварцового піску, цементу, вапна, води та газоутворювача (зазвичай алюмінієвого порошку). У процесі реакції виділяється водень, який формує рівномірну пористу структуру матеріалу. Після формування блоків проводиться автоклавне тверднення при температурі 180–200 °C і тиску 1,2–1,5 МПа, що забезпечує кристалізацію новоутворених мінералів (тоберморит) і підвищення міцності.

Сучасні технології виготовлення газобетону передбачають:

- автоматизоване дозування компонентів для стабільності властивостей;
- повторне використання технологічних відходів і води;
- застосування енергозберігаючих автоклавів;
- вдосконалення рецептури з використанням мікрокремнезему або золи виносу для підвищення щільності та міцності матеріалу.

Газобетонні блоки мають високу паропроникність, що дозволяє стінам «дихати», і забезпечують оптимальний мікроклімат у приміщеннях. Крім того, матеріал є негорючим і екологічно безпечним, тому активно використовується у будівництві житлових і громадських будівель.

Пінополістирол (ППС) - це термопластичний матеріал, який утворюється спінюванням гранул полістиролу під дією водяної пари. Його структура складається з безлічі закритих повітряних комірок, що забезпечує високі теплоізоляційні властивості. Сучасне виробництво пінополістиролу здійснюється за технологією екструзійного спінювання, що дозволяє отримати матеріал із більш щільною, однорідною структурою пор. Такий пінополістирол має підвищену механічну міцність і вологостійкість, тому часто використовується в системах утеплення фасадів, підлог і дахів.

Основні переваги пінополістиролу:

- низька теплопровідність;
- мала маса, що зменшує навантаження на конструкції;
- простота монтажу;
- стійкість до старіння та мікроорганізмів.

Виробники постійно вдосконалюють цей матеріал, впроваджуючи антипіренові добавки, що підвищують його вогнестійкість, а також технології рециркуляції полімерних відходів для зменшення екологічного впливу.

Пінополіуретан (ППУ) — ще один високоефективний теплоізоляційний матеріал, який утворюється в результаті реакції поліолу та ізоціанату. Його головна особливість - монолітна структура з переважно закритими порами (до 95%), що забезпечує надзвичайно низьку теплопровідність і мінімальне водопоглинання. Пінополіуретан застосовується у вигляді напилюваної або литої теплоізоляції для фасадів, покрівель, підлог, резервуарів і трубопроводів. Завдяки сучасним технологіям напилення можливе створення безшовного ізоляційного шару, що забезпечує герметичність огороджуючих конструкцій. Пінополіуретан має один із найнижчих коефіцієнтів теплопровідності серед сучасних ізоляторів і характеризується високою адгезією до будь-яких поверхонь. Це робить його універсальним матеріалом для енергоефективного будівництва.

Мінеральна вата є одним із найпоширеніших тепло- та звукоізоляційних матеріалів, який широко застосовується у виготовленні фасадних систем, перекриттів, дахів і стінових панелей. Основними сировинними компонентами для її виробництва є гірські породи (базальт, діабаз, доломіт) або доменні шлаки, які плавляться при температурі близько 1500 °C, після

чого утворюються тонкі волокна.

Сучасні технології виготовлення мінеральної вати передбачають:

- використання енергоефективних печей із точним контролем температури плавлення, що дозволяє зменшити споживання енергії;
- застосування екологічно безпечних зв'язувальних речовин, які не містять формальдегідів або фенолів (наприклад, акрилових смол або біополімерних зв'язувачів);
- додавання гідрофобізаторів, які підвищують водостійкість матеріалу без втрати паропроникності;
- покращення структури волокон завдяки впровадженню мікродобавок кремнезему, що підвищує міцність та стійкість до механічних навантажень.

Мінеральна вата має низку переваг: вона негорюча, хімічно стійка, не схильна до гниття й не створює сприятливих умов для розвитку грибків або мікроорганізмів. Завдяки цим властивостям вона ідеально підходить для енергоефективних фасадних систем і вентильованих фасадів. Останні розробки спрямовані на створення легких варіантів мінеральної вати, у яких поєднуються тонші волокна та покращена термостійкість. Це дозволяє зменшити навантаження на конструкцію будівлі, особливо у каркасних і збірних системах.

Сучасні композиційні матеріали — це багатокомпонентні системи, які поєднують у собі властивості різних речовин: полімерів, волокон, наповнювачів і модифікаторів. Їх застосування у будівництві дає змогу створювати огороджуючі конструкції з високими показниками міцності, легкості, довговічності та енергоефективності.

До найбільш перспективних видів композиційних матеріалів належать:

- склопластики та вуглепластики, які використовуються для армування панелей, профілів і каркасних елементів;
- сендвіч-панелі на полімерній основі з шарами утеплювача (мінеральна вата, пінополіуретан, пінополістирол), які поєднують жорсткість і теплоізоляційні властивості;
- геополімерні композити, створені на основі алюмосилікатів, що мають підвищену термостійкість і низький вуглецевий слід;
- біокомпозити, виготовлені з використанням природних волокон (льон, джут, базальт) у поєднанні з полімерними смолами, які забезпечують екологічну безпеку матеріалів.

Основними напрямами вдосконалення композиційних матеріалів є підвищення їх адгезійних властивостей, зниження горючості, покращення стійкості до ультрафіолетового випромінювання та біологічної корозії. Такі матеріали широко застосовуються у фасадному будівництві, для виготовлення легких огороджуючих панелей, дахових елементів та облицювальних систем. Їх перевагою є можливість створення великих панелей з мінімальною кількістю стиків і високим рівнем герметичності.

Одним із провідних напрямів розвитку сучасного матеріалознавства у виготовленні будівельних матеріалів для огороджуючих конструкцій будівель є впровадження нанотехнологій. Їхня мета - покращення фізико-механічних, експлуатаційних і довговічних властивостей матеріалів шляхом внесення до їх складу частинок із розмірами менше 100 нанометрів. На такому рівні відбуваються унікальні процеси взаємодії речовин, які суттєво впливають на структуру матеріалу.

Нанодобавки у виробництві цементних і бетонних матеріалів. Найпоширенішими нанодобавками є наночастинки діоксиду кремнію (SiO_2), оксиду титану (TiO_2), оксиду алюмінію (Al_2O_3), графену, нановуглецевих трубок, наноглини та ін.

Введення таких частинок у бетон або сухі будівельні суміші дозволяє:

- зменшити пористість матеріалу та підвищити його щільність;
- прискорити процес гідратації цементу, що сприяє більш швидкому набору міцності;
- збільшити морозостійкість і водонепроникність конструкцій;

- покращити адгезію до основи при нанесенні штукатурок та фарб.

Особливо ефективним є використання нанокремнезему, який діє як мікронаповнювач і каталізатор утворення кристалічних структур у цементному камені. Це призводить до зменшення мікротріщин, підвищення міцності на стиск і довговічності матеріалу.

Самоочисні та антимікробні покриття. Додавання наночастинок оксиду титану (TiO_2) у фасадні фарби, штукатурки та облицювальні матеріали створює ефект фотокаталітичного самоочищення. Під дією сонячного світла оксид титану розкладає органічні забруднення та шкідливі сполуки, завдяки чому фасади довше залишаються чистими, а повітря поблизу будівлі очищується від оксидів азоту.

Полімерні модифікатори в будівельних матеріалах. Поряд із нанодобавками, значну роль відіграють полімерні модифікатори, які вводять до складу цементних, вапняних або гіпсових розчинів. Їх застосування забезпечує:

- еластичність і тріщиностійкість матеріалу;
- збільшення адгезії до різних основ;
- підвищення морозостійкості та водостійкості;
- зменшення усадки при висиханні;
- довговічність у складних кліматичних умовах.

Серед найпоширеніших модифікаторів - редиспергувані полімерні порошки на основі вінілацетату, етилену, акрилатів, а також суперпластифікатори на полімерній основі. Їх використовують у сухих будівельних сумішах, клеях для плитки, штукатурках, стяжках і самовирівнювальних підлогах. Полімерні добавки формують у матеріалі гнучку полімерну плівку, яка заповнює мікропори, зменшує проникність і робить поверхню стійкою до атмосферних впливів.

Сучасні тенденції у проектуванні та зведенні огороджуючих конструкцій також базуються на використанні композитних та багатошарових матеріалів, які поєднують у собі функції несучих, теплоізоляційних та декоративно-захисних шарів. Такий підхід дозволяє значно підвищити енергоефективність, довговічність та швидкість монтажу конструкцій.

Одним із найпоширеніших типів є сендвіч-панелі – це багатошарові елементи, що складаються з:

- зовнішнього та внутрішнього облицювального шару (з оцинкованої сталі, алюмінію, композитного пластику або цементно-стружкових плит);
- теплоізоляційного шару (з мінеральної вати, пінополістиролу, пінополіуретану, газобетону тощо);
- клейового або механічного з’єднання шарів, що забезпечує жорсткість і цілісність елемента.

Основні переваги композитних систем для огороджуючих конструкцій:

- високі теплоізоляційні властивості - завдяки низькій теплопровідності утеплювального шару.
- мала маса - знижує навантаження на несучі елементи будівлі, що особливо важливо при реконструкції.
- простота та швидкість монтажу - панелі виготовляються на заводі і монтуються готовими елементами.
- вогнестійкість і екологічність - залежно від вибору утеплювача (наприклад, мінеральна вата має найвищі показники пожежної безпеки).
- естетичність та різноманітність облицювальних рішень - можливість застосування різних фактур, кольорів і покриттів.

Сучасні композитні системи для огороджуючих конструкцій також можуть мати додаткові функції — наприклад, звукоізоляцію, вентиляційні прошарки для відведення вологи, або ін-

тегровані сонячні панелі у фасадних рішеннях. Завдяки цим технологіям багатошарові огороджуючі конструкції стають енергоефективним, економічним і технологічним рішенням для сучасного будівництва — як у промислових, так і у цивільних спорудах.

Виготовлення таких систем здійснюється в заводських умовах із застосуванням високоточного обладнання, що забезпечує однорідність, міцність і точність геометрії готових елементів. Процес включає кілька основних етапів:

1. Підготовка облицювальних шарів

Для зовнішніх і внутрішніх поверхонь сендвіч-панелей використовують: оцинковану або фарбовану сталь, алюмінієві листи, цементно-стружкові плити, склопластик чи полімерні композити. Листи очищуються, знежирюються, покриваються захисними шарами (цинковим, полімерним, фарбовим) і нарізаються до необхідних розмірів.

2. Підготовка теплоізоляційного шару. Утеплювач підбирається за вимогами до теплозахисту, пожежної безпеки і вологостійкості.

3. Формування «сендвіч»-структури. Це ключовий етап, коли відбувається склеювання шарів у єдину композитну систему.

4. Полімеризація і пресування. Якщо використовується поліуретановий утеплювач або клей, відбувається реакція полімеризації — матеріал твердне і набуває міцності.

5. Розкрій і фінішна обробка. Готові панелі обрізають за розміром, формують замкові стики для щільного з’єднання на будівельному майданчику. Після цього вони проходять контроль якості — перевірку на адгезію шарів, рівність поверхні, точність товщини та теплопровідність.

6. Пакування і транспортування. Панелі пакуються в захисну плівку, укладаються на дерев’яні піддони та транспортуються на об’єкт.

Висновки

Сучасні огороджуючі конструкції забезпечують тепло- і звукоізоляцію, захист від вологи та комфорт у приміщеннях. Використання газобетону, пінополістиролу, пінополіуретану, мінеральної вати та композитних матеріалів разом із інноваційними технологіями виробництва підвищує енергоефективність, довговічність і екологічність будівель. Багатошарові та композитні системи дозволяють швидко монтувати конструкції, забезпечують герметичність та відкривають можливості для додаткових функцій, таких як звукоізоляція чи інтеграція сонячних панелей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кривенко В.М. Будівельне матеріалознавство. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 320 с.
2. Грицак С.О. Сучасні теплоізоляційні матеріали у будівництві. – Київ: Будівельник, 2020. – 256 с.
3. Петров В.П., Іваненко А.В. Композитні матеріали для огороджуючих конструкцій. – Харків: Основа, 2021. – 198 с.
4. Дорошенко Ю.Г. Технології виробництва газобетону та пінополістиролу. – Львів: Новий Світ, 2020. – 212
5. A Comprehensive Review and Recent Trends in Thermal Insulation Materials for Energy Conservation in Buildings - https://www.mdpi.com/2071-1050/16/20/8782 MDPI+2openurl.ebsco.com+2
6. Modern Insulation Materials for Sustainability Based on Recycled Materials- https://www.mdpi.com/2079-6439/12/9/76
7. Eco-friendly materials for structural insulated panels» - https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271022502296X
8. Latest Developments in Sustainable Building Insulation Materials- https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=1899

Собчук Дмитро Володимирович — студент групи 2Б-23б, факультет будівництва та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: dmytro.sobchuk@gmail.com

Христич Олександ Володимирович — Доцент кафедри Будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: khristych@vntu.edu.ua

Sobchuk Dmytro Volodymyrovych - student of the 2B-23b group, Faculty of Construction and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: leontieva.lera1@gmail.com

Khristych Oleksand Volodymyrovych – Associate Professor of the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, email: khristych@vntu.edu.ua

УДК 691.3

К. К. Пушкарьова
В. В. Чайковський

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ УКОЧУВАНИХ БЕТОНІВ В УКРАЇНІ

Київський національний університет будівництва і архітектури

Анотація

Укочувані бетони (RCC) це перспективний напрямок розвитку дорожньої, промислової, військової та гідротехнічної інфраструктури України. Укочувані бетони відзначаються високою міцністю, швидкістю укладання та економічною ефективністю порівняно з традиційними цементобетонними та асфальтобетонними покриттями. Розглянуто міжнародний досвід їх застосування, а також актуальні виклики впровадження в Україні. Сформульовано практичні рекомендації щодо стандартизації, підбору складів та реалізації пілотних проєктів в Україні.

Ключові слова: цементобетонне покриття, укочуваний бетон, RCC.

Abstracts

Roller-Compacted Concrete (RCC) is a promising direction for the development of road, industrial, military, and hydraulic infrastructure in Ukraine. RCC is characterized by high strength, rapid placement, and economic efficiency compared to traditional concrete and asphalt pavement technologies. The international experience of RCC application and the key challenges of its implementation in Ukraine are reviewed. Practical recommendations for standardization, mix design, and the implementation of pilot projects in Ukraine are provided.

Keywords: cement concrete pavement, roller compacted concrete, RCC.

Вступ

У сучасних умовах будівництва та відновлення України особливого значення набувають технології, що забезпечують довговічність, швидкість виконання робіт та економічну ефективність. Дорожньо-будівельна галузь відіграє ключову роль у функціонуванні транспортної системи країни, а вибір типу покриття визначає надійність та експлуатаційну стійкість автомобільних шляхів. Покриття з укочуваних бетонів (RCC) виготовляють із жорстких цементобетонних сумішей з низьким водоцементним відношенням, яку укладають асфальтоукладальниками та ущільнюють дорожніми котками. Укочувані бетони потребують менших витрат в'яжучої речовини завдяки використанню жорстких сумішей та укладаються із застосуванням стандартного дорожнього обладнання — самоскидів, бульдозерів, асфальтоукладчиків і котків. Вони забезпечують можливість швидкого відкриття руху. Однак використання укочуваних бетонів не підходить для доріг із високою інтенсивністю руху, суміш складно якісно ущільнити на повну товщину шару, а під час виконання робіт влітку при підвищених температурах необхідно особливо ретельно контролювати життєздатність суміші та забезпечувати належний догляд за бетоном.

Укочувані бетони набули широкого застосування в різних країнах світу при облаштуванні портів; спорудженні військової інфраструктури, логістичних центрів, дамб; на дорогах місцевого значення, тимчасових дорогах, а також на промислових підприємствах і виробничих майданчиках [1, 2]. Усі ці сфери використання є актуальними і для України, тому вже активно обговорюються можливість використання укочуваних бетонних покриттів місцевим громадами та аграрними компаніями.

Основна частина

Технологія влаштування укочуваних бетонних покриттів дуже близька до будівництва нижніх шарів та основ доріг з жорстокого дорожнього одягу (грунти, укріплені гідравлічною в'яжучою речовиною, «пісні» бетони або суміші холодного ресайклінгу, укріплені портландцементом). Відмінність полягає в різних фізико-механічних характеристиках матеріалів, наприклад, у Німеччині міцність укочуваних бетонів розпочинається з WB25 (характеристична міцність в циліндрах висотою і діаметром 150мм становить 25МПа) [3]. Враховуючи, що шари укочуваного бетону використовуються для верхніх шарів покриття, додатково можуть висуватись вимоги до міцності на розтяг при згині та довговічності даного матеріалу.

Укочувані бетонні суміші виготовляють традиційними бетонозмішувальними заводами або

грунтозмішувальними установками безперервної дії. Транспортують RCC до місця укладки в тентованих самоскидах. Укладання відбувається асфальтоукладчиком з вібруванням верхнього шару віброплитою. Ущільнення здійснюють котками в декілька етапів. Вкрай важливим є догляд за бетоном, оскільки укочуванні бетонні суміші мають низьке водоцементне відношення і випаровування води з поверхні буде критичним.

Проблемним є рівномірне ущільнення всього шару укочуваного бетону. Для цього можуть бути використані котки більшої маси або необхідно скорочувати товщину шару покриття RCC, що піддається ущільненню.

Для забезпечення якісного ущільнення бетонної суміші важливо забезпечити оптимальну вологість суміші, при якій котки досягнуть необхідного ступеня ущільнення RCC. Так при надмірній рухливості бетонної суміші важко забезпечити необхідну рівність поверхні покриття, а якщо бетонна суміш занадто жорстка, то виникають тріщини в процесі ущільнення. В процесі підбору складу доцільно встановлювати залежність максимальної густини бетонної суміші від водопотреби матеріалу (В/Ц) рис. 1 за методом Проктора [4].

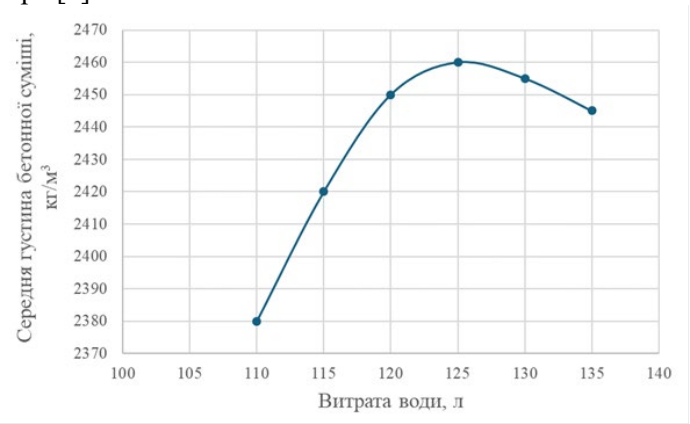


Рис. 1. Залежність середньої густини бетонної суміші від вмісту води (при ущільненні бетонної суміші методом Проктора)

У виробничих умовах для контролю необхідної консистенції бетонної суміші можна використовувати прилад Вебе [5], що дозволить оперативно коригувати склад бетонної суміші. Залежність середньої густини бетонної суміші та часу Вебе наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Залежність консистенції бетонної суміші від витрати води

Витрата води, л	Густина бетонної суміші, кг/м^3	Час Вебе (ДСТУ EN 12350–3:2022), с
110	2380	180
115	2420	160
120	2450	120
125	2460	100
130	2455	60
135	2445	30

В умовах України створюється нормативна база для проектування, виготовлення та випробування укочуваних бетонів. Однак в світі існує безліч методів випробування укочуваних бетонів. Залежно від національних стандартів, зразки укочуваного бетону можуть мати не тільки різну форму, але й бути виготовлені з застосуванням різних методів ущільнення, таких як: осьове стискання (пресування) у циліндричних формах [6], віброударне стискання з використанням вібраційного молотка [7], статичне стискання з імітацією деформацій зсуву з використанням гіраторного ущільнювача [8], вібрування з привантаженням [9].

Різноманітність підходів до методів випробувань іноді створює труднощі для проєктувальників, будівельників і випробувальних лабораторій, оскільки різні методики можуть давати результати, які важко порівнювати між собою. Крім того, відсутність уніфікованих стандартів ускладнює контроль якості та впровадження сучасних технологій у будівництво. Перспективним напрямом є застосування гіраторного ущільнення для виготовлення контрольних зразків укочуваного бетону (RCC), оскільки

цей метод забезпечує можливість відтворення рівня енергії, що використовується для ущільнення, та наближеність до реальних умов роботи важких котків. В той же час цей метод поки що не імплементований у чинні стандарти для укочуваних бетонів і потребує подальшої адаптації та методичного обґрунтування. Порівняння різних методів ущільнення зразків наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Зміна середньої густини зразків укочуваних бетонів, отриманих за різними технологіями ущільнення

Час твердіння, діб	Середня густина зразків, при використанні різних способів ущільнення бетонної суміші, г/см^3											
	віброударне стискання (перфоратором)			статичне стискання з зсувом (гіраторним ущільнювачем)			осьове стискання (прес)			вібрування з привантаженням (віброплощадка, привантаження)		
7	2,43	2,45	2,46	2,42	2,45	2,45	2,40	2,40	2,43	2,43	2,44	2,44
	2,45			2,44			2,41			2,44		
28	2,44	2,42	2,45	2,45	2,44	2,43	2,41	2,42	2,42	2,42	2,43	2,43
	2,44			2,44			2,42			2,43		
Коефіцієнт ущільнення												
7	0,99			0,99			0,98			0,99		
28	0,99			0,99			0,98			0,98		

Отримані результати свідчать про достатньо високу якість ущільнення укочуваних бетонних сумішей різними способами. Однак, результати досліджень методів ущільнення лабораторних зразків таких бетонів свідчать про те, що вибір методики лабораторного ущільнення істотно впливає на кінетику нарощування міцності та однорідність отриманих даних.

Серед досліджених методів найбільш достовірним і репрезентативним виявився метод статичного стискання зі зсувом у гіраторному ущільнювачі, оскільки він найбільш точно імітує роботу котків у польових умовах та забезпечує високий ступінь відтворення отриманих результатів.

Економічна ефективність укочуваних бетонів зумовлена комплексом факторів. По-перше, технологія RCC передбачає використання стандартного дорожньо-будівельного обладнання, що усуває потребу в дорогих бетоноукладачах. По-друге, собівартість суміші є нижчою завдяки зменшенню вмісту в'яжучої речовини — найбільш дорогого компонента. По-третє, укочувані бетони характеризуються досить низькими експлуатаційними витратами, оскільки потребують мінімального поточного ремонту. Сукупність цих переваг забезпечує зменшення вартості покриття порівняно з звичайним цементобетонним дорожнім покриттям.

Висновки

Використання технології укочуваних бетонів є доцільним рішенням для України, оскільки забезпечує високу швидкість улаштування та зниження вартості будівництва. Зростаючий попит на надійні покриття для місцевих доріг, логістичних центрів та промислових об'єктів робить укочувані бетони одним із найбільш перспективних технологічних напрямів. При цьому в Україні створені передумови для впровадження даної технології: наявна матеріально технічна база та ресурсна незалежність від закордонних бітумів. Однак для ширшого використання даного матеріалу необхідно сформувати відповідну нормативну базу та впровадити передові методи випробування укочуваних бетонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Report on Roller-Compacted Mass Concrete (ACI 207.5R-11). USA, 2011. 73 p. URL: https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=207511&Format=PROTECTED_PDF&Language=English&Units=US_AND_METRIC.

2. Adaska W. S. Roller-Compacted Concrete (RCC). Skokie, IL : Portland Cement Association, 2006. 12 p. (Research & Development Information ; Serial No. 2975. URL: https://www.cement.org/wp-content/uploads/2024/08/sn2975.pdf?utm_source.

3. Bau von Tragschichten und Tragdeckschichten mit Walzbeton für Verkehrsflächen : Merkblatt. Köln : Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2000. 20 s.

4. ДСТУ EN 13286-2:2021. Суміші неукріплені та укріплені гідравлічним в'яжучим. Частина 2.

Методи випробування для лабораторного контролю щільності та вмісту води. Ущільнення за методом Проктора (EN 13286-2:2010; AC:2012, IDT). – [Чинний від 01.12.2021]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2021. – 20 с.

5. ДСТУ EN 12350-3:2022. Випробування бетонної суміші. Частина 3. Визначення жорсткості бетонної суміші за Вебе (EN 12350-3:2019, IDT). [Чинний від 31.12.2023]. Київ : ДП УкрНДНЦ, 2022. 9 с.

6. ДСТУ Б В.2.7-309:2016. Ґрунти, укріплені в'яжучим. Методи випробувань. [Чинний з 2017-07-01]. Київ : ДП УкрНДНЦ, 2016. 27 с.

7. ДСТУ ASTM C1435/C1435M:2025. Стандартна методика формування бетону, ущільненого котком, у циліндричних формах із застосуванням вібраційного молотка (ASTM C1435/C1435M-20, IDT). [Чинний з 01.12.2025]. Київ : ДП УкрНДНЦ, 2025. 5с.

8. ДСТУ EN 12697-31:2021. Суміші бітумні. Методи випробування. Частина 31: Підготовка зразків за допомогою гіраційного ущільнювача (EN 12697-31:2019, IDT) [Чинний від 01.12.2021]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2021. – 23 с.

9. ДСТУ ASTM C1176/C1176M:2025. Стандартна методика виготовлення бетону, ущільненого котком, у циліндричних формах із застосуванням вібраційного стола (ASTM C1176/C1176M-20, IDT). [Чинний з 01.12.2025]. Київ : ДП УкрНДНЦ, 2025. 7с.

Пушкарьова Катерина Констянинівна - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою, Кафедра будівельних матеріалів, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, pushkarova.kk@knuba.edu.ua .

Чайковський Віталій Володимирович – продукт-менеджер «МЦ Баухемі», аспірант кафедри будівельних матеріалів, Київський національний університет будівництва і архітектури Київ, chaikovskyi_vv-2023@knuba.edu.ua .

Kateryna Pushkarova- Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, Department of Building Materials, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, pushkarova.kk@knuba.edu.ua.

Vitalii Chaikovskiy – Product-manager MC-Bauchemie, PhD Student Department of Building Materials Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, chaikovskyi_vv-2023@knuba.edu.ua .

УДК 692.43

М. О. Ковальчук
Л. В. Кучеренко
А. В. Бондар

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ УЛАШТУВАННЯ ЗЕЛЕНИХ ПОКРІВЕЛЬ У МІСЬКИХ БУДІВЛЯХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі представлено результати дослідження ефективності впровадження зелених покрівель як інноваційного рішення для підвищення енергоефективності та екологічної стійкості міських будівель. Проведено аналіз типології систем (екстенсивні, інтенсивні, напівінтенсивні) та конструктивно-технологічних рішень. Встановлено, що зелені покрівлі знижують температуру зовнішньої поверхні даху влітку на 25–35 °С, скорочують річні тепловтрати через покриття на 22–28 %, а загальне енергоспоживання будівлі – до 40 %. Водноутримувальна здатність систем досягає 70–90 %, що зменшує навантаження на міські дренажні мережі. Запропоновані конструкції відповідають вимогам ДБН В.2.6-31:2021 та ДСТУ 9190:2022 щодо енергооефективності.

Ключові слова: зелена покрівля, енергоефективність, екологічна стійкість, водоутримання, термозахист, сталий розвиток, міське середовище.

Abstracts

The paper presents the results of a study on the effectiveness of implementing green roofs as an innovative solution for improving the energy efficiency and environmental sustainability of urban buildings. The typology of systems (extensive, intensive, and semi-intensive) and their structural and technological solutions have been analyzed. It has been established that green roofs reduce the outer surface temperature of the roof in summer by 25–35 °C, decrease annual heat losses through the roof by 22–28 %, and lower the building's total energy consumption by up to 40 %. The water-retention capacity of such systems reaches 70–90 %, which significantly reduces the load on urban drainage networks. The proposed designs comply with the requirements of DBN V.2.6-31:2021 and DSTU 9190:2022 regarding building energy efficiency.

Key words: green roof, energy efficiency, environmental sustainability, water retention, thermal protection, sustainable development, urban environment.

Вступ

Проблематика енергоефективності та екологічної збалансованості міського середовища сьогодні є однією з ключових у сфері сучасного будівництва. Згідно з даними Європейської комісії, будівлі споживають близько 40 % усієї енергії в міських агломераціях, а понад 25 % викидів CO_2 припадає саме на житловий і громадський фонд [1]. В Україні ці показники ще вищі, що обумовлює необхідність упровадження новітніх енергоефективних технологій, зокрема тих, які одночасно сприяють зменшенню негативного впливу на довкілля.

Одним із найбільш ефективних рішень у цьому напрямі є зелені покрівлі, які поєднують у собі функції теплозахисту, водоутримання, очищення повітря та покращення міського мікроклімату. В умовах щільної забудови вони компенсують дефіцит зелених насаджень, підвищують естетичну якість архітектурного середовища та слугують складовою сталого розвитку міста. У європейських містах частка будівель із зеленими дахами перевищує 20 %, тоді як в Україні цей показник поки що не перевищує 2–3 % [1-3].

Крім енергозбереження, важливою функцією зелених покрівель є екологічна регенерація урбанізованих територій. За рахунок біотичних процесів зелені покрівлі сприяють підвищенню вологості повітря та зменшують ефект «міських теплових островів» [4-6].

Окреме значення має здатність зелених покрівель затримувати та фільтрувати атмосферні опади. Це зменшує навантаження на міські зливові системи та сприяє зниженню ризику підтоплення під час інтенсивних опадів [7]. Сучасні системи дренажу й автоматичного зрошення дозволяють ефективно підтримувати водний баланс субстрату, що підвищує довговічність і стабільність функціонування покрівлі.

Метою дослідження є обґрунтування та визначення ефективних конструктивно-технологічних рішень улаштування зелених покрівель, спрямованих на підвищення енергоефективності, екологічної стійкості та комфортності міських будівель.

Результати дослідження

Зелені покрівлі, як елемент енергоефективної архітектури, формують новий підхід до використання горизонтальних поверхонь будівель. Залежно від товщини субстратного шару, складу рослинності та експлуатаційного призначення виділяють три основні типи систем зелених покрівель – екстенсивні, напівінтенсивні та інтенсивні [1, 8-12].

Екстенсивні покрівлі мають мінімальну товщину субстрату (5–15 см) і призначені переважно для легких конструкцій перекриттів у житлових та громадських будівлях. Вони формують природну рослинність – седуми, мохи, злакові культури, що не потребують постійного поливу та догляду. Мають невелику масу (до 150–200 кг/м²), високу стійкістю до кліматичних коливань і ефективні у зменшенні нагріву даху влітку [9, 12]. Основна їхня перевага – низькі експлуатаційні витрати та довговічність понад 30 років.

Інтенсивні системи мають значно більшу товщину субстрату (від 20 до 40 см і більше), що дає змогу створювати повноцінні зелені зони з газонами, чагарниками й деревами. Вони перетворюють дах на рекреаційний простір, підвищуючи соціальну й архітектурну цінність будівлі. Однак їхнє використання можливе лише на покриттях із підвищеною несучою здатністю, з обов'язковим улаштуванням дренажних систем, захисту від коренів та гідроізоляції з високою еластичністю. Енергетичний ефект таких систем вищий – зниження втрат тепла до 25 %, а термін експлуатації – до 50 років [8, 9].

Напівінтенсивні покрівлі поєднують властивості обох типів і вважаються найоптимальнішими для реконструкцій та громадських споруд середньої поверховості.

Конструкція зеленої покрівлі включає багатошарову систему, що забезпечує не лише рослинне покриття, а і дренаж та фільтрацію води і належне водоутримання, гідроізоляцію, теплоізоляцію, вентиляцію та механічну стабільність (рис. 1). Така структура не лише захищає будівельні конструкції від коливань температури й ультрафіолетового випромінювання, а й значно зменшує витрати енергії на опалення та кондиціонування приміщень.

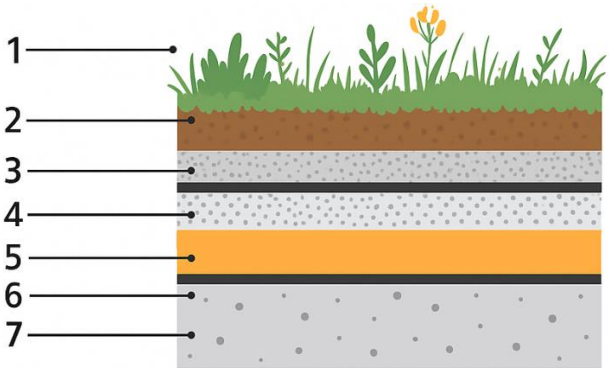


Рис. 1 – Типова конструкція зеленої покрівлі: 1 – захисне покриття (рослинність); 2 – родючий субстрат (5–30 см); 3 – фільтрувальний шар; 4 – дренажний шар; 5 – гідроізоляція; 6 – теплоізоляція (ЕППС або PIR-плити); 7 – пароізоляція; 8 – залізобетонна плита покриття

Для підвищення ефективності та зниження ваги системи застосовуються такі технічні рішення [12]:

- Субстрат і дренаж. Використовуються легкі мінеральні матеріали – перліт, вермікуліт, керамзит, піноскло. Вони поєднують високу водоємність (до 60–70 %) з низькою щільністю (300–500 кг/м³), що зменшує навантаження на плиту перекриття.

- Гідроізоляція. Виконується з ПВХ, EPDM або ТРО-мембран, армованих поліестеровим волокном. Зовнішня поверхня покривається коренезахисним шаром на основі поліетилену високої щільності чи поліуретанової мастики.

- Теплоізоляція. Застосовуються екструдований пінополістирол (XPS) або поліізоціануратні плити (PIR) з низькою теплопровідністю (λ = 0,028–0,032 Вт/м·К). У конструкціях інверсійних дахів утеплювач розміщується над гідроізоляцією, що збільшує її довговічність.

- Дренажно-фільтраційний шар. Виконується з профільованих полімерних мембран або гравійно-піщаних прошарків для швидкого відведення надлишкової вологи та вентиляцію кореневої зони.

Завдяки цим рішенням вдається зменшити загальну масу покрівлі на 20–30 % порівняно з традиційними шарами, при цьому підвищити її теплотехнічні та експлуатаційні показники.

Дані таблиці 1 показують, що зі збільшенням товщини ґрунтового шару підвищується водоутримання та опір теплопередачі покрівлі, але зростає вага системи, що вимагає перевірки несучої здатності покриття.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика конструктивних типів зелених покрівель

Показник	Звичайна покрівля	Екстенсивна зелена	Інтенсивна зелена
Товщина субстрату, см	–	5–15	20–40
Вага системи, кг/м²	70–120	100–200	400–1000
Водоутримання, %	5–10	60–75	80–90
Опір теплопередачі, м²·°C/Вт	2,5–3,0	4,3–4,6	4,8–5,1
Температура поверхні влітку, °C	65–75	35–40	25–30
Економія енергії, %	–	15–20	20–25
Тривалість експлуатації, років	15–20	30–40	40–50

Експериментальні та аналітичні дані свідчать, що улаштування зеленої покрівлі знижує температуру зовнішньої поверхні даху влітку з +70 °C до +35–40 °C, а взимку – підвищує температуру нижньої поверхні утеплювача на 3–5 °C порівняно з традиційним покриттям [3, 13, 14]. Розрахункові втрати теплоти через покриття зменшуються на 22–28 %, а витрати електроенергії на кондиціонування – на 15–20 %. Опір теплопередачі покрівельного пирога при використанні шару теплоізоляції з екструзійного пінополістиролу (товщиною 100 мм) і субстрату товщиною 15–25 см становить 4,6–5,0 м²·°C/Вт (табл. 2), що відповідає вимогам ДСТУ 9190:2022 та ДБН В.2.6-31:2021 для енергоефективних будівель [15, 16]. Рис. 2 демонструє динаміку енергоспоживання будівель протягом року: найвиразніший ефект енергозбереження спостерігається в літній період, коли знижується потреба у кондиціонуванні.

Таблиця 2 – Теплотехнічні показники конструкції зеленої покрівлі

Шар конструкції	Матеріал	Товщина, мм	Температура на межі, °C	Тепловий опір шару, м²·°C/Вт
Рослинність	Седуми, трави	50–100	+5 → +10	0,10
Субстрат	Торфо-перлітна суміш	100–250	+10 → +15	0,35
Дренаж	Полімерні модулі	25–40	+15 → +17	0,05
Гідроізоляція	ТРО / ПВХ мембрана	3–5	+17 → +18	0,02
Теплоізоляція	XPS / PIR плити	100–150	+18 → +21	1,50
Плита перекриття	З/б плита	160	+21 → +22	0,30

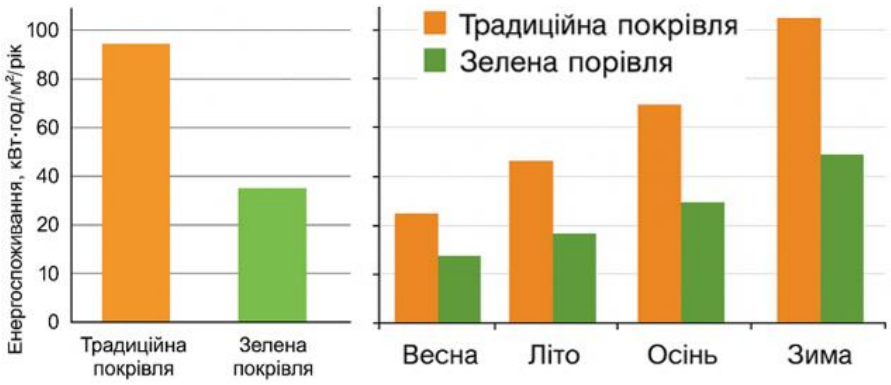


Рис. 2 – Динаміка енергоспоживання будівель із традиційною та зеленою покрівлею

Зелена покрівля виконує не лише функцію теплозахисту, а й значно впливає на екологічні показники будівлі (табл. 3). Розрахунок екологічних показників показав, що 1 м² зеленої покрівлі здатен поглинати до 5 кг CO_2 на рік і виробляти близько 3 кг кисню. За рахунок фотосинтетичної активності рослин покращується якість повітря, а пилопоглинальна здатність зростає у 4–5 разів порівняно з традиційною поверхнею даху [14, 15].

Таблиця 3 – Екологічні та експлуатаційні ефекти впровадження зелених покрівель

Показник	Одиниця вимірювання	Значення для зеленої покрівлі	Покращення порівняно із традиційною, %
Зниження енергоспоживання	кВт·год/м²·рік	120	40–45
Скорочення викидів CO_2	кг/м²·рік	47	25–30
Зменшення температури поверхні даху	°C	30–35	55–60
Поглинання CO_2 рослинністю	кг/м²·рік	5	–
Тривалість експлуатації покрівлі	років	40–50	100–150

Висновки

Улаштування зелених покрівель забезпечує комплексне енергозбереження в міських будівлях завдяки поєднанню теплоізоляційних, водорегулюючих і кліматорегулюючих властивостей.

Найвищу ефективність продемонстрували інтенсивні системи, які зменшують енергоспоживання до 120 кВт·год/м²·рік і скорочують викиди CO_2 на 30–35 %. Використання легких мінеральних субстратів, PIR-утеплювачів і сучасних мембранних матеріалів підвищує довговічність конструкції до 50 років і зменшує її вагу на 20–30 % порівняно з традиційними системами.

Інноваційні технології, такі як модульні секції, автоматизоване зрошення й «biosolar roof», формують нове покоління екологічно активних дахів, що поєднують енергоефективність, естетику й сталий розвиток.

Впровадження зелених покрівель у практику проєктування та реконструкції міських будівель є стратегічним напрямом досягнення цілей енергетичної незалежності та кліматичної адаптації України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мандрика А. С. Енергоефективні технології : навчальний посібник. Сумський державний університет, 2021. 330 с.
2. Getter, K. L., Rowe, D. B. The role of extensive green roofs in sustainable development. HortScience. 2006. Vol. 41(5). P. 1276–1285.
3. Bevilacqua, P., Mazzeo, D., Arcuri, N. Thermal inertia assessment of vegetated roofs for building energy performance improvement. Energies. 2023. Vol. 18(12), 3215. DOI: https://doi.org/10.3390/en18123215
4. Gagliano A., Detommaso M., Nocera F., Patania F., Aneli S. The Retrofit of Existing Buildings Through the Exploitation of the Green Roofs – A Simulation Study. Energy Procedia. 2014. Vol. 62. P. 52–61. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.12.366
5. Bianchini, F., Hewage, K. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. Building and Environment. 2012. Vol. 48. P. 57–65.
6. Vijayaraghavan, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 57. P. 740–752.
7. Mentens, J., Raes, D., Hermy, M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century. Landscape and Urban Planning. 2006. Vol. 77. P. 217–226.
8. Savi, F., Masullo, M., Chieffo, N., Pisello, A. L. Life cycle assessment of green roofs for sustainable urban buildings: comparative approach. Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 46. Article 103761.
9. Зелена покрівля: екстенсивне та інтенсивне озеленення. URL: https://surli.cc/zxizid
10. Системи зеленої покрівлі. URL: https://gidex.com.ua/budivnytstvo-zelenykh-dakhiv/
11. Гавдера С., Андріїв Х. Зелена покрівля. Мат-ли VII Міжнародної студентської наук.-техн. конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2024. С. 240-241. URL: https://surl.li/ceupgm
12. Організація та експлуатація зеленої покрівлі. URL: https://surl.li/wfguax
13. Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C. H., Riffat, S., Saadatian, E. A review of energy aspects of green roofs. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 23. P. 155–168.
14. Wong, N. H., Cheong, D. K. W., Yan, H. The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. Energy and Buildings. 2003. Vol. 35(4). P. 353–364.
15. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний з 2022-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2021. 108 с.
16. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. [Чинний з 2023-03-01]. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 142 с.

Ковальчук Марія Олександрівна – студентка групи БМ-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Кучеренко Лілія Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kucherenko@vntu.edu.ua

Бондар Альона Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

Kovalchuk Maria – student of group BM-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Kucherenko Liliya – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kucherenko@vntu.edu.ua

Bondar Alena – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

УДК 711.4:72.012

А. Г. Антонюк
А. В. Бондар

АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНІ АСПЕКТИ ІНТЕГРАЦІЇ ПРИНЦИПІВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ В МІСТОБУДІВНУ ПРАКТИКУ

[1] Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розглянуто сучасні архітектурно-планувальні підходи, спрямовані на реалізацію принципів сталого розвитку міського середовища. Проаналізовано чинники, що визначають ефективність просторової організації територій, транспортних систем, функціонального зонування та екологічної рівноваги. Визначено роль архітектури у формуванні гармонійного міського простору, орієнтованого на людину, з урахуванням енергоефективності, безпеки та соціальної доступності. Акцентовано увагу на впровадженні концепцій «розумного» і «зеленого» міста, використанні цифрових технологій, розвитку зелених інфраструктур та збереженні культурної спадщини. Підкреслено необхідність комплексного підходу до містобудівного планування, який поєднує архітектурні, екологічні, соціальні й технологічні аспекти.

Ключові слова: сталий розвиток, архітектурне середовище, планувальна структура, функціональне зонування, урбаністика, енергоефективність, цифровізація, екологічна рівновага.

Abstract

Contemporary architectural and planning approaches aimed at implementing the principles of sustainable urban development are considered. Factors determining the effectiveness of spatial organization of territories, transport systems, functional zoning, and ecological balance are analyzed. The role of architecture in the formation of a harmonious, people-oriented urban space, taking into account energy efficiency, safety, and social accessibility, is determined. Emphasis is placed on the implementation of the concepts of a "smart" and "green" city, the use of digital technologies, the development of green infrastructure, and the preservation of cultural heritage. The need for a comprehensive approach to urban planning that combines architectural, environmental, social, and technological aspects is emphasized.

Keywords: sustainable development, architectural environment, planning structure, functional zoning, urban planning, energy efficiency, digitalization, ecological balance.

Вступ

Сталий розвиток міст – це процес, спрямований на створення збалансованого середовища, яке поєднує соціальний комфорт, економічну ефективність та екологічну стабільність. Сучасні урбаністичні процеси вимагають впровадження нових архітектурно-планувальних принципів, що забезпечують гармонійний розвиток територій, адаптованих до зростаючих потреб населення, технологічного прогресу й глобальних екологічних викликів [1, 2].

Міста стають платформами для інтеграції інновацій, тому архітектурно-планувальні рішення повинні поєднувати просторову логіку, функціональну гнучкість і екологічну відповідальність. Формування збалансованого міського простору має спиратися на принципи компактності, поліцентричності, енергоефективності та людиноцентричного підходу [3, 4].

Результати дослідження

Архітектурно-планувальні рішення сучасних міст базуються на принципах сталого розвитку, який передбачає гармонійне поєднання соціальних, економічних, екологічних і просторових складових. Місто розглядається як складна система взаємопов'язаних елементів – забудови, транспортної мережі, природного ландшафту, інженерної інфраструктури та соціальної структури. Раціональна організація цих компонентів забезпечує ефективне використання територій, зменшення

антропогенного навантаження та підвищення якості життя населення [1].

Сучасна архітектурно-планувальна практика орієнтується на принципи компактності та багатофункціональності, що дозволяє мінімізувати хаотичне розростання міст і зберегти цінні природні території. Компактне планування забезпечує скорочення транспортних витрат, зменшення енергоспоживання та оптимізацію інженерних мереж. При цьому функціональні зони – житлова, громадська, виробнича, рекреаційна – мають бути чітко структуровані, але водночас взаємопов'язані для забезпечення гнучкості розвитку [2, 3].

Важливу роль відіграє поліцентрична структура міста, що передбачає наявність кількох центрів ділової, культурної та рекреаційної активності (рис. 1). Така модель дозволяє зменшити маятникові міграції, уникнути перевантаження центральних районів і сприяє рівномірному розвитку території [4]. Кожен центр має бути забезпечений громадськими просторами, зонами відпочинку, освітніми та медичними закладами, що підвищує рівень соціальної інтеграції.

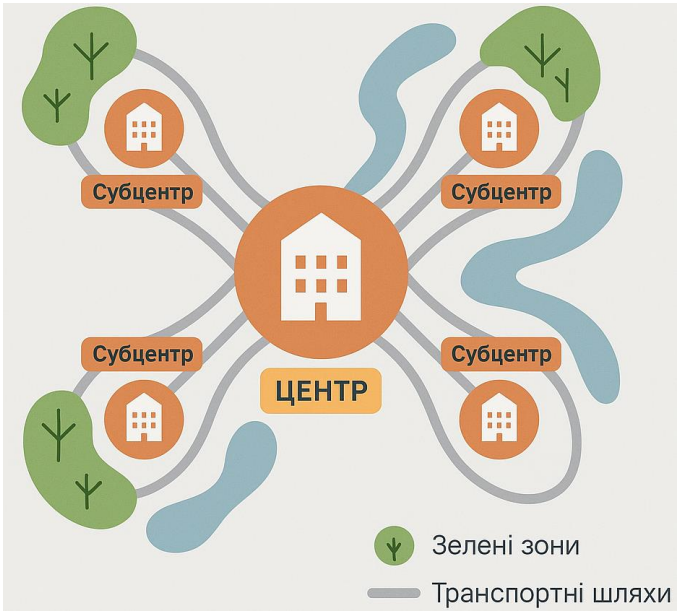


Рис. 1 – Поліцентрична структура міста

Одним із ключових напрямів містобудівного розвитку є удосконалення транспортно-комунікаційної системи. Вона має бути збалансованою, екологічною та орієнтованою на користувача. Пріоритет надається пішохідним і велосипедним маршрутам, безпечному громадському транспорту, створенню безбар'єрного середовища та скороченню ролі автомобіля у центральних районах [5]. Це не лише зменшує викиди в атмосферу, а й формує сприятливе соціальне середовище.

Значну увагу приділяють екологічній складовій архітектурно-планувальних рішень. Формування зеленого каркасу міста – системи парків, скверів, лісопаркових поясів, зелених коридорів та прибережних зон – є основою стабільності екосистеми. Зелені території виконують не лише декоративну, а й функціональну роль: вони очищують повітря, знижують рівень шуму, регулюють температуру та створюють природні місця відпочинку. Особливе значення має збереження природних ландшафтів у межах міської структури, що сприяє формуванню гармонійного зв'язку між природою та архітектурою [6, 7].

Архітектура має відповідати принципам енергоефективності та екологічної раціональності. Проєктування будівель здійснюється з урахуванням орієнтації за сторонами світу, природної інсоляції, вітрових потоків і використання відновлюваних джерел енергії [4]. Біокліматичні технології дозволяють створювати комфортне середовище з мінімальними витратами енергії. Також набуває поширення використання «розумних» інженерних систем, які автоматично регулюють споживання ресурсів відповідно до умов середовища [8].

Цифровізація містобудівного процесу відкриває нові можливості для планування і контролю розвитку міських територій. Застосування геоінформаційних систем, тривимірного моделювання, моніторингу екологічного стану, інтелектуального управління транспортом та енергомережами дає змогу підвищити ефективність управлінських рішень. Концепція «розумного міста» (рис. 2)

передбачає інтеграцію цифрових технологій у всі сфери міського життя, забезпечуючи прозорість процесів і залучення громади до прийняття рішень [3, 8].



Рис. 2 – Концепція «розумного міста»

Соціальний аспект є невід'ємною частиною сталого розвитку міст. Громадські простори повинні створювати умови для соціальної взаємодії, культурної активності та відпочинку. Планування таких просторів має враховувати інклюзивність, безпечність і естетичну цінність. Залучення громади до процесів планування підвищує ефективність управління територіями та формує почуття відповідальності мешканців за міське середовище [2, 5].

Культурна спадщина залишається важливим фактором ідентичності міського простору. Реставрація історичних будівель і гармонійне поєднання їх із сучасною архітектурою сприяє збереженню автентичного образу міста [5]. Використання місцевих матеріалів, традиційних технологій і колористичних рішень забезпечує спадкоємність архітектурного стилю при впровадженні новітніх конструктивних систем.

Комплексний підхід до архітектурно-планувального розвитку передбачає узгодження функціональних, екологічних і культурних складових із довгостроковими стратегіями сталого розвитку [3]. Гармонійне поєднання природних ресурсів, архітектурної композиції, транспортної системи та соціальної інфраструктури формує міста нового типу – комфортні, екологічно збалансовані й технологічно розвинені [7, 8].

Таким чином, архітектурно-планувальні рішення виступають головним інструментом управління міським середовищем, який забезпечує ефективний баланс між потребами суспільства, економікою та природою. Реалізація таких рішень визначає рівень сталості, комфортності та естетичної цілісності сучасного міста [4, 6, 8].

Висновки

Архітектурно-планувальні рішення в розрізі сталого розвитку міст визначають стратегію просторової трансформації територій, забезпечуючи гармонійне поєднання урбаністичних процесів і природних чинників. Вони сприяють створенню екологічно безпечного, енергоефективного й соціально інтегрованого середовища. Реалізація концепцій «розумного» та «зеленого» міста, модернізація транспортної інфраструктури, розвиток громадських просторів і збереження історичної спадщини формують основу сучасного містобудівного розвитку.

Комплексний підхід до планування забезпечує сталість міського середовища, підвищує його економічну ефективність і конкурентоспроможність, формуючи умови для комфортного життя, культурного розвитку та екологічної збалансованості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шарлай О. В., Скороходова А. В., Родик Я. С. Аналіз містобудівного потенціалу малих міст України. Науковий вісник будівництва, т. 105, № 3, 2021. С. 142–149.
2. Соснова Н. С., Тупісь С. П. Проблеми містобудівного розвитку малих міст (на прикладі м. Тячева та смт Буштина). Вісник НУ «Львівська політехніка». Серія: Архітектура, № 836, 2015. С. 118–123.
3. Лях В. С. Сучасні проблеми і практика розвитку малих міст у системах розселення. Містобудування та територіальне планування, № 72, 2020. С. 161–175.
4. Kozyrieva N., Radionova L. Managing the Development of Small Towns in Ukraine. European Science, 2025. URL: https://desymp.promonograph.org/index.php/sge/article/view/sge40-03-006
5. Казакова Є. Г. Реконструкція малих історичних міст. Сучасні проблеми архітектури та містобудування, КНУБА, 2012. С. 75–82.
6. Пархоменко О. В. Містобудування малих міст України. Харків: ХНУБА, 2020. 186 с.
7. Дубровська Л. І. Зелені інфраструктури в містобудуванні. Львів: ЛНТУ, 2021. 156 с.
8. Borysenko S. Smart and Green City: Sustainable Urban Development in Post-Industrial Regions. Urban Studies and Planning Review, 2023, № 8. P. 91–105.

Антонюк Антоніна Геннадіївна – студентка групи БМ-23б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: antoniukantonina@gmail.com

Бондар Альона Василівна – канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: bondarav@vntu.edu.ua

Antoniuk Antonina H. – student of group BM-23b, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: antoniukantonina@gmail.com

Bondar Alona V. – P hD, Associate Professor, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: bondarav@vntu.edu.ua

УДК 72.- (075.8) + 72.06

В. О. Мельник
С. В. Риндюк

КРИТЕРІЇ УСПІШНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ У ГРОМАДСЬКІ ПРОСТОРИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглядаються основні критерії успішного перетворення колишніх промислових будівель на громадські простори. Аналізується взаємозв'язок між архітектурною спадщиною, функціональним наповненням та соціальною значущістю таких об'єктів. Підкреслюється роль адаптивного реновaційного підходу, який дозволяє інтегрувати виробничі будівлі у сучасне міське середовище без втрати їхньої історичної цінності. Наведено приклади успішних практик ревіталізації в Україні та світі.

Ключові слова: ревіталізація, реновація, промислова архітектура, громадський простір, адаптивне використання, урбаністика.

Abstract

The article considers the main criteria for the successful transformation of former industrial buildings into public spaces. The relationship between architectural heritage, functional content and social significance of such objects is analyzed. The role of an adaptive renovation approach is emphasized, which allows the integration of industrial buildings into the modern urban environment without losing their historical value. Examples of successful revitalization practices in Ukraine and the world are given.

Keywords: *revitalization, renovation, industrial architecture, public space, adaptive use, urban planning.*

Вступ

У другій половині XX — на початку XXI століття багато промислових підприємств у містах України та Європи втратили свою виробничу функцію. Це було спричинено деіндустріалізацією, глобальною економічною трансформацією та змінами у технологічних процесах. Внаслідок цього постала нагальна потреба пошуку нових сценаріїв використання таких територій. Виробничі будинки, що колись визначали економічне розвиток міста, сьогодні перетворюються на культурні, освітні чи креативні центри [1].

Адаптивне використання таких об'єктів дозволяє поєднати збереження історичної спадщини з актуальними потребами громади. Воно є важливим елементом стратегії сталого розвитку міст, оскільки сприяє зменшенню забудови нових територій, збереженню архітектурної ідентичності та розвитку локальних культурних та економічних ініціатив. Вступ до теми також включає аналіз основних принципів ревіталізації: збереження автентичності об'єкта, його інтеграція до існуючої міської тканини, створення соціально значущих і функціонально різноманітних просторів, що відповідають потребам громади.

У цьому контексті важливим аспектом є комплексний підхід до перетворення виробничих будівель, який передбачає не лише архітектурне оновлення, а й інтеграцію соціальних, культурних та економічних функцій. Важливим елементом є співпраця з місцевими громадами, культурними інституціями та муніципалітетами, що забезпечує успішне та стале розвиток проекту [2].

Результати дослідження

Перетворення виробничих будівель у громадські простори є одним із ключових напрямків сучасних урбаністичних та архітектурних практик. Занепалі промислові зони, що часто займають значні території біля міста, поступово втрачають функціональну актуальність, але зберігають високий потенціал для розвитку нових культурних, соціальних та економічних активностей. Адаптивне використання таких об'єктів дозволяє поєднати збереження історичної спадщини з актуальними потребами громади, водночас сприяючи сталому развитию міського середовища [3]. З наукової точки зору, ревіталізація промислових об'єктів розглядається як мультидисциплінарний процес, що включає

архітектурну, соціально-економічну та екологічну складові, узгоджуючи їх із принципами сталого урбанізму та інтегрованого планування.

Успішні трансформації промислових будівель базуються на принципі збереження автентичності, що передбачає дбайливе ставлення до історичного характеру споруди. Оригінальні конструкції, матеріали, індустріальні текстури та характерні планувальні рішення виступають важливими носіями ідентичності місця. Під час реновації важливо не стирати промислову естетику, а наоборот — підкреслювати її, створюючи візуальний та смисловий зв'язок між минулим та сучасністю. Наукові дослідження показують, що збереження елементів промислової спадщини сприяє формуванню «пам'яткоцентричного простору», який підтримує когнітивну та культурну ідентичність громади. Це забезпечує будову унікальність та пізнаваність, що є значним перевагою в умовах глобалізованого міського простору.

Нові функції, що інтегруються у виробничі будівлі, повинні відповідати потребам локальної спільноти та логіці розвитку міста. Просторова гнучкість індустріальних об'єктів — великі прольоти, значні площі та високі стелі — дає можливість створювати культурні центри, освітні простори, спортивні заклади, креативні хаби чи змішані громадські комплекси. Функціональна адаптація вимагає системного підходу до проектування, що включає аналіз сценаріїв використання простору, моделювання потоків відвідувачів та врахування ергономічних та акустичних параметрів [4].

Як приклади успішної трансформації можна навести:

Landschaftspark Duisburg-Nord (Німеччина) — колишній сталеліварний завод перетворено на громадський парк, де залишки доменних печей та металевих конструкцій інтегровані у ландшафтну композицію, зберігаючи автентичність промислової спадщини.

Manufaktura (Лодзь, Польща) — колишня текстильна фабрика адаптована до культурно-комерційного комплексу, що поєднує торгові площі, музеї та освітні простори.

Tejo Power Station → MAAT (Лісабон, Португалія) — трансформація електростанції у музей мистецтв, архітектури та технологій із збереженням індустріальної атмосфери та структурних елементів.

798 Art Zone / M50 (Шанхай, Китай) — творчі хабі у переоблаштованих промислових об'єктах із мінімальним втручанням у конструкцію, що створює унікальний художній простір.

Промприлад.Реновація (Івано-Франківськ, Україна) — частина заводу адаптована як креативний хаб з освітніми та інноваційними просторами, що підтримує локальну економіку та соціальну взаємодію.

Однією з ключових умов є мінімальне втручання у структуру будови. Нові елементи та інженерні системи повинні інтегруватися максимально делікатно, не порушуючи автентичної морфології. Важливо забезпечити зворотність втручання, що дозволяє модифікувати простір у майбутньому та зберегти історичний потенціал об'єкта. Впровадження екологічних рішень — підвищення енергоефективності, покращення мікроклімату, використання природного освітлення та екологічних матеріалів — відповідає концепції «зеленої архітектури» та сприяє зниженню углецевого сліду будівлі. Це підвищує експлуатаційні характеристики та впливає на якість життя користувачів, формуючи стійкі міські системи.

Інтеграція ревіталізованих виробничих об'єктів у міську структуру залежить від просторових, функціональних та соціокультурних факторів. Просторове положення відіграє ключову роль: об'єкти, розташовані поблизу центральних чи транзитних зон, легше стають частиною активної міської життя, тоді як периферійні потребують додаткових рішень щодо транспортної доступності та створення нових маршрутів громадської активності. Оточення має бути узгоджене з новою функцією: культурні чи освітні простори ефективно інтегруються поруч із творчими інституціями, житловими кварталами або рекреаційними зонами [5]. Урбаністичні дослідження підтверджують, що така синергія підвищує соціальну капіталізацію території та сприяє формуванню мультифункціональних міських осередків.

Соціальна складова є не менш важливою. Залучення місцевої громади на етапах планування та реалізації проекту забезпечує формування прост.

Фінансова модель також визначає успішність інтеграції. Довгострокове функціонування громадського простору потребує стабільного фінансування, яке може базуватися на партнерствах, орендних моделях, державно-приватній співпраці чи культурних програмах. Наукові дослідження урбаністичної економіки підкреслюють, що економічна життєздатність сприяє сталості проекту та запобігає повторному занепаду території [6].

Нарешті, важливим чинником є ландшафтно-просторова інтеграція. Території колишніх промислових об'єктів, що нерідко включають розлогі відкриті площі, можуть бути перепрофільовані у парки, сквери чи громадські площі, формуючи цілісну середовище. Такі простори підвищують привабливість району та сприяють формуванню екологічно стійкої міської тканини, що враховує природні процеси та забезпечує біорізноманіття.

Отже, успішна трансформація промислових будівель у громадські простори ґрунтується на поєднанні архітектурної чутливості, розуміння історичного контексту, стратегічного підходу до розвитку міста та науково обґрунтованих моделей ревіталізації. Адаптивне використання не тільки зберігає матеріальну спадщину, а й створює нові центри соціальної, культурної та економічної активності, формуючи сучасну ідентичність міста та відкриваючи можливості для його сталого зростання.

Висновок

Успішне перетворення виробничих будівель у громадські простори ґрунтується на поєднанні архітектурних, соціальних та економічних принципів. Основними критеріями можна вважати збереження історико-архітектурної автентичності, гнучку функціональну адаптацію простору, долю громади у формуванні нового змісту місця, економічну сталість та соціальну ефективність, а також урбаністичну інтеграцію у структуру сучасного міста. Ревіталізація промислової архітектури є інструментом оновлення міської культури та формування нової якості життя.

Список використаної літератури

1. Дмитренко А. Ю., Кузьменко Т. Ю. Ревіталізація промислових територій та об’єктів у великих містах україни. *Містобудування та територіальне планування*. 2020, Вип. 72. С. 70–78.
2. Ляшенко С. Промислова спадщина як ресурс розвитку міського середовища. *Вісник архітектури*. 2021, №3. С. 45-52.
3. Plevoets, B., Van Cleempoel, K. Adaptive Reuse of Built Heritage: Concepts and Cases of Emerging Discipline. - Routledge, 2019. P. 256.
4. Cantell, S. Adaptive Reuse of Historic Industrial Buildings: Regulation Barriers, Best Practices and Case Studies. - Virginia Polytechnic Institute, 2005.
5. Lazzeretti, L. (ed.) Creative Industries and Innovation in Europe: Concepts, Measures and Comparative Case Studies. - Routledge, 2012. P. 328.
6. Слободянюк І. Адаптивне використання промислових споруд як напрям сталого розвитку міст. *Просторове планування*. 2022, №1. С. 67-74.

Мельник Віталій Олександрович — здобувач групи БМ-24м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vitalikmelnyk1998@gmail.com

Риндюк Світлана Володимирівна — кандидатка технічних наук, доцентка кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: runduyksv@gmail.com

Vitalii Melnyk - student of the BM-24m group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: vitalikmelnyk1998@gmail.com

Svitlana Ryndiuk — PhD, docent of Department of Construction, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: runduyksv@gmail.com

УДК 692.5:502.174.3

Є. М.Опря
А. О. Лялюк
О. Г. Лялюк

АНАЛІЗ ФІЗИЧНИХ ТА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІШЕНЬ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ПОКРИТТЯ БУДІВЛІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезах розглянуто ключові аспекти вдосконалення теплоізоляційних властивостей будівельних покриттів з позицій енергозбереження, довговічності та економічної ефективності. Наведено аналіз фізичних і математичних моделей, що описують процеси теплопередачі та оптимізацію організаційно-технологічних рішень під час впровадження енергозберігаючих технологій. Запропоновано системний підхід до прийняття рішень, який поєднує чисельні методи розрахунку з реальними умовами будівельного виробництва.

Ключові слова: теплоізоляція, енергозбереження, теплопередача, математичне моделювання, організаційно-технологічні рішення, покриття будівлі.

Abstract

The theses consider key aspects of improving the thermal insulation properties of building coatings from the standpoint of energy saving, durability and economic efficiency. An analysis of physical and mathematical models describing heat transfer processes and optimization of organizational and technological solutions during the implementation of energy-saving technologies is presented. A systematic approach to decision-making is proposed, which combines numerical calculation methods with real conditions of construction production.

Key words: thermal insulation, energy saving, heat transfer, mathematical modeling, organizational and technological solutions, building covering.

Вступ

Сучасне будівництво вимагає впровадження інноваційних технологій, спрямованих на підвищення енергоефективності та зниження тепловтрат будівель. Теплоізоляційні властивості огороджувальних конструкцій значною мірою визначають рівень енергоспоживання та комфортні умови проживання. Ефективне вирішення цієї проблеми потребує використання фізичних моделей процесів теплопередачі та математичних методів оптимізації організаційних і технологічних рішень [1-3]. Для точного розрахунку енергозбереження центру обробки даних після енергозберігаючої реконструкції та оцінки ефекту енергозбереження розроблені технології побудови базової моделі енергоспоживання та створено моделі «Факторів енергоспоживання», засновану на теорії нечіткого та грубого зменшення атрибутів, яка відсіює основні енергетичні фактори з метою забезпечення точності базової моделі та зменшення кількості вхідних змінних [4].

1. Фізичні моделі теплопередачі

Фізичні моделі базуються на законах теплопровідності, конвекції та випромінювання. Для багатошарових систем теплоізоляції процес описується рівнянням Фур'є:

$$q = -\lambda \times dT/dx, \quad (1)$$

де q — густина теплового потоку, λ — коефіцієнт теплопровідності матеріалу, dT/dx — градієнт температури. Дослідження показують, що комбінування полімерних і мінеральних утеплювачів дозволяє знизити втрати тепла на 25–35 % порівняно з традиційними матеріалами.

2. Математичне моделювання

Математичні моделі використовуються для оцінювання енергетичної ефективності та оптимізації витрат. Застосовуються методи скінченних різниць, регресійного аналізу та оптимізації за критерієм мінімізації сумарних витрат:

$$E = \Sigma(C_i + \alpha_i \times t_i) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де C_i — витрати на матеріали, t_i — трудомісткість робіт, α_i — коефіцієнт вагомості параметра.

Модель енергозбереження на основі TRIZ — це підхід до підвищення енергоефективності об'єктів (будівель, технологічних процесів, систем тощо) із використанням методології (TRIZ — Теорія розв'язання винахідницьких задач), розробленої Генріхом Альтшуллером [5].

TRIZ — це системний метод пошуку інноваційних технічних рішень, заснований на: виявленні та усуненні технічних протиріч; використанні закономірностей розвитку технічних систем; застосуванні стандартів і прийомів винахідницьких рішень.

Модель енергозбереження на основі TRIZ передбачає:

1. Виявлення проблеми — наприклад, надмірні втрати тепла через огороджувальні конструкції будівлі.

2. Формулювання протиріччя — якщо посилити теплоізоляцію, зростає вартість і вага конструкцій; якщо зменшити вартість, падає ефективність.

3. Застосування принципів TRIZ — вибір типових прийомів (наприклад, "перехід у надсистему", "додатковий вимір", "динамічність"), щоб знайти оптимальне рішення.

4. Побудову моделі енергозбереження, що включає: аналітичні залежності між енергетичними втратами, характеристиками матеріалів та умовами експлуатації; оцінку ефективності за критеріями мінімізації енергоспоживання, витрат і екологічного впливу (рис.1).



Рисунок 1 - Схема TRIZ - моделі енергозбереження

Приклад застосування: Технічне протиріччя: потрібно зменшити теплопровідність покрівлі, але не збільшити товщину.

Модель енергозбереження, побудована за TRIZ, допомагає: системно аналізувати енергетичні втрати; знаходити інноваційні, неочевидні рішення; оптимізувати організаційно-технологічні процеси утеплення; формувати алгоритм вибору матеріалів та технологій для мінімізації енергоспоживання будівлі. Рішення за TRIZ: використання комбінованої структури (наприклад,

нанопористих або вакуумних панелей), що дозволяють зберегти теплову ефективність без збільшення маси та габаритів.

3. Організаційно-технологічне забезпечення процесу

Організаційно-технологічне забезпечення полягає у виборі оптимальної послідовності монтажу теплоізоляційних елементів, забезпеченні якості виконання робіт і скороченні простоїв. Використання цифрових технологій (BIM-моделювання) дає змогу поєднати розрахункові дані фізико-математичних моделей з реальними умовами будівництва, що підвищує ефективність планування, контролю та управління ресурсами. У BIM-середовищі можна змоделювати поведінку конструкцій у різних фізичних умовах — наприклад, при зміні температури, вологості, навантажень. Це дає змогу перевірити достовірність математичних моделей до початку реального будівництва. У процесі будівництва модель можна постійно оновлювати на основі фактичних даних (з датчиків, дронів, сканерів). Таким чином, фізико-математичні моделі залишаються актуальними й відображають реальний стан об'єкта. Поєднання розрахових даних з BIM-моделлю дозволяє проводити сценарний аналіз — прогнозувати енергоспоживання, вартість ункексплуатації, терміни служби конструкцій, що підвищує ефективність прийняття проектних рішень. Результати складних математичних розрахунків можна наочно представити у вигляді 3D-моделі, що полегшує аналіз, координацію між фахівцями та сприйняття замовником.

Висновки

Застосування фізичних і математичних моделей у системі організаційно-технологічного забезпечення дозволяє оптимізувати процес удосконалення теплоізоляційних властивостей енергозберігаючих покриттів будівель. Такі рішення сприяють зменшенню тепловтрат, підвищенню комфорту та довговічності конструкцій, а також забезпечують економічний ефект за рахунок скорочення експлуатаційних витрат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУ

1. Ouyang, Jianjun; Ju, Peng, The choice of energy saving modes for an energy-intensive manufacturer under non-coordination and coordination scenarios. Energy. Vol. 126. P. 733-745.
2. Wang, Qiankun; Huang, Qian. Research on the Technical and Economic Evaluation Model of Energy-saving Buildings. Optical, electronic materials and applications. 2012. Vol. 529. P. 424-430.
3. Kuei-Chen; Chen, Chien-Lung; Lin, Hsin-Fa; Wu, Yung-Hsun. Which Is the Priority for the Public while Adopting Energy-saving Facilities? An Analysis of Association between Acceptance and Attitudes toward Using Energy-saving Facilities. International conference on industrial engineering and engineering management. 2019. P.1506-1511.
4. Li, Gang; Zhang, Qingpu; Feng, Zhengqian. Research on method for calculating energy saving in data centre. Oxidation communication. 2016. Vol. 39. P. 1962-1973.
5. Luo, Jia Luo, Jia. Study of Building Energy-Saving Based on TRIZ. Smart materials and intelligent system. 2012.Vol. 442. P. 58-61.

Кафедри будівництва міського господарства та архітектури

Опря Євгеній Михайлович – аспірант, Вінницький національний технічний університет. Eugenopria@gmasl.com. +380931188544

Лялюк Андрій Олександрович – аспірант, Вінницький національний технічний університет. 1b16b.lyalyuk@gmail.com

Лялюк Олена Георгіївна – к. т. н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, науковий керівник. e-mail: Lyalyuk74@gmail.com

Opria Yevgen - post-graduate studen, post-graduate studen, Vinnitsa National Technical University (VNTU)/ Eugenopria@gmasl.com

Lyalyuk Andrey - -graduate studen, VNTU, 1b16b.lyalyuk@gmail.com

Lyalyuk Elena - Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture VNTU, e-mail: Lyalyuk74@gmail.com

УДК 711.4:711.582

А. В. Балинська[1]
А. В. Бондар[1]

РОЛЬ УПРАВЛІННЯ МІСТОБУДІВНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ У ВПРОВАДЖЕННІ ПРИРОДООРІЄНТОВАНИХ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ

[1]Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті досліджено значення управління містобудівною діяльністю у впровадженні природоорієнтованих та енергоефективних рішень, що сприяють сталому розвитку міських територій. Проаналізовано роль державних і місцевих органів, нормативно-правові механізми та наукові підходи, які визначають можливість інтеграції зеленої інфраструктури та енергетичної модернізації. Визначено ключові напрями вдосконалення містобудівної політики для підвищення екологічної стійкості та енергоефективності міського середовища.

Ключові слова: управління містобудівною діяльністю, природоорієнтовані рішення, енергоефективність, зелена інфраструктура, сталий розвиток.

Abstract

The article examines the importance of urban planning management in implementing nature-based and energy-efficient solutions that contribute to the sustainable development of urban areas. The role of state and local authorities, regulatory mechanisms, and scientific approaches that determine the possibility of integrating green infrastructure and energy modernization is analyzed. Key areas for improving urban planning policy to increase environmental sustainability and energy efficiency of the urban environment are identified.

Keywords: *urban planning management, nature-based solutions, energy efficiency, green infrastructure, sustainable development.*

Вступ

Сучасні міста функціонують в умовах зростаючого антропогенного навантаження та кліматичних змін, що потребує переорієнтації містобудівної політики на екологічно збалансовані підходи. Одним із таких напрямів є природоорієнтовані рішення, які базуються на здатності природних систем підвищувати стійкість міського середовища. Їхній потенціал підтверджено у дослідженні Рижової, Павленко та Антипенка, де екоміcто визначається як модель, що інтегрує природні процеси у міську структуру [1].

Інтеграція природних елементів у загальну концепцію планування може не тільки компенсувати негативний вплив щільної забудови, а й суттєво покращити комфорт проживання, що є ключовим критерієм сталого розвитку.

Енергоефективність також посідає центральне місце у стратегічних документах України. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури визначає управління енергоефективністю як один із ключових елементів міської політики, що напряму залежить від системних містобудівних рішень [3]. Зменшення енергоспоживання в містах пов’язане не лише з модернізацією будівель, а й з якістю планування територій та управління інфраструктурою, що підкреслює Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження [4].

З огляду на це, роль управління містобудівною діяльністю стає визначальною, адже від нього залежить, наскільки повноцінно природоорієнтовані та енергоефективні рішення інтегруються у розвиток міста, а також наскільки успішно відбувається їх реалізація. У межах сучасної урбанізації управління містом не може залишатися суто технічним процесом - воно стає інструментом формування здорового довкілля та високої якості життя.

Результати дослідження

Ефективне управління містобудівною діяльністю охоплює систему планування територій, регулювання забудови, встановлення норм і стандартів, проведення стратегічних екологічних оцінок, упровадження енергетичних програм. Саме ця система визначає можливості впровадження природоорієнтованих рішень, зокрема зеленої інфраструктури, яка в науковій літературі визначається як ключовий елемент екологічної стійкості міста [1]. Таблиця 1 узагальнює системні функції управління містом, що визначають можливість упровадження природоорієнтованих технологій.

Таблиця 1 – Роль управління містобудівною діяльністю у впровадженні екологічних рішень

Напрям управління	Вплив на екологію	Вплив на енергоефективність
Генеральне планування	Включення зелених коридорів, водно-зелених зон	Орієнтація забудови за сторонами світу, врахування вітрових потоків
Детальне планування територій	Стандарти озеленення, кількість зелених насаджень	Норми щодо теплової модернізації будівель
Регулювання забудови	Обмеження щільності, збереження природних територій	Вимоги до класу енергоефективності
Екологічний моніторинг	Оцінка впливу кліматичних ризиків	Моніторинг енергоспоживання громад
Управління інфраструктурою	Створення мультифункціональної зеленої інфраструктури	Оптимізація транспортних потоків, зменшення витрат енергії

Сьогодні українським громадам бракує саме цілісної системи управління, яка розглядала б зелену інфраструктуру не як декоративний елемент, а як функціональний інструмент регулювання мікроклімату, водного балансу та якості повітря. Це потребує сильнішого аналітичного підґрунтя, а також підготовки фахівців, здатних інтегрувати природу у процеси містобудування. Таблиця 2 демонструє ключові функціональні відмінності між традиційними інженерними рішеннями та природоорієнтованими підходами у міському плануванні.

Таблиця 2 – Порівняння природоорієнтованих та традиційних містобудівних рішень

Критерій	Традиційні рішення	Природоорієнтовані рішення (NBS)
Мікроклімат	Підвищення температури, ефект теплового острова	Зниження температури на 1,5–3,0 °C завдяки зеленим насадженням
Водний баланс	Стокові води відводяться у каналізацію	Інфільтрація, біоретенція, зменшення ризику підтоплень
Якість повітря	Низький рівень фільтрації	Поглинання пилу, CO_2, летких органічних сполук
Енергоефективність	Залежить від ізоляції будівель	Враховує природні процеси охолодження, затінення, вентиляції
Економічний ефект	Високі витрати на інженерні системи	Зменшення експлуатаційних витрат на 15–30 %
Соціальний комфорт	Обмежений вплив	Підвищення якості життя, рекреаційні зони

Природоорієнтовані рішення мають значний потенціал у покращенні адаптації до змін клімату. Аналітичні матеріали WWF доводять, що впровадження таких рішень може суттєво підвищити здатність міст протистояти кліматичним ризикам, зменшити затоплення, покращити якість повітря та мікроклімат [2]. Рисунок 1 показує, які чинники найбільше впливають на ефективність природоорієнтованих рішень (NBS) у містах. Найвагомішим є обсяг зелених зон (90%), адже саме вони формують мікроклімат і водний баланс. На другому місці – якість управління (80%), від якої залежить планування та реалізація NBS. Стан екосистем (70%) визначає природну здатність територій функціонувати стійко. Щільність забудови (55%) та кліматичні умови (45%) також впливають, але меншою мірою. Графік демонструє, що успішність NBS залежить не від одного фактора, а від поєднання природних і управлінських умов.

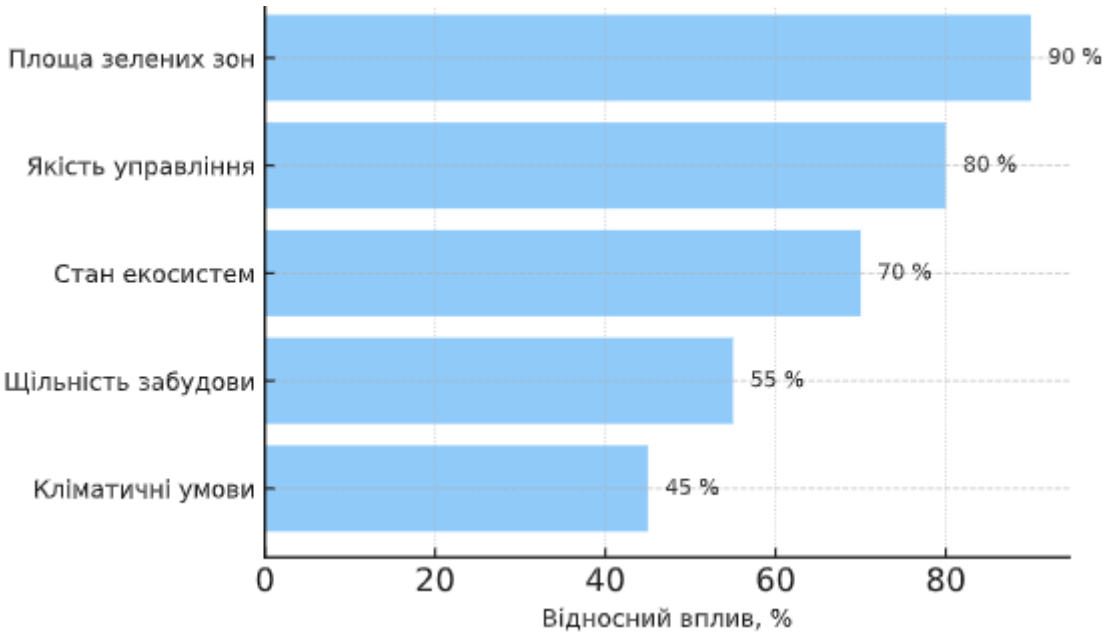


Рисунок 1 – Фактори, що впливають на ефективність природоорієнтованих рішень

Проте, крім зазначених переваг, важливо враховувати і просторові особливості міст, темпи їх зростання та соціальні потреби громад. Ефективність природоорієнтованих рішень значною мірою залежить від того, наскільки рано вони інтегровані у містобудівну документацію – якщо вони враховуються на стадії генерального плану, то їхня реалізація є значно дешевшою та результативнішою.

Щодо енергоефективності, Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури визначає, що системне управління енергоспоживанням є неможливим без інтеграції енергетичних вимог у містобудівні документи всіх рівнів [3]. Подібну позицію підтримує Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження, яке акцентує, що модернізація будівель та підвищення їх енергоощадності повинні здійснюватися через стандартизовані рішення, інтегровані у проєктування та реконструкцію забудови [4].

Водночас, на думку авторів, містам України варто активніше застосовувати комплексні енергетичні плани, що передбачають аналіз енергоспоживання у розрізі районів, типів забудови й транспортної інфраструктури. Це дозволило б управляти енергоефективністю не лише на рівні окремих будівель, а й на рівні міського простору в цілому.

Управління природними ресурсами також формує вагомий складник містобудівної політики. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України визначає пріоритетами відновлення екосистем, управління водними ресурсами та захист біорізноманіття, що має бути інтегровано у планування територій [6].

Планування земель та водних ресурсів повинно здійснюватися не як окремий напрям діяльності, а як частина загальної системи ризик-менеджменту, адже неконтрольоване освоєння територій уже призводить до підтоплень, ерозії ґрунтів та руйнування природних бар’єрів.

Міжнародні огляди підтверджують важливість комплексної взаємодії між природними процесами, енергоспоживанням і містобудівним плануванням. Огляд Mauree, Naboni та Coccolo підкреслює, що сучасні методики оцінки міської енергоефективності часто не враховують взаємозв’язок між кліматом, забудовою й природними системами, що знижує ефективність управлінських рішень [5].

Більшість міст досі оцінюють енергоефективність за технічними показниками будівель, ігноруючи вплив зелених зон, водойм, напрямків вітру та щільності забудови на формування температурного режиму. Такий недооцінений зв’язок суттєво обмежує можливість забезпечення реальної стійкості міських систем.

Таким чином, поєднання наукових підходів і практичних управлінських рішень створює основу для впровадження природоорієнтованих та енергоефективних технологій. Проте для їх повноцінної реалізації міста повинні вдосконалювати управління, посилювати аналітичну складову, а також системно впроваджувати міждисциплінарні підходи.

Висновки

Управління містобудівною діяльністю відіграє ключову роль у впровадженні природоорієнтованих та енергоефективних рішень, оскільки саме через містобудівні документи, стандарти та регуляторні механізми відбувається інтеграція екологічних і енергетичних вимог у розвиток міста. Природоорієнтовані рішення та енергомодернізація можуть реалізовуватися ефективно лише за умови наявності узгоджених управлінських процесів, достатньої координації між державними структурами та науково обґрунтованої методології.

На мою думку, першочерговим завданням для українських міст є створення довгострокових моделей управління, які одночасно враховуватимуть природний потенціал територій, потреби жителів та вимоги до енергоефективності. Сталий розвиток міст можливий лише за умови поєднання природоорієнтованого підходу з енергетичною модернізацією та активним залученням інноваційних методів аналізу простору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рижова І., Павленко Т., Антипенко Є. Основні напрями міського розвитку екоміста. *Містобудування та територіальне планування.* URL: https://mtp.knuba.edu.ua/article/view/304349
2. WWF. Nature-Based Solutions: Policy Dialogue and Recommendations. URL: https://nbs.wwf.ua/wp-content/uploads/2023/02/policy-polyloque-and-recommendations_insure_eng.pdf
3. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. Управління енергоефективності. URL: https://mtu.gov.ua/content/upravlinnya-enerгоефективності.html
4. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: https://old.saee.gov.ua/uk/news/5296
5. Mauree D., Naboni E., Coccolo S. та ін. A review of assessment methods for the urban environment and its energy sustainability to guarantee climate adaptation of future cities. *ArXiv*. URL: https://arxiv.org/abs/1906.06140
6. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: https://mepr.gov.ua

Балинська Анастасія Володимирівна **–** студентка групи БМ-23б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nastiabalynska@gmail.com.

Бондар Альона Василівна – канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: bondarav@vntu.edu.ua

Balynska Anastasia V – student of the BM-23b group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nastiabalynska@gmail.com.

Bondar Alona V. – PhD, Associate Professor, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: bondarav@vntu.edu.ua

УДК 711.25

Д. А. Ілюченко
В. П. Очеретний

Сталий розвиток озеленення міських територій

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розкрито сутність сталого розвитку озеленення міських територій як важливого напряму формування екологічно збалансованого та функціонального міського простору. У дослідженні проаналізовано сучасні підходи до планування, створення та утримання зелених зон у контексті зростаючих урбанізаційних навантажень. Окрема увага приділена практикам екологічного благоустрою, інтеграції природних елементів у міську інфраструктуру, а також ролі зелених насаджень у пом'якшенні кліматичних змін та підвищенні якості життя населення. Розглянуто інноваційні методи управління міською зеленню, застосування стійких матеріалів і технологій та підходи до збереження біорізноманіття. Робота спрямована на визначення стратегій, які забезпечують комплексний, екологічно орієнтований та довгостроковий розвиток зелених територій у містах України.

Ключові слова: сталий розвиток; міські зелені насадження; благоустрій; урбанізація; екологічний дизайн; зелені зони; парки; біорізноманіття; природоорієнтовані рішення; міське середовище; екосистемні послуги; ландшафтне планування; адаптація до змін клімату.

Abstracts

The essence of sustainable development of urban greening as an important direction of formation of ecologically balanced and functional urban space is revealed. The study analyzes modern approaches to planning, creation and maintenance of green areas in the context of growing urbanization loads. Special attention is paid to practices of ecological improvement, integration of natural elements into urban infrastructure, as well as the role of green spaces in mitigating climate change and improving the quality of life of the population. Innovative methods of urban green management, application of sustainable materials and technologies, and approaches to biodiversity conservation are considered. The work is aimed at identifying strategies that ensure comprehensive, environmentally friendly and long-term development of green areas in Ukrainian cities.

Keywords*: sustainable development; urban green spaces; landscaping; urbanization; ecological design; green areas; parks; biodiversity; nature-based solutions; urban environment; ecosystem services; landscape planning; climate change adaptation.*

Вступ

Актуальність теми. Актуальність дослідження сталого розвитку озеленення міських територій визначається зростанням урбанізаційного навантаження на українські міста та погіршенням стану зелених зон. Скорочення площ насаджень, погіршення якості повітря та підвищення температур у містах вимагають переходу до нових підходів у плануванні та управлінні зеленими територіями. Зелені насадження сьогодні є невід'ємним елементом міської стійкості, оскільки забезпечують регулювання мікроклімату, очищення повітря, збереження біорізноманіття та покращення якості життя населення.

Сучасні дослідження наголошують на необхідності впровадження природоорієнтованих рішень, екологічного планування та ефективного менеджменту зелених зон, що відповідає європейським екологічним вимогам і стратегічним пріоритетам України [1; 2]. Розвиток зеленої інфраструктури стає важливим інструментом адаптації міст до змін клімату, підвищення їх екологічної та соціальної стійкості [3]. Отже, тема є надзвичайно актуальною з огляду на сучасні екологічні виклики, урбаністичні тренди та потребу в довгостроковій модернізації міського середовища.

Результати дослідження

Результати проведеного аналізу показали, що сталий розвиток озеленення міських територій в Україні має стратегічне значення для формування сприятливого міського середовища. Забезпечення якості зелених насаджень у містах напряму пов'язане з ефективністю просторового планування,

доступністю громадських просторів та рівнем комфортності життя населення. У наукових дослідженнях наголошується, що інтеграція озеленення у структуру міського середовища має ґрунтуватися на системному підході, який поєднує екологічні, соціальні й інфраструктурні аспекти розвитку територій, а зелені зони повинні розглядатися як повноцінний елемент міської інфраструктури [4].

Проведений огляд показав, що сучасні українські міста стикаються з проблемами дефіциту зелених площ, нерівномірним розподілом озеленених територій, фрагментацією зеленого каркасу та перевантаженістю окремих зон. У межах сталого розвитку важливим є впровадження комплексного підходу до озеленення, що включає використання адаптивних рослин, розвиток екосистемних коридорів, створення багатофункціональних парків, а також застосування інноваційних природоорієнтованих рішень (Nature-based Solutions). Дослідження підтверджують, що системне оновлення зелених насаджень та застосування сучасних ландшафтних практик дозволяє зменшувати теплові острівці, підвищувати стійкість міських систем і сприяти формуванню здорового просторового середовища [5].

Особливу увагу приділено тому, що озеленення має розглядатися не як декоративний елемент, а як важливий інструмент підтримання екологічної рівноваги. Сучасні підходи орієнтуються на збереження біорізноманіття, оптимізацію водного балансу, зниження рівня забруднення та формування комфортних громадських просторів для мешканців. Результати дослідження свідчать, що сталий розвиток озеленення сприяє підвищенню адаптивності міст до кліматичних змін, зменшує негативні наслідки урбанізації та формує передумови для екологічно збалансованого зростання.

Досвід зарубіжних країн демонструє високий рівень інтеграції принципів сталого озеленення у міську політику, просторове планування та екологічне управління. У більшості європейських міст зелений каркас розглядається як ключовий елемент інфраструктури, що виконує соціальні, екологічні та економічні функції. Країни ЄС активно реалізують стратегії «міст, що розумно ростуть» (smart growth), у яких пріоритет віддається формуванню компактних міських структур із збереженням великих зелених масивів, створенням екологічних коридорів та розвитком природоорієнтованих рішень. Дослідження Європейського агентства з довкілля свідчать, що саме якісно спроєктовані зелені зони сприяють зменшенню впливу урбанізації й підвищують стійкість міських систем до кліматичних ризиків [6].

У Німеччині, Нідерландах, Данії та Швеції реалізуються програми інтеграції «зелених дахів» і «зелених стін» у щільну міську забудову. Це дозволяє суттєво зменшувати перегрівання міського середовища, покращувати якість повітря та підвищувати енергоефективність будівель. У великих мегаполісах, таких як Копенгаген чи Роттердам, міська влада використовує природу як інструмент управління водними ресурсами, впроваджуючи парки-резервуари, системи інфільтрації та затримання стічних вод, що одночасно виконують функції рекреаційних зон та елементів протипаводкового захисту [7]. Застосування таких рішень показало високу ефективність у пом’якшенні наслідків екстремальних опадів, які стають дедалі частішими внаслідок зміни клімату.

Американські та канадські міста також демонструють значний прогрес у впровадженні сталих підходів до озеленення. Наприклад, у США активно розвивається концепція «зеленої інфраструктури», яка включає міські ліси, парки, прибережні зони, зелені вулиці та екологічно сприятливі громадські простори. Програма Green City, Clean Waters у Філадельфії є одним із найуспішніших прикладів поєднання озеленення з управлінням дощовою водою, що дозволило знизити навантаження на каналізаційні системи та збільшити кількість доступних зелених територій для мешканців. У Канаді значна увага приділяється підтримці біорізноманіття в межах міської структури, що реалізується через створення природних коридорів та збереження локальних екосистем.

Закордонний досвід свідчить, що розвиток зелених зон повинен бути невід’ємною частиною довгострокового міського планування. Успіх багатьох міст ґрунтується на поєднанні екологічних стандартів, інноваційних технологій, сталих методів управління та активної участі місцевих громад. Впровадження таких підходів забезпечує комплексний розвиток міських територій, підвищує їхню стійкість до кліматичних та антропогенних викликів, формує комфортне середовище та сприяє сталому розвитку в цілому.

Висновки

Сталий розвиток озеленення міських територій є важливою умовою формування комфортного й екологічно збалансованого міського середовища. Аналіз вітчизняного та міжнародного досвіду показує, що ефективне озеленення базується на системному підході, який поєднує природоорієнтовані рішення, сучасні технології та стратегічне планування. Зелені насадження виконують не лише декоративні, а й регуляційні, кліматичні та соціальні функції, зменшують негативні наслідки урбанізації та підвищують стійкість міст до змін клімату.

Отже, розвиток міських зелених зон має бути інтегрованою частиною міської політики, спрямованої на підвищення якості життя населення та забезпечення довгострокового екологічного балансу. Такий підхід створює основу для сталого функціонування та розвитку сучасних міст.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гетьман В. М. Екологічні аспекти розвитку міських територій. Київ: Ліра-К, 2020. 248 с. – Режим доступу https://dspace.vspu.edu.ua/bitstreams/7dc4d329-df6d-4fbe-a8e5-a9079cdbc4bb/download
2. Дубина М. О. Урбаністичні трансформації та зелена інфраструктура міст України. Львів: Видавництво ЛНУ, 2021. 312 с.
2. Шевченко О. В. Стале управління зеленими зонами в умовах урбанізації. *Містобудування та територіальне планування*, 2022, № 83, с. 145–153.
3. Кіс Н., Кайнц Д., Микайло О. Інтеграція озеленення в міське середовище як засіб підвищення якості громадських просторів. *Просторовий розвиток*, 2024, № 1, с. 342–343. - Режим доступу http://spd.knuba.edu.ua/article/view/323648/313906
4. Бабенко В. М., Ткачова Л. В., Іващенко В. В., Мамчич, С. В. Використання впроваджень сучасних підходів для озеленення міських територій. *Зелена економіка та низьковуглецевий розвиток*, 2023, № 2, с. 112–120.
5. European Environment Agency. Urban green infrastructure and climate adaptation. Copenhagen: EEA, 2023. 64 p.
6. Hansen F., Pauleit M. Green Infrastructure Planning in European Cities: Integrating Nature-Based Solutions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, Vol. 49, Article 126604.

Ілюченко Денис Анатолійович – студент групи БМ-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: den08087520@gmail.com

Очеретний Володимир Петрович – доцент, кафедра будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ocheretny@vntu.edu.ua

Ilyuchenko Denys Anatoliyovych *- student of the BM-24m group, Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: den08087520@gmail.com*

Volodymyr Petrovych Ocheretny – Associate Professor, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ocheretny@vntu.edu.ua

УДК 711 711.04 711.25

К. М. Кравчук
В. В. Швець

ВИКОРИСТАННЯ АРХІТЕКТУРНИХ КЛАСТЕРІВ У МІКРОРАЙОНАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезах розглянуто особливості застосування архітектурних кластерів у структурі сучасних мікрорайонів та їх вплив на формування збалансованого міського середовища. Обґрунтовано переваги кластерного підходу для підвищення функціональної насиченості та якості життя мешканців.

Ключові слова: *проєкт, планування, місто, містобудування, район, мікрорайон, архітектурний кластер, структура, комплекс, громадський простір, територія, рекреація, оптимізація, модернізація, багатофункціональність, CAD-системи, BIM-технології.*

Abstract

The theses examine the use of architectural clusters within modern residential districts and their impact on shaping a well-balanced urban environment. The advantages of the cluster approach for improving functional diversity and residents' quality of life are substantiated.

Keywords: *project, planning, city, urban planning, district, microdistrict, architectural cluster, structure, complex, public space, territory, recreation, optimization, modernization, multifunctionality, CAD systems, BIM technologies.*

Вступ

Сучасні мікрорайони українських міст характеризуються застарілою функціональною структурою, недостатньою насиченістю громадських просторів та низьким рівнем соціальної інтегрованості. У сучасних умовах це призводить до зниження рівня комфорту проживання та обмеження міських активностей. Традиційні планувальні моделі 1960–1980-х років, що формувалася в умовах типового проєктування другої половини XX століття, сьогодні не відповідають потребам мешканців, що зумовлює пошук нових рішень для підвищення якості середовища. Одним із перспективних інструментів таких змін є архітектурні кластери — багатофункціональні комплекси, які поєднують різні типи діяльності в єдиному міському осередку.

Актуальність теми використання архітектурних кластерів у мікрорайонах зумовлена потребою комплексної модернізації житлових територій та впровадження нових моделей організації міського середовища. Архітектурні кластери — це багатофункціональні просторові утворення, що поєднують об'єкти різного призначення у єдину логічну систему, формуючи культурно-ділові, туристично-рекреаційні та соціальні ядра. Їх інтеграція сприяє підвищенню якості життя мешканців, розвитку громадських просторів і оптимізації просторової структури мікрорайонів. Саме тому дослідження їх ролі та потенціалу є важливим напрямом для оновлення існуючої житлової забудови та формування гармонійної моделі міських територій.

Основна частина

Архітектурний кластер у структурі мікрорайону визначається як просторово та функціонально організований комплекс, що об'єднує декілька взаємопов'язаних об'єктів соціального, культурного, адміністративного та рекреаційного призначення. Він виступає центром активності та забезпечує різноманітні послуги для мешканців, зменшуючи їхню залежність від віддалених районних або міських центрів. Такий підхід дозволяє посилити локальні зв'язки, активізувати соціальні процеси й сформувати більш збалансоване міське середовище.

Важливою перевагою архітектурних кластерів є їхня здатність змінювати одновимірну структуру мікрорайону, забезпечуючи багаторівневе функціональне наповнення. Кластери сприяють появі нових маршрутизованих потоків, що активізують пішохідний трафік і формують природні громадські зони. Це відповідає сучасним тенденціям до створення «компактного міста», у якому більшість щоденних потреб мешканців може бути задоволена в межах пішої доступності.

Серед ключових результатів використання архітектурних кластерів у мікрорайонах можна виділити такі:

1. Формування багатофункціональних осередків. Кластери дозволяють поєднати ділові, культурні, освітні та рекреаційні функції в одному просторі, забезпечуючи різні активності протягом доби. Це збільшує інтенсивність використання території та зменшує ризик її занепаду.
2. Підвищення соціальної інтегрованості. Наявність громадських просторів, виставкових залів, конференц-центрів, коворкінгів чи музеїв створює передумови для соціальної взаємодії. Кластери сприяють комунікації між різними віковими та соціальними групами населення, підтримуючи культурний розвиток території.
3. Модернізація застарілих мікрорайонів. Інтеграція кластерів у структуру житлових масивів дає можливість оновити їх без потреби масштабної реконструкції. Функціональне та просторове збагачення підвищує цінність території та стимулює економічну активність.
4. Оптимізація просторової організації. Кластери забезпечують раціональне використання території, що особливо важливо в умовах щільної міської забудови. Завдяки компактності та продуманій структурі вони дозволяють поєднати кілька об'єктів там, де раніше могла бути лише окрема будівля чи зона.
5. Екологічний ефект та створення природних просторів. У структурі кластерів часто передбачаються озеленені території: сквери, відкриті площі, пішохідні алеї, громадські сади. Вони сприяють покращенню мікроклімату, зменшенню рівня шуму та формуванню комфортного середовища.
6. Використання цифрових технологій у моделюванні кластерів. Застосування CAD та BIM-технологій дозволяє створювати точні цифрові моделі, прогнозувати сценарії використання території, аналізувати транспортні, пішохідні та функціональні зв'язки. Це підвищує якість прийняття проєктних рішень і сприяє ефективнішій інтеграції кластеру в існуючу планувальну структуру.

Архітектурні кластери також відіграють важливу роль у розвитку творчих і креативних індустрій. У багатьох країнах світу вони стають центрами локального культурного розвитку, де поєднуються виставкові простори, культурні установи, навчальні заклади, готелі та бізнес-інфраструктура. Така модель може бути адаптована для українських мікрорайонів, забезпечуючи не лише естетичний ефект, а й соціально-економічний розвиток території.

З огляду на це, формування архітектурного кластеру може стати стратегічним інструментом у модернізації житлових районів, підвищенні їх конкурентоспроможності та створенні комфортного середовища, у якому мешканці мають доступ до культурних, ділових та рекреаційних послуг у межах власного мікрорайону.

Висновки

Застосування архітектурних кластерів у структурі мікрорайонів дозволяє комплексно розв'язати ключові проблеми, пов'язані із застарілими планувальними рішеннями та низьким рівнем функціонального наповнення житлових територій. Кластери формують нові центри активності, сприяють розвитку соціальної взаємодії, підвищують економічну та культурну привабливість місцевості. Їх інтеграція створює основу для формування комфортного, збалансованого й екологічно стійкого міського середовища. Отримані результати свідчать, що кластерний підхід є перспективним напрямом для подальших містобудівних трансформацій і може стати ключовим інструментом у модернізації українських мікрорайонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019.
2. Ukraine's Concrete Inheritance: Assessing the Soviet Planning Era. UkraineWorld. URL: https://ukraineworld.org/en/articles/basics/soviet-planning.
3. Косенко Д. Ю. Особливості інтер'єрів приміщень арт-кластерів. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/21147/1/APSD_2022_V2_P206-208.pdf.
4. Панфілов А. The Cluster Model of Development of the City. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2016/36/matecconf_tpacee2016_06008.pdf.
5. Stuart Meck. Cluster Development: Modern Application of an Old Town Form // Zoning Practice. American Planning Association, 2003. URL: https://planning-org-uploaded-media.s3.amazonaws.com/document/Zoning-Practice-2007-08.pdf.

Кравчук Костянтин Миколайович – студент групи БМ-24м, факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет м. Вінниця, mail: kostyakravchuk612@gmail.com

Науковий керівник: **Швець Віталій Вікторович** – доцент, завідувач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет м. Вінниця, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

Kravchuk Kostiantyn Mykolaiovych – student of group BM-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kostyakravchuk612@gmail.com

Scientific supervisor: **Shvets Vitalii Viktorovych** – Associate Professor, Head of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

УДК 711.4

В. П. Леонтьєва
А. В. Бондар

АРХІТЕКТУРНО-МІСТОБУДІВНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИМ РОЗВИТКОМ ІЗ МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ТА ІНФРАСТРУКТУРИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Теза присвячена архітектурно-містобудівним підходам до підвищення енергоефективності будівель та міської інфраструктури. Розглянуто принципи компактності забудови, транспортно-орієнтовані рішення, модернізацію громадського транспорту та впровадження енергоефективних архітектурних рішень. Особлива увага приділена використанню відновлюваних джерел енергії, зелених дахів і фасадів та реновації старих будівель. Викладені підходи сприяють формуванню стійкого, комфортного та ресурсозберігаючого міського середовища.

Ключові слова: енергоефективність, містобудування, транспорт, архітектурні рішення, відновлювані джерела енергії, реновація будівель.

Abstract

The thesis is devoted to architectural and urban planning approaches for improving the energy efficiency of buildings and urban infrastructure. It examines the principles of compact urban development, transit-oriented solutions, modernization of public transport, and the implementation of energy-efficient architectural designs. Special attention is given to the use of renewable energy sources, green roofs and façades, and the renovation of existing buildings. The approaches presented contribute to the creation of a sustainable, comfortable, and resource-efficient urban environment.

Keywords: energy efficiency, urban planning, transport, architectural solutions, renewable energy sources, building renovation.

Вступ

Стрімкі темпи урбанізації, глобальні екологічні зміни та зростання рівня енергоспоживання формують нові вимоги до планування та розвитку міст. Більшість енергетичних ресурсів сьогодні використовується саме в межах урбанізованих територій – на забезпечення роботи будівель, транспорту та інженерної інфраструктури. За таких умов виникає потреба переосмислити традиційні підходи до управління територіальним розвитком та запровадити рішення, спрямовані на формування енергоефективного і стійкого міського середовища. Архітектурно-містобудівні рішення відіграють ключову роль у процесі підвищення енергоефективності, адже саме просторове планування, конструктивні рішення та інженерні системи визначають обсяги енергоспоживання на всіх рівнях – від окремої будівлі до міського району. Інтеграція енергоощадних технологій, оптимізація транспортної інфраструктури, розвиток компактних та змішаних за функцією територій дають змогу не лише зменшити ресурсні витрати, а й створити комфортні умови для проживання населення. Особливого значення набуває використання відновлюваних джерел енергії, впровадження сучасних архітектурних рішень, екосистемних технологій та модернізація застарілої забудови – адже саме ці напрями формують основу сталого розвитку міського середовища [1-4]. У цьому контексті актуальним є комплексний аналіз підходів і принципів, які дозволяють забезпечити раціональне використання ресурсів, скорочення викидів та підвищення енергоефективності як окремих будівель, так і міських систем загалом.

Метою роботи є обґрунтування та аналіз ефективних містобудівних і архітектурних підходів, спрямованих на підвищення енергоефективності будівель та міської інфраструктури. Для досягнення цієї мети передбачено дослідження впливу просторового планування, транспортно-орієнтованих

рішень, сучасних архітектурних технологій, відновлюваних джерел енергії та екологічно орієнтованих систем на формування стійкого й ресурсозберігаючого міського середовища.

Результати дослідження

Сучасні виклики урбанізації, глобальних екологічних змін та зростання енергоспоживання обумовлюють необхідність трансформації підходів до управління територіальним розвитком. Значна частка енергетичних ресурсів витрачається саме у містах – як на функціонування будівель, так і на забезпечення інженерної та транспортної інфраструктури. У цьому контексті архітектурно-містобудівні підходи відіграють ключову роль у формуванні енергоефективного середовища, здатного забезпечити комфортне життя населення при мінімізації негативного впливу на довкілля. Питання підвищення енергоефективності стає пріоритетним напрямом сталого розвитку, оскільки інтеграція енергоощадних технологій та планувальних рішень сприяє раціональному використанню простору, зменшенню викидів та оптимізації ресурсів.

Одним із базових підходів для підвищення енергоефективності будівель та інфраструктури є впровадження принципів компактності та раціональної щільності забудови. Дослідження підтверджують, що компактна міська структура потребує менше енергії для забезпечення інженерними мережами, транспортування та обслуговування [1-3]. Щільні та змішані за функцією райони дозволяють скоротити відстані між житлом, роботою та об'єктами громадського обслуговування, що знижує навантаження на транспортну систему та зменшує витрати енергії. Впровадження цієї концепції передбачає організацію територій таким чином, щоб базові послуги були доступні пішки або на велосипеді [3-4]. Це не лише оптимізує просторову структуру, а й стимулює використання екологічно чистих видів пересування, зменшує кількість приватного транспорту та, відповідно, викиди в атмосферу.

Формування стійкої та енергоефективної транспортної інфраструктури є також одним із визначальних напрямів управління територіальним розвитком, оскільки транспортна система міст є значним споживачем енергоресурсів та джерелом викидів CO_2. Традиційно міські транспортні мережі були орієнтовані на приватні автомобілі, що призвело до перевантаження дорожніх артерій, підвищення рівня шуму та зростання енергоспоживання. Сучасні містобудівні концепції спрямовують увагу на створення екологічно збалансованих транспортних рішень, які дають змогу зменшити залежність міста від автомобільного транспорту та забезпечити ефективне переміщення населення з мінімальними енергетичними витратами. Одним із ключових елементів є розвиток громадського транспорту з низьким або нульовим рівнем викидів. Застосування електробусів, тролейбусів, сучасних трамваїв та електричок дає змогу скоротити витрати енергії, підвищити екологічність перевезень і забезпечити комфортні умови для пасажирів. У контексті планування міст особливої уваги заслуговує концепція транспортно-орієнтованої забудови. Це модель розвитку територій, за якої житлова, ділова та рекреаційна функції формуються навколо високоякісних транспортних коридорів. Вона передбачає підвищену щільність забудови поблизу станцій міського транспорту, розвиток змішаних функцій та зменшення потреби в автомобільних поїздках [5]. Ця концепція створює умови, за яких більшість повсякденних потреб людина може задовольнити в межах пішохідної досяжності, що суттєво знижує енергетичне навантаження на місто та робить транспортну систему більш стійкою. Крім того, енергоефективність транспортної інфраструктури залежить від правильного просторового планування, яке включає оптимізацію вулично-дорожньої мережі, розширення зон з обмеженим рухом автомобілів, а також використання озеленення для покращення мікроклімату транспортних коридорів. Такі рішення зменшують надлишкове використання автомобілів, покращують якість повітря та сприяють формуванню здорового, комфортного і ресурсоефективного середовища.

Якщо ж говорити про будівлі, то ключову роль відіграють архітектурні рішення, спрямовані на скорочення тепловтрат та зменшення споживання енергії. Енергоефективна архітектура передбачає застосування високоефективних теплоізоляційних матеріалів, використання віконних систем із низьким коефіцієнтом теплопередачі, оптимізацію інсоляції та природного освітлення [6]. У практику проектування все активніше впроваджуються «пасивні» методи – використання сонячної енергії, природної вентиляції, теплових буферів і зелених фасадів. Такі рішення дозволяють знизити навантаження на інженерні системи та створити енергоощадний мікроклімат.

Також значна увага приділяється впровадженню відновлюваних джерел енергії в архітектурні об'єкти та міську інфраструктуру. Йдеться про встановлення сонячних панелей, систем геотермального опалення (це інженерні системи, які використовують тепло земних надр для обігріву

будівель, підігріву води або забезпечення частини енергопостачання. В основі роботи таких систем лежить принцип, що вже на глибині кількох метрів температура ґрунту є відносно стабільною протягом року (приблизно +8…+12 °C в Україні), і це тепло можна передавати в будинок через тепловий насос), сонячних колекторів для гарячого водопостачання. У поєднанні з системами накопичення енергії такі технології дозволяють забезпечувати автономність будівель та зменшувати навантаження на міські енергомережі [6].

Окремим напрямом є розвиток екологічно орієнтованої інфраструктури. «Зелені» дахи та фасади виконують не лише декоративну функцію, а й зменшують теплове навантаження на будівлю, покращують мікроклімат, підвищують енергоефективність та знижують споживання ресурсів на кондиціонування. Екосистемні рішення, такі як зелені коридори, парки, водно-зелені системи, створюють умови для циркуляції повітря та покращення загального клімату території. Вони також інтегруються з системами дощової каналізації та використанням дощової води, що сприяє економії водних ресурсів [7-8].

Важливе місце займає енергоефективна реконструкція існуючої забудови, яка становить більшість міського фонду України. Більшість міст України характеризуються значною часткою застарілого житлового фонду, збудованого у 1960–1990-х роках, який не відповідає сучасним вимогам енергоефективності. Такі будівлі мають високі тепловтрати через недостатню теплоізоляцію огороджувальних конструкцій, зношені інженерні мережі, застарілі системи вентиляції та опалення. Енергоефективна модернізація старої забудови включає широкий спектр заходів. Найпоширенішими є утеплення стін, перекриттів і покрівель, заміна вікон на енергоощадні, встановлення сучасних вентиляційних систем із рекуперацією тепла, модернізація систем опалення, впровадження індивідуальних теплових пунктів та автоматизованих систем управління. Процес реновації зазвичай здійснюється поетапно. На першому етапі проводиться енергоаудит, який визначає реальний стан будівлі, обсяги тепловтрат та рекомендації щодо їх усунення. Другий етап включає розроблення проєктної документації, що враховує економічну доцільність, технічні можливості та містобудівні обмеження. Третій етап – безпосереднє впровадження модернізаційних заходів, після чого здійснюється оцінка ефективності та коригування режимів експлуатації [9-10]. Такий підхід забезпечує не лише скорочення споживання енергії, а й подовження терміну експлуатації будівель.

Таблиця 1 демонструє основні підходи та їх вплив на енергоефективність. Таблиця 2 описує технічні засоби для підвищення енергоефективності.

Таблиця 1 – Архітектурно-містобудівні підходи

Підхід	Зміст та вплив на енергоефективність
Компактна забудова	Збільшення щільності міської забудови, скорочення протяжності інженерних мереж, зменшення енергетичних витрат на транспорт і обслуговування територій.
Транспортно-орієнтований розвиток (TOD)	Формування міських районів навколо вузлів масового транспорту, скорочення потреби в приватному автомобільному русі, зниження викидів CO_2 та енергоспоживання.
Модернізація транспортної системи	Використання електробусів, трамваїв та інших екологічних видів транспорту; оптимізація маршрутів; створення зон з обмеженням руху автомобілів.
Енергоефективні архітектурні рішення	Використання високоефективної теплоізоляції, зеленої покрівлі і фасадів, пасивних сонячних методів, енергоефективних віконних систем і раціональної інсоляції будівель.
Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ)	Встановлення сонячних панелей, сонячних колекторів, геотермальних систем, впровадження накопичувачів енергії для автономної роботи будівель.
Екосистемні рішення та зелені інфраструктури	Зелені коридори, парки, водно-зелені системи; покращення мікроклімату, зниження ефекту теплового острова, оптимізація дощового стоку.
Реновація та модернізація застарілої забудови	Теплова модернізація, заміна вікон, утеплення фасадів і покрівель, встановлення вентиляції з рекуперацією, модернізація інженерних мереж, підвищення класу енергоефективності будівель.

Таблиця 2 – Інженерні та планувальні заходи

Категорія	Рішення	Ефект
Планувальні рішення	Поліцентрична структура, оптимізація мереж	Зниження втрат енергії
Інженерні мережі	Реконструкція тепломереж, ІТП	Підвищення стабільності енергопостачання
ВДЕ	Сонячні панелі, геотермальні системи	Зменшення споживання мережевої енергії

Отже, підвищення енергоефективності будівель та інфраструктури є комплексним процесом, який охоплює просторове планування, архітектурне проєктування, розвиток транспорту, використання відновлювальних джерел енергії, цифрові технології та екосистемні рішення. Синергія цих підходів забезпечує формування стійкого, екологічно збалансованого міського середовища, знижує навантаження на природні ресурси та покращує якість життя населення.

Висновки

Підвищення енергоефективності будівель та міської інфраструктури забезпечується комплексом архітектурних, містобудівних і транспортних рішень. Компактна забудова, транспортно-орієнтовані підходи, енергоефективні архітектурні рішення, відновлювані джерела енергії та реновація старих будівель сприяють формуванню стійкого, комфортного та ресурсозберігаючого міського середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. P. Wang et al. Sustainability of compact cities: A review of Inter-Building effect and building energy use. 2021. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221067072100319X
2. Peng Wu, Yisheng Liu. Impact of Urban Form at the Block Scale on Renewable Energy Application and Building Energy Efficiency. 2023. URL: https://www.mdpi.com/2071-1050/15/14/11062
3. Energy Efficiency Strategies in Urban Planning of Cities, (ResearchGate). 2015. URL: https://www.researchgate.net/publication/268573560_Energy_Efficiency_Strategies_in_Urban_Planning_of_Cites
4. J. Yuan et al. Architectural contributions to climate change mitigation in urban residential buildings. 2025. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s43621-025-01791-9
5. Z. Gu. An analysis of architectural and urban planning strategies for energy-efficient cities. 2019. URL: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1252474/FULLTEXT02.pdf
6. Предун К., Войналович В., Гулієв Д. Підвищення енергетичної ефективності та біосферосумісності будівель і споруд в Україні. *Містобудування та територіальне планування*. 2023. №84. С. 263–275. DOI:https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.263-275.
7. Бондаренко О. І. Особливості архітектурного формоутворення енергоефективних багатоповерхових будівель. URL: https://surl.li/adfzbs
8. Neuman, M. The Compact City Fallacy. *Journal of Urban Studies*. 2005. Vol. 42(3). P. 547–563.
9. Tkachenko, T., Tkachenko, O., Voloshkina, O. Prospects of designing small architectural forms using alternative energy sources. *Environmental Safety and Natural Resources*. URL: https://es-journal.in.ua/article/view/228418
10. Smart Cities Solutions – Renewable Energy & Efficiency, URL: https://www.smartcityss.com

Леонтьєва Валерія Павлівна – студентка групи БМ-23б, факультет будівництва та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leontieva.lera1@gmail.com

Бондар Альона Василівна – доцент кафедри Будівництва, міського господарства та архітектури,Вінницький національний технічний університет, email: bondarav@vntu.edu.ua

Leontieva Valeriia – student of the BM-23b group, Faculty of Construction and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: leontieva.lera1@gmail.com

Bondar Alena – Associate Professor of the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, email: bondarav@vntu.edu.ua

УДК 69.059.5

В. П. Леонтьєва
В. П. Очеретний

ВИКОРИСТАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ У СУЧАСНІЙ АРХІТЕКТУРІ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У роботі розглянуто основні напрями застосування екологічних та біокліматичних матеріалів у сучасній архітектурі. Проаналізовано принципи сталого будівництва, зокрема використання природної інсоляції, вентиляції, зелених дахів і вертикальних садів, що сприяють зниженню енергоспоживання та поліпшенню мікроклімату будівель. Особливу увагу приділено українській технології «Еконіко», яка базується на принципах біокліматичної архітектури та демонструє поєднання інноваційних інженерних рішень з екологічною ефективністю. Робота підтверджує, що використання екологічних матеріалів є перспективним напрямом розвитку сучасної архітектури та важливим кроком до формування гармонійного середовища для людини і природи.

Ключові слова: екологічні матеріали, біокліматична архітектура, сталий розвиток, енергоефективність, природна вентиляція, інсоляція, зелені дахи, вертикальні сади, технологія «Еконіко», нульові викиди, вуглецево-нейтральне будівництво, локальні матеріали, екологічне будівництво, комфортний мікроклімат, сучасна архітектура.

Abstract

The work examines the main directions of using ecological and bioclimatic materials in contemporary architecture. The principles of sustainable construction are analyzed, including the use of natural insolation, ventilation, green roofs, and vertical gardens, which contribute to reducing energy consumption and improving the indoor microclimate of buildings. Special attention is given to the Ukrainian technology “Econiko”, which is based on the principles of bioclimatic architecture and demonstrates the combination of innovative engineering solutions with ecological efficiency. The study confirms that the use of ecological materials is a promising direction in the development of modern architecture and an important step toward creating a harmonious environment for both people and nature.

Keywords: ecological materials, bioclimatic architecture, sustainable development, energy efficiency, natural ventilation, insolation, green roofs, vertical gardens, Econico technology, zero emissions, carbon-neutral construction, local materials, ecological construction, comfortable microclimate, modern architecture

Вступ

Сучасна архітектура переживає період глибоких змін, спричинених глобальними екологічними викликами, енергетичною кризою та зростанням усвідомлення необхідності сталого розвитку. З кожним роком усе більше архітекторів і будівельників прагнуть створювати будівлі, які не лише задовольняють функціональні та естетичні потреби людини, а й мінімізують негативний вплив на довкілля. У цьому контексті ключову роль відіграє використання екологічних та біокліматичних матеріалів, що сприяють формуванню здорового мікроклімату, енергоефективності та гармонійного поєднання архітектури з природним середовищем.

Метою роботи є дослідження особливостей використання екологічних та біокліматичних матеріалів у сучасній архітектурі, а також аналіз практичного застосування інноваційних технологій сталого будівництва, зокрема української технології «Еконіко», як прикладу поєднання енергоефективності, екологічної безпеки та гармонійної інтеграції архітектури з природним середовищем.

Результати дослідження

Будівельна галузь негативно впливає на довкілля через споживання ресурсів, викиди CO_2 та утворення відходів, тому сталий розвиток є життєво необхідним для зменшення цього впливу. Стале будівництво передбачає використання енергоефективних матеріалів, зниження викидів, утилізацію відходів та підтримку біорізноманіття. Це дозволяє мінімізувати шкоду довкіллю, зберегти ресурси та створити здоровіші умови для людей.

Екологічні матеріали для будівництва - це матеріали, які створюються або використовуються з мінімальним негативним впливом на довкілля. Вони мають такі характеристики, як енергоефективність, стійкість до переробки, зниження викидів забруднюючих речовин та ефективне використання природних ресурсів. Їхня важливість полягає в тому, що вони допомагають зменшити шкоду природі, зберегти ресурси та покращити якість внутрішнього повітря в будинках. Найпоширенішими прикладами екологічних матеріалів є:

1) Натуральна деревина — заслужений за усіма показниками лідер серед еко-матеріалів. В інтер'єрі використовуються масивні дошки, брус, шпон, відновлене дерево (наприклад, з демонтажу старих будівель). Дерево чудово регулює вологість.
2) Бамбук. Ця рослина відрізняється неймовірно швидким ростом, тому вважається відновлюваним ресурсом. Бамбук застосовують у підлогах, стінах, меблях, ролетах. Незважаючи на легкість та пористість, деякі види бамбуку мають міцність практично як у металу.
3) Глина та саман. Відомі з давніх давен, ці традиційні матеріали повертаються до сучасного дизайну. Глиняна штукатурка та плитка мають властивість поглинати надлишок вологи у приміщенні, а також прекрасно зберігають тепло.
4) Льон, вовна, коноплі. Ці текстильні матеріали є абсолютно безпечними, володіють гіпоалергенними властивостями та легко переробляються. Такі натуральні волокна використовують в утеплювачах та навіть у панелях для стін.
5) Корок. Отримується без шкоди для дерева, має хорошу звукоізоляцію, приємний на дотик. Його використовують для покриття стін та підлоги.

Промисловість не стоїть на місці, тож на сьогодні ми маємо все більше різноманіття інноваційних екологічних матеріалів із покращеними властивостями:

1) Mycelium (грибниця) — матеріал з грибів, що активно застосовується у виготовленні світильників, декоративних панелей.
2) Bioplastics (біопластик) — біологічний пластик на основі кукурудзи або цукрової тростини, що використовуються у декорі та предметах побуту.
3) Recycled PET — перероблений пластик, з якого виробляють тканини для меблів, панелі.

Переваги використання еко-матеріалів:

1) Природна естетика. Натуральні матеріали мають унікальну текстуру і колір. Вони додають інтер’єру затишку, гармонії та відчуття зв’язку з природою.
2) Довговічність. Багато еко-матеріалів (наприклад, дуб, бамбук, натуральний камінь) дуже міцні й служать десятки років, зберігаючи свій привабливий вигляд.
3) Легкість у догляді. Натуральні поверхні добре очищаються й не потребують агресивної хімії, що знову ж таки позитивно впливає на здоров’я.
4) Мінімальна шкода для довкілля та безпечність для здоров’я.

Досить новим терміном у сучасній архітектурі є “біокліматична архітектура”. Біокліматична архітектура — це концепція, яка передбачає гармонійне поєднання будівель з навколишнім середовищем. Її завдання — використовувати природні ресурси (світло, тепло, вітер, воду) для забезпечення комфортного мікроклімату всередині будівлі з мінімальними витратами енергії. Це не лише знижує витрати на обслуговування будівель, але й позитивно впливає на довкілля, оскільки зменшує викиди CO_2. Таким чином, біокліматична архітектура об’єднує технології, що підвищують енергоефективність будинків, з естетикою та природними матеріалами.

Основні принципи біокліматичної архітектури спрямовані на забезпечення оптимального використання енергії та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Ключові моменти включають:

1) Орієнтація будівлі. Планування розташування приміщень відповідно до сонячного світла та тіней, що дозволяє зберігати тепло взимку і знижувати нагрівання влітку.

2) Інсоляція і вентиляція. Розробка природної системи вентиляції та освітлення, що дозволяє використовувати природні джерела світла та повітря.
3) Використання біокліматичних матеріалів. Будівництво з натуральних, екологічних та енергоефективних матеріалів, які сприяють створенню комфортного мікроклімату в будинку.
4) Зелені дахи і вертикальні сади. Включення природних зелених елементів для зменшення нагрівання, підвищення вологості та поліпшення загального вигляду будівлі.
5) Біокліматичні матеріали**.**

В Україні була розроблена технологія «Еконіко», яка є прикладом біокліматичної архітектури в сучасній Україні та набуває широкого розповсюдження в сучасному світі. Компанія «Еконіко» застосовує унікальні підходи біокліматичної архітектури, які поєднують сучасні інженерні рішення з екологічною ефективністю. Біокліматичне будівництво від «Еконіко» засноване на використанні біокліматичних матеріалів та принципах сталого розвитку, що дозволяє будувати об'єкти з низьким рівнем викидів, мінімальним впливом на довкілля та збереженням енергії.

Основні принципи технології «Еконіко»:

1) Нульові викиди. Об'єкти будуються із мінімальним викидом вуглецю, що сприяє збереженню екологічного балансу та зменшенню впливу на клімат.
2) Вуглецево-нейтральне будівництво. «Еконіко» використовує біокліматичні матеріали, такі як деревина та солома, які не тільки сприяють природному регулюванню тепла, але й є вуглецево-негативними. Це дозволяє не лише зменшувати викиди CO_2, а й утримувати його в матеріалах будівлі.
3) Енергоефективність будинків. Всі біокліматичні проекти компанії проектуються з урахуванням енергозберігаючих технологій, що дозволяє знизити споживання електроенергії для обігріву та кондиціонування до 75% порівняно з традиційними матеріалами.
4) Локальні матеріали. «Еконіко» активно використовує сировину місцевого походження, що сприяє підтримці економіки регіону та зменшує витрати на транспортування.
5) Економія води. При зведенні будинків з біокліматичних панелей використовується значно менше води. Наприклад, будівництво будівлі площею 100 м² з панелей «Еконіко» потребує у 10 разів менше води, ніж аналогічні об'єкти з бетонних конструкцій.

Застосування біокліматичної архітектури в житлових і комерційних будинках. Сьогодні житлові будинки біокліматичної архітектури мають популярність серед тих, хто прагне жити в гармонії з природою, не жертвуючи комфортом. Такі будинки забезпечують зниження витрат на енергію та створення природного мікроклімату, що підвищує якість життя мешканців.

Висновки

З урахуванням глобальних змін клімату та посилення регулювання щодо викидів CO_2, екологічна архітектура стає не просто трендом, а необхідністю. Біокліматичні проекти обіцяють енергоефективність, комфорт та довговічність. Таким чином, біокліматична архітектура та використання екологічних маьеріалів у сучасній архітектурі — це не тільки рішення для сучасного будівництва, але й значущий внесок у збереження планети для наступних поколінь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Екологічний дизайн: нові тренди у світі архітектури, https://premera-veka.kherson.ua/ekologichnyj-dyzajn-novi-trendy-u-sviti-arhitektury/
2. Еко-матеріали в дизайні інтер'єру: стиль та стійкість, https://www.martins.com.ua/ua/news/eco-materials-in-interior-design-style-and-sustainability
3. Сучасні еко-матеріали в дизайні інтер'єру, https://roomy.in.ua/suchasni-eko-materialy-v-dyzaini-interieru/
4. Інноваційні матеріали в архітектурі: Розсуваючи межі дизайну, https://poltava.to/news/73573/
5. Біокліматична архітектура: Чому це майбутнє будівництва?, https://econiko.com.ua/bioklimatychna-arhitektura-chomu-cze-majbutnye-budivnycztva/
6. Transforming the Built Environment: Solutions for Regenerative Building, https://living-future.eu/solutions/regenerative-buildings/
7. Ecological Materials: Towards a New Economy, https://www.archdaily.com/990192/ecological-materials-

towards-a-new-economy
8. Emerging trends in sustainable building materials: Technological innovations, enhanced performance, and future directions, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123024017729

Леонтьєва Валерія Павлівна — студентка групи БМ-23б, факультет будівництва та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leontieva.lera1@gmail.com

Очеретний Володимир Петрович — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва , міського господарства та архітектури , Вінницький національний технічний університет, email: ocheretny@vntu.edu.ua

Leontieva Valeriia Pavlivna - student of the BM-23b group, Faculty of Construction and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: leontieva.lera1@gmail.com

Ocheretnyy Volodymyr Petrovich – PhD, Associate Professor of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, e-mail: ocheretny@vntu.edu.ua

УДК 711.4:725.57

О. Л. Жадан
Л. В. Кучеренко

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО БЛАГОУСТРОЮ ДИТЯЧИХ МАЙДАНЧИКІВ ПІДВИЩЕНОЇ КОМФОРТНОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто принципи системного підходу до благоустрою дитячих майданчиків підвищеної комфортності в умовах сучасного міського середовища. Проведено аналіз територіальних, екологічних та ергономічних чинників, що визначають якість організації рекреаційного простору для дітей різних вікових груп. Запропоновано структурну модель проектування, що включає аналіз території, функціональне зонування, екологічні вимоги та ергономічні показники, інтегровані у єдину схему формування безпечного, інклюзивного та комфортного простору. Розроблено узагальнену схему зонування дитячого майданчика, у якій виділено ігрові, сенсорні, спокійні, озеленені та батьківські зони. Наведено рекомендації щодо добору матеріалів та організації тіні, що забезпечують відповідність сучасним вимогам безбар'єрності, екологічності та безпеки.

Ключові слова: благоустрій, дитячий майданчик, системний підхід, комфортність, інклюзивність, мікроклімат, озеленення, універсальний дизайн.

Abstracts

The study examines the principles of a systematic approach to the improvement of high-comfort children's playgrounds within the contemporary urban environment. The research analyzes territorial, ecological, and ergonomic factors that determine the quality of recreational space design for children of different age groups. A structural model of playground development is proposed, incorporating territory analysis, functional zoning, ecological requirements, and ergonomic indicators into an integrated framework aimed at forming a safe, inclusive, and comfortable environment. A generalized playground zoning scheme is presented, including play, sensory, quiet, landscaped, and parent observation zones. Recommendations are provided regarding the selection of materials and shading solutions to ensure compliance with modern standards of accessibility, environmental sustainability, and safety.

Key words: landscaping, playground, systemic approach, comfort, inclusivity, microclimate, landscaping, universal design.

Вступ

Благоустрій дитячих майданчиків підвищеної комфортності є важливим елементом формування якісного міського середовища. За умов інтенсивної урбанізації, зростання щільності забудови та підвищення вимог до безпеки й доступності громадських просторів, виникає потреба у впровадженні системного підходу до проектування таких територій [1-3]. Дитячі майданчики мають виконувати не лише рекреаційну функцію, але й забезпечувати фізичний, когнітивний, сенсорний та соціальний розвиток дітей різних вікових груп.

Системний підхід дозволяє розглядати благоустрій майданчика як складну багатокомпонентну структуру, у якій взаємодіють аналіз території, функціональне зонування, екологічні та ергономічні вимоги [4-5].

Основна частина

В основі системного підходу лежить поетапний аналіз простору, який включає вивчення рельєфу, інсоляції, рівня шуму, вітрових навантажень і наявності зелених насаджень. На основі цього формується базова структурна модель, що складається з чотирьох ключових блоків: аналіз території, функціональне зонування, екологічні вимоги та ергономічні показники (див. рис. 1). Узагальнена структурна модель представлена на рисунку 1. Її застосування сприяє розробці комплексних проектних рішень, адаптованих до місцевих умов і потреб користувачів

На першому етапі відбувається аналіз території, який дозволяє визначити потенційні небезпеки, зони надмірної інсоляції чи затінення, а також напрямки руху дітей та батьків. Ці параметри є основою для подальшого планування.

На першому етапі відбувається аналіз території, який дозволяє визначити потенційні небезпеки, зони надмірної інсоляції чи затінення, а також напрямки руху дітей та батьків. Ці параметри є основою для подальшого планування.

Другий етап – функціональне зонування, що потребує поділу майданчика на окремі логічні блоки відповідно до віку дітей і типів активностей. Зазвичай виділяють ігрові зони, спортивні майданчики, сенсорні ділянки та простір для спокійного відпочинку.



Рисунок 1 – Структурна модель системного підходу до благоустрою дитячих майданчиків

Екологічні вимоги, як третій структурний блок, охоплюють використання безпечних, сертифікованих матеріалів, організацію тіні, озеленення та мікрокліматичного комфорту. Типові матеріали та їх властивості наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Рекомендовані матеріали для благоустрою дитячого майданчика

Елемент	Матеріали	Переваги
Покриття	EPDM-каучук, тріска, пісок	Безпечність, амортизація
Ігрові елементи	Деревина модрини, метал з полімерним покриттям, HDPE	Довговічність, екологічність
Навіси	Перголи, тентові конструкції	Захист від сонця, формування тіні
Огородження	Дерево, композити	Висока безпека, естетика

Фінальним елементом системи є ергономічні показники – ті, що забезпечують безбар'єрність, доступність та комфорт для всіх груп користувачів, включаючи дітей з інклюзивними потребами.

Усі ці параметри у взаємодії визначають рівень комфортності, безпеки та інклюзії майданчика – кінцевий результат системного підходу (табл. 2).

Таблиця 2 – Основні критерії комфортності дитячих майданчиків

№	Критерій	Зміст критерію	Вимоги та орієнтири
1	Безпечність	Сертифіковані покриття, амортизація, відсутність травмонебезпечних елементів	ДСТУ EN 1177, висота падіння 1,5–2,5 м
2	Інклюзивність	Доступність для дітей з ООП, тактильні та сенсорні елементи	Рампа ≤ 8 %, тактильні смуги, інклюзивні гойдалки
3	Мікроклімат	Тінь, озеленення, вітрозахист	Дерева, перголи, тентовані навіси
4	Ергономіка простору	Чіткі зони за віком, оглядовість, логічні маршрути	Поділ на 0–3, 3–6, 6–12 років
5	Матеріали	Екологічність, стійкість до зношування	Дерево, композити, каучук, антиграфіті
6	Соціальний комфорт	Місця для батьків, освітлення, камерність	Лави, урни, Wi-Fi, LED-

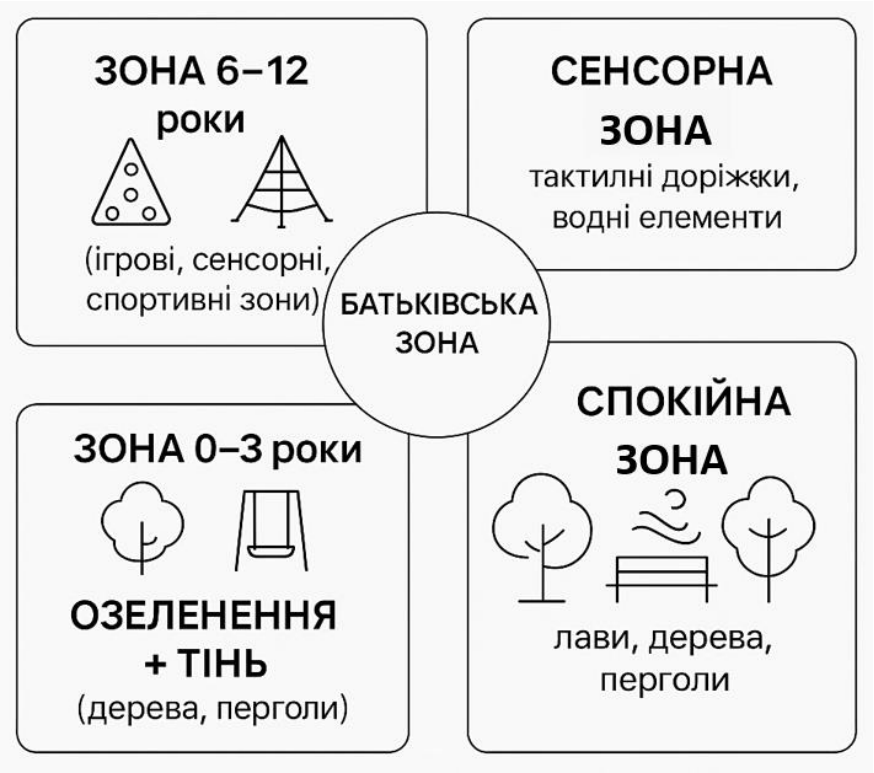


Рисунок 2 – Зонування дитячих майданчиків

Зонування дитячих майданчиків підвищеної комфортності має бути виконане відповідно до вікових і психологічних особливостей дітей [6-9]. На рисунку 2 наведено рекомендовану схему зонування території з виокремленням зон 0–3 та 6–12 років, сенсорної, спокійної та батьківської зон, а також елементів озеленення і тіні:

1. Зона для дітей віком 0–3 роки – включає м’які покриття, невисокі гойдалки, тактильні елементи, пісочниці. У цій зоні важлива видимість для батьків та відсутність потенційних травмонебезпечних елементів.

2. Зона для дітей віком 6–12 років – характеризується складнішими іграми: канатними комплексами, скелелазними конструкціями, каруселями. Зона потребує сертифікованих амортизуючих покриттів згідно з нормативами.

3. Сенсорна зона – включає доріжки з різними фактурами, водні елементи, інтерактивні інструменти. Має значний розвивальний потенціал для дітей.

4. Спокійна зона – призначена для релаксації, тихих занять, читання. Оформлюється за допомогою зелених насаджень і пергол.

5. Батьківська зона – передбачає комфортне перебування дорослих: лави, тінь, можливість спостереження за всіма ігровими зонами.

6. Озеленення та тінь – це структурний елемент мікрокліматичного комфорту, що знижує температуру покриття та покращує психологічне сприйняття простору.

Висновки

Системний підхід до організації дитячих майданчиків дозволяє комплексно оцінювати територію, враховуючи рельєф, інсоляцію, шум, вітровий режим та наявність зелених насаджень. Це забезпечує обґрунтованість проектних рішень та їх адаптацію до місцевих умов.

Функціональне зонування є ключовим етапом формування комфортного середовища. Поділ простору на зони 0–3 та 6–12 років, сенсорну, спокійну, батьківську та озеленену зони підвищує безпечність і сприяє фізичному та психоемоційному розвитку дітей.

Екологічні вимоги охоплюють застосування сертифікованих безпечних покриттів, організацію достатньої тіні, правильний добір матеріалів та покриттів. Використання дерев, пергол і м’яких екологічних покриттів забезпечує сприятливий мікроклімат і зменшує ризики перегрівання.

Ергономічні показники, зокрема безбар'єрність та врахування вікових особливостей дітей, є визначальними для формування інклюзивного простору. Доступність усіх зон для дітей з обмеженими можливостями є невід'ємною вимогою сучасного благоустрою.

Візуалізовані схеми (рис. 1 і рис. 2) демонструють оптимальну структуру дитячих майданчиків, яка забезпечує комфортність, безпеку та інклюзію, що відповідає сучасним стандартам міського середовища.

Запропоновані принципи можуть застосовуватися у проектуванні дитячих майданчиків у житлових районах, навчальних закладах, парках та рекреаційних зонах, становлячи основу для подальшого розвитку комфортного та екологічного міського простору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН 2.2-12:2019. Планування і забудова територій. [Чинний від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 185 с.

2. ДБН Б.2.2-5:2011. Благоустрій територій. [Чинний від 2012-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. 64 с.

3. ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. [Чинний від 01.04.2019]. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. 68 с.

4. Ковальська О.Є. Дитячі ігрові простори в умовах щільної міської забудови. *Архітектурний вісник КНУБА.* Київ: КНУБА. 2019. № 17-18. С. 367-372.

5. Пилипенко Б.М., Симонова І.М., Симонов С.І., Григор'єва А.Г. Основні принципи проєктування дитячих майданчиків. *Збірник наукових праць Донбаського державного технічного університету.* Лисичанськ, 2018. Вип. 1 (47). С. 81-90.

6. Оленіна О.Ю., Осиченко Г.О. Організація дитячих ігрових просторів у сучасному місті. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування.* 2017. Вип. 47. С. 148-156. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Spam_2017_47_23

7. Олешко О.П., Петровська Ю.Р. Організація предметно-просторового середовища пришкільних територій. *Містобудування та територіальне планування.* Київ: КНУБА. 2020. № 72. С. 214-222.

8. Шкляр С.П., Романенко І.І. Принципи формування і удосконалення архітектурного середовища для дітей. Містобудування та територіальне планування. 2017. Вип. 63. С. 499-508.

9. Які елементи мають бути обов'язково на сучасних дитячих майданчиках? URL: https://ukrkompozit.com.ua/poleznaya-informaciya/yaki-elementi-mayut-buti-obovyazkovo-na-suchasnih-dityachih-majdanchikah/

Жадан Олександр Леонідович – студент групи БМ-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Кучеренко Лілія Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kucherenko@vntu.edu.ua

Zhadan Oleksandr – student of group BM-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Kucherenko Liliya – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kucherenko@vntu.edu.ua

УДК 624.042:351.788.1

ШВЕЦЬ В.В.

ЛЮБИЧ В.В.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНОЇ ВІЙНИ В УКРАЇНІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У сучасних умовах війни в Україні особлива увага приділяється розвитку систем цивільного захисту та їх енергоефективності. Забезпечення безпечного перебування населення у захисних спорудах, таких як укриття, бомбосховища та укріплені приміщення, залежить від правильного проєктування, використання сучасних теплоізоляційних матеріалів та енергозберігаючих технологій. У статті розглядаються сучасні підходи до підвищення енергоефективності споруд цивільного захисту, аналізується вплив енергозбереження на забезпечення стійкості та автономності об'єктів у кризових умовах, а також наведено рекомендації щодо інтеграції енергоефективних рішень у нове будівництво та модернізацію наявних споруд.

Ключові слова: *цивільний захист, енергоефективність, укриття, тепловий комфорт, енергозбереження, сучасна війна.*

Abstract:

In the current context of war in Ukraine, special attention is paid to the development of civil protection systems and their energy efficiency. Ensuring the safe stay of the population in protective structures, such as shelters, bomb shelters, and reinforced rooms, depends on proper design, the use of modern thermal insulation materials, and energy-saving technologies. This article explores modern approaches to improving the energy efficiency of civil protection facilities, analyzes the impact of energy saving on the resilience and autonomy of objects in crisis conditions, and provides recommendations for integrating energy-efficient solutions into new construction and modernization of existing facilities.

Keywords: *civil protection, energy efficiency, shelter, thermal comfort, energy saving, modern war.*

Вступ

Сучасна війна в Україні демонструє критичну необхідність забезпечення цивільного населення захисними спорудами, що здатні витримувати зовнішні загрози та забезпечувати базові потреби людей у довготривалих умовах. Одним із ключових аспектів ефективності таких споруд є енергоефективність, яка визначає здатність об'єкта мінімізувати втрати тепла, зменшувати енергоспоживання та підвищувати автономність. [1, 2]

Енергоефективність споруд цивільного захисту включає комплекс заходів: оптимальне планування простору, використання сучасних ізоляційних матеріалів, систем вентиляції з рекуперацією тепла та альтернативних джерел енергії. Підвищення енергоефективності не лише зменшує експлуатаційні витрати, а й підвищує стійкість населення до критичних ситуацій. [3]

Основна частина

Особливості сучасних споруд цивільного захисту

Споруди цивільного захисту мають відповідати вимогам міцності, герметичності та забезпечувати стабільний мікроклімат. За оцінками українських дослідників, до 60% загального енергоспоживання укриттів припадає на опалення та вентиляцію у зимовий період, що значно перевищує показники житлових будівель (у середньому 35–40%). [2, 4]

У практиці експлуатації укриттів у прифронтових регіонах у 2022–2024 рр. встановлено, що фактична температура в неопалюваних підвальних укриттях у зимовий період може знижуватися до +6…+10 °С, що є нижчим за комфортний рівень для тривалого перебування населення. [6]

Наприклад: У Київській та Харківській областях у рамках проєкту з модернізації укриттів (2023 р.) застосування 100-мм шару мінеральної вати дозволило зменшити тепловтрати стін на 32–40%, що підтверджено теплотехнічними вимірюваннями місцевих органів цивільного захисту. [7]

Основні критерії енергоефективності залишаються такими:

- низький коефіцієнт теплопровідності огороджувальних конструкцій;
- підвищена герметичність;
- використання матеріалів нового покоління (аерогель, ППУ із коефіцієнтом λ=0,020–0,028 Вт/м·К);
- впровадження автономних систем живлення, здатних забезпечити 12–48 годин роботи без зовнішніх джерел. [3, 5]

Методи підвищення енергоефективності

1. Теплоізоляція та герметизація—У спорудах цивільного захисту в Чернігівській області після модернізації (2023 р.) застосування багатошарових каркасних панелей із ППУ забезпечило скорочення енергоспоживання системи опалення на 27%. [7]
2. Вентиляція з рекуперацією тепла—згідно з дослідженнями Сидоренка В. А., рекуперaційні модулі з ККД 65–75% дозволяють повернути до 50% тепла, яке втрачається під час вентиляції укриття. [4]

Практичний приклад:У м. Дніпро встановлення малогабаритних рекуператорів (продуктивність 100–150 м³/год) у 14 укриттях дозволило знизити витрати на опалення на 18–22%. [8]

3. Відновлювані джерела енергії.

   • Використання сонячних панелей потужністю 1,5–3,0 кВт забезпечує роботу освітлення та вентиляторів протягом 10–14 годин.

   • Вітрогенератори малої потужності (400–800 Вт) застосовуються у громадах Миколаївської області для забезпечення аварійного живлення систем зв’язку в укриттях. [5]

4. Модульні енергоефективні укриття. З 2023 року в Україні впроваджуються модульні мобільні споруди з SIP-панелей, що мають теплопровідність 0,018–0,022 Вт/м·К. Практика показує, що час нагрівання такого укриття до +15 °С зовнішнього повітря при -5 °С зменшується на 45% у порівнянні з традиційним залізобетонним укриттям. [9]

Вплив війни на потребу в енергоефективних спорудах

Воєнні дії продемонстрували, що споруди цивільного захисту мають бути здатними функціонувати автономно та забезпечувати належні умови перебування навіть у разі повного відключення інженерних мереж. Під час масованих ракетних та дронових атак у 2022–2023 рр. до 40% укриттів у Києві, Харкові та Одесі тимчасово залишалися без електропостачання**,** що суттєво впливало на можливість підтримувати температуру, вентиляцію та освітлення. [6]

Додатково встановлено, що у зимовий період температура в багатьох неопалюваних підземних укриттях опускалася до +6…+10 °C, що є нижче санітарно допустимих норм для тривалого перебування. Це підвищило потребу у теплоізоляційних рішеннях та резервних джерелах енергії. Дані досліджень 2023 р. свідчать, що понад 58% перевірених укриттів не обладнані стаціонарними системами опалення**, а** 73% не мають систем примусової вентиляції. [6, 10]

У регіонах із високою інтенсивністю артилерійських обстрілів (Донецька, Херсонська, Запорізька області) тривалість перебування населення в укриттях може досягати 4–10 годин на добу, а в окремі дні — навіть більше. Це вимагає:

- стабільності мікрокліматичних параметрів;
- зниження енергоспоживання систем життєзабезпечення;
- доступності аварійного освітлення та зв’язку;
- здатності укриття підтримувати життєво важливі параметри без зовнішніх ресурсів. [6, 8]

Практичний приклад: У Херсонській області у 2024 р. впроваджено комбіновані системи енергозабезпечення (сонячні панелі 3–5 кВт + акумуляторні батареї 10–15 кВт·год + дизельний генератор резервного призначення). Це дозволило забезпечити 96 годин безперервної автономної роботи укриттів із підтриманням температури +15…+18 °C та функціонуванням систем вентиляції у режимі 0,5–1 повітрообміну/год. [9]

Додаткові дані:

- У 2023 р. у межах державної програми модернізації укриттів понад 320 об’єктів отримали утеплені огороджувальні конструкції, що дозволило зменшити витрати енергії на 25–30% уже в перший сезон експлуатації. [7]
- У громадах Миколаївської області встановлення автономних інверторних систем живлення для вентиляції зменшило кількість випадків перевищення рівня CO_2 понад 2000 ppm на **40%**, що позитивно вплинуло на самопочуття людей під час тривалого перебування в укриттях. [11]
- Застосування LED-освітлення з низьким енергоспоживанням (5–12 Вт/прилад) дозволило знизити навантаження на автономні системи живлення на 15–18%**,** збільшуючи тривалість роботи без підзарядки. [10]

Таким чином, сучасні умови війни суттєво підсилюють вимоги до автономності, енергоефективності та оптимальності мікроклімату укриттів. Енергоефективність стає не лише інженерною чи економічною характеристикою, **а** критичною умовою забезпечення життєздатності цивільного населення у кризових ситуаціях**.**

Висновки

1. Енергоефективність споруд цивільного захисту є ключовим фактором їхньої стійкості та автономності у кризових умовах.
2. Використання сучасних теплоізоляційних матеріалів та систем рекуперації тепла дозволяє значно зменшити енергоспоживання та підвищити комфорт перебування.

3. Автономні джерела енергії та відновлювані ресурси забезпечують безперервність функціонування укриттів навіть у випадку руйнування централізованих мереж.
4. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку комплексних методів енергоефективного проєктування та модернізації споруд цивільного захисту в умовах сучасної війни в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грицай, І. В. Енергоефективність будівель в умовах воєнного конфлікту / І. В. Грицай. – Київ: Будівельник, 2022. – 245 с.
2. Петренко, О. С. Сучасні споруди цивільного захисту: проектування та експлуатація / О. С. Петренко. – Харків: ХНУБА, 2021. – 198 с.
3. Коваль, М. П. Теплоізоляційні матеріали та енергозбереження / М. П. Коваль. – Львів: СПОЛОМ, 2020. – 212 с.
4. Сидоренко, В. А. Вентиляційні системи та енергоефективність укриттів / В. А. Сидоренко. – Київ: Наукова думка, 2022. – 168 с.
5. Бондар, Л. І. Альтернативні джерела енергії в цивільних спорудах / Л. І. Бондар. – Одеса: ОНУ, 2019. – 190 с.
6. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Аналітичний звіт щодо стану укриттів у регіонах України за 2022–2023 рр. – Київ: ДСНС, 2023. – 54 с.
7. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. Звіт про модернізацію споруд цивільного захисту у 2023 році. – Київ, 2024. – 37 с.
8. Іванов, С. М. Практика впровадження систем рекуперації в спорудах цивільного захисту / С. М. Іванов // Інженерія та безпека. – 2023. – №4. – С. 44–52.
9. European Civil Protection Review. Energy-Efficient Modular Shelters in Conflict Zones. – Brussels, 2023. – 62 p.
10. Аналітичний центр «ЕнергоБезпека». Оцінка стану систем життєзабезпечення укриттів в Україні у 2023 році. – Київ, 2023. – 48 с.
11. Міжнародна організація з міцності громад (Resilient Cities Network). Звіт про автономні енергосистеми укриттів в умовах надзвичайних ситуацій. – Женева, 2024. – 72 p.

Швець Віталій Вікторович – к.т.н., доцент, завідувач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua. ORCID:0000-0002-2748-3685

Любич Володимир Володимирович – викладач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Shvets Vitaliy V. – Ph.D., associate professor of urban planning and architecture,Vinnytsia National Technical University. E-mail: v.shvets@vntu.edu.ua. ORCID: 0000-0002-2748-3685

Lyubich Volodymyr Volodymyrovych – lecturer at the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

УДК 691.5:728.84

А. Г. Антонюк
В. П. Очеретний

ДЕКОРАТИВНІ ПАНЕЛІ ЯК ЕЛЕМЕНТ СУЧАСНОГО ДИЗАЙНУ ІНТЕР'ЄРУ

[1] Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У тезі розглянуто декоративні панелі як важливий елемент сучасного дизайну інтер'єру, що поєднує естетичні, конструктивні та технологічні властивості. Визначено основні матеріали, технології виготовлення, класифікацію та функціональне призначення декоративних панелей. Проаналізовано тенденції застосування новітніх технологій та екологічних матеріалів. Показано роль декоративних панелей у формуванні гармонійного архітектурного середовища. Зроблено висновок про актуальність використання панельних систем для створення функціонально насиченого, енергоефективного та естетичного простору.

Ключові слова: декоративні панелі, дизайн інтер'єру, матеріали, технології, естетика, функціональність, екологічність.

Abstract

The thesis considers decorative panels as an important element of modern interior design, combining aesthetic, structural, and technological properties. The main materials, manufacturing technologies, classification, and functional purpose of decorative panels are determined. The trends in the use of the latest technologies and environmentally friendly materials are analyzed. The role of decorative panels in creating a harmonious architectural environment is demonstrated. A conclusion is made about the relevance of using panel systems to create a functionally rich, energy-efficient, and aesthetic space.

Keywords: decorative panels, interior design, materials, technologies, aesthetics, functionality, environmental friendliness.

Вступ

Сучасний дизайн інтер'єру орієнтований на поєднання функціональності, естетики та технологічної інноваційності. У зв'язку з розвитком будівельної індустрії та появою нових матеріалів підвищилися вимоги до якості оздоблення приміщень. Декоративні панелі стали універсальним рішенням, що дозволяє одночасно вирішувати питання художнього оформлення, звуко- і теплоізоляції, захисту стін від механічних пошкоджень і приховування інженерних комунікацій [1].

Інтерес до панельних систем зумовлений не лише їхньою естетичною виразністю, але й техніко-економічною доцільністю — простотою монтажу, невеликими витратами часу на встановлення та легкістю заміни пошкоджених елементів [2]. У практиці сучасного дизайну панелі використовуються для зонування простору, створення акцентних стін, гармонізації колірних рішень і підкреслення стилістики приміщення [3].

Крім художнього значення, декоративні панелі мають конструктивно-технічне навантаження. Використання МДФ, ДСП, гіпсових, металевих, скляних і полімерних панелей дозволяє створювати інтер'єри з високим рівнем функціональності й енергоефективності [4]. В умовах урбанізації та зростання ролі екологічного дизайну актуальним є застосування матеріалів природного походження — бамбуку, пробки, льону, очерету, а також вторинно перероблених композитів [5].

Таким чином, актуальність теми полягає у необхідності системного аналізу властивостей, класифікації та способів використання декоративних панелей у сучасному архітектурному просторі, що враховує як технічні, так і естетичні параметри [6].

Результати дослідження

Декоративні панелі пройшли тривалий історичний шлях розвитку — від різьблених дерев'яних щитів античності до високотехнологічних композитних матеріалів сучасності [8]. У давніх інтер'єрах панелі виконували не лише естетичну, а й конструктивну функцію, захищаючи стіни від холоду та вологи. У добу класицизму вони набули мистецької виразності завдяки інкрустації, позолоті та складним орнаментам [9].

Сучасне виробництво панелей базується на поєднанні природних і штучних матеріалів. Найбільш поширеними є дерев'яні панелі — шпоновані, ламіновані та масивні, які зберігають природну текстуру та тепло матеріалу [10]. Гіпсові панелі дозволяють створювати рельєфні поверхні, імітуючи природний камінь або штукатурку. Полімерні панелі (ПВХ, поліуретанові) відзначаються вологостійкістю, легкістю та простотою монтажу [11]. Композитні панелі (алюмінієві сендвіч-панелі, полімерно-металеві системи) поєднують міцність, довговічність і декоративність [12].

Велика увага приділяється технологічним методам обробки: фрезерування з ЧПУ дає змогу створювати складні геометричні орнаменти; лазерне гравіювання забезпечує точність малюнка; УФ-друк дозволяє наносити зображення безпосередньо на поверхню панелі; 3D-друк — формувати об'ємні структури, недоступні для традиційних технологій [4; 5].

Окрему групу складають акустичні декоративні панелі, які поєднують естетичність і звукопоглинальні властивості. Їхнє застосування в офісах, лекційних залах і студіях підвищує акустичний комфорт приміщення [13]. Теплоізоляційні панелі, виготовлені з матеріалів із низькою теплопровідністю, сприяють зниженню енерговитрат у житлових і громадських будівлях [14].

У сучасному інтер'єрному дизайні декоративні панелі виконують такі функції:

Таблиця 1-Функціональність панелей в дизайні

Функції	Опис
Декоративна	Створюють композиційний акцент і формують візуальну структуру простору
Захисна	Оберігають стіни від механічних пошкоджень
Звукоізоляційна	Поглинають шум і зменшують реверберацію
Теплоізоляційна	Утримують тепло в приміщенні
Організаційна	Використовуються для зонування простору

У стилістичному аспекті панелі застосовуються в різних напрямках дизайну. У мінімалізмі переважають гладкі однотонні поверхні з прихованими кріпленнями; у хай-тек — металеві й скляні панелі з холодними відтінками; в еко-дизайні — матеріали з природних волокон; у лофті — панелі, що імітують бетон, цеглу чи деревину [5; 7].

Суттєвим напрямом розвитку є екологізація виробництва. Зростає використання натуральних матеріалів — бамбуку, пробки, очерету, переробленого дерева. Такі панелі мають високі теплоізоляційні властивості, не виділяють шкідливих речовин і відповідають сучасним стандартам сталого будівництва [10; 15].

Таким чином, декоративні панелі поєднують архітектурну, технологічну та художню функції. Вони створюють можливість реалізувати індивідуальні дизайнерські концепції та водночас забезпечують технічну ефективність приміщення [2; 6].

Висновки

Декоративні панелі відіграють ключову роль у сучасному дизайні інтер'єру, виступаючи одночасно художнім, функціональним і технологічним елементом архітектурного середовища. Вони забезпечують естетичну цілісність приміщення, підвищують комфортність, покращують акустичні та теплоізоляційні характеристики, а також дозволяють реалізовувати індивідуальні дизайнерські рішення.

Сучасні тенденції розвитку декоративних панелей пов’язані з використанням високотехнологічних матеріалів, автоматизацією виробництва, впровадженням систем цифрового моделювання та параметричного дизайну. Особливу увагу приділено екологічним аспектам — застосуванню відновлюваних і біорозкладних матеріалів, зниженню рівня енергоспоживання під час виробництва, повторній переробці елементів після завершення терміну експлуатації.

Декоративні панелі визначають еволюцію сучасного інтер’єрного простору — від стандартних плоских облицювань до інтелектуальних модульних систем, здатних змінювати форму, колір і функціональні властивості залежно від умов середовища. Їх універсальність дозволяє застосовувати один матеріал у різних архітектурних контекстах — від житлових приміщень до громадських будівель і виставкових інсталяцій.

Подальші дослідження в цій галузі повинні бути спрямовані на розробку комплексних систем із високими показниками звукоізоляції, вогнестійкості, біостійкості та сенсорної інтеграції. Розвиток адаптивних і “розумних” панелей відкриває перспективи створення середовища, яке не лише відповідає вимогам дизайну, але й активно взаємодіє з людиною, реагуючи на її потреби.

Отже, декоративні панелі — це не просто оздоблювальний матеріал, а важливий засіб архітектурної виразності, що формує сучасну культуру інтер’єрного простору, забезпечуючи синтез естетики, технології та функціональності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Журахівська І. Генератор ідей: де шукати та як створювати ідеї креативних інтер’єрів. — Київ: ArtHuss, 2021. — 240 с.
2. Новосельчук Н. Є. Дизайн інтер’єру: навчальний посібник. — Полтава: Полтавська політехніка, 2020. — 165 с.
3. Сєдак О. І., Запорожченко О. Ю. Колористика інтер’єру. — Київ: Каравела, 2023. — 280 с.
4. Сьомка С. В., Антонович Є. А. Дизайн інтер’єру, меблів та обладнання. — Київ: Ліра-К, 2018. — 400 с.
5. Шейкіна К. О. Дизайн інтер’єрів. — Київ: Веста, 2010. — 160 с.
6. Дьяків В. П. Матеріали для внутрішнього оздоблення. — Київ: КНУБА, 2017. — 192
7. Кисельова Г. В. Екологічні матеріали в дизайні. — Одеса: ОДАБА, 2020. — 154 с.
8. Грабовська Л. І. Сучасні композиційні матеріали в архітектурі. — Львів: ЛНТУ, 2022. — 210 с.
9. Кравченко Н. В. Інноваційні технології в дизайні інтер’єрів. — Харків: ХНУБА, 2021. — 148 с.
10. Прусакова Л. М. Технології обробки декоративних матеріалів. — Київ: Будівельник, 2019. — 176 с.
11. Соколенко І. С. Архітектурне освітлення інтер’єрів. — Київ: Основа, 2018. — 132 с.
12. Климко С. П. Матеріалознавство та технології в інтер’єрному дизайні. — Київ: КНУБА, 2021. — 178 с.
13. Рижко І. А. Сучасні тенденції оздоблення житлових інтер’єрів. — Львів: ЛНАМ, 2022. — 156 с.
14. Олійник М. В. Сучасні полімерні матеріали в архітектурі. — Харків: ХНУБА, 2020. — 142 с.
15. Марченко І. С. Інтелектуальні матеріали в архітектурі середовища. — Київ: КНУБА, 2023. — 168 с.

Антонюк Антоніна Геннадіївна — студентка групи БМ-23б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: antoniukantonina@gmail.com

Очеретний Володимир Петрович — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email:ocheretny@vntu.edu.ua

Antoniuk Antonina H. - student of group BM-23b, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: antoniukantonina@gmail.com

Ocheretny Vladimir P. — PhD, Associate Professor, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: ocheretny@vntu.edu.ua

УДК 721.012

М. М. Кацага
В. П. Очеретний

ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В АРХІТЕКТУРНОМУ РОЗВИТКУ МІСТ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено аналіз ключових інноваційних технологій, що застосовуються у сучасному архітектурному розвиток міст, з акцентом на їхню роль у забезпеченні енергоефективності та функціональності міського середовища. Робота узагальнює тенденції, спрямовані на створення адаптивного, естетично привабливого та комфортного міського простору, що відповідає викликам сьогодення та майбутнього.

Ключові слова: архітектура, інноваційні технології, 3D-друк, BIM-моделювання, наноматеріали, сталий розвиток, розумні міста.

Abstract

An analysis of key innovative technologies used in the modern architectural development of cities was carried out, with an emphasis on their role in ensuring energy efficiency and functionality of the urban environment. The work summarizes trends aimed at creating an adaptive, aesthetically attractive and comfortable urban space that meets the challenges of the present and the future.

Keywords: architecture, innovative technologies, 3D printing, BIM modeling, nanomaterials, sustainable development, smart cities.

Вступ

Сучасний розвиток міської архітектури стикається з серйозними проблемами - такими як зміна клімату, потреба в енергоефективних будівлях і стрімке зростання населення. Щоб міста стали «розумними» (Smart Cities) і стійкими до змін, необхідно активно впроваджувати сучасні технології, які здатні забезпечити комфортне та якісне життя населення. Звичні підходи до проєктування та будівництва вже застарілі та не відповідають сучасним вимогам, оскільки вони не завжди дозволяють створювати міське середовище, яке було б гнучким, функціональним і екологічно безпечним. Тому важливо досліджувати та узагальнювати досвід використання новітніх цифрових інструментів, передових методів будівництва та «розумних» матеріалів, що мають велике значення як для науки, так і для практики.

Метою дослідження є визначення, аналіз та систематизація основних інноваційних технологій, які використовуються в архітектурному розвитку міст, а також обґрунтування їхнього впливу на створення сталого, енергоефективного та естетично привабливого міського простору.

Результати дослідження

Сучасна архітектура міст розвивається з урахуванням глобальних проблем - таких як потреба в екологічній безпеці, економному використанні енергії та створенні зручних і гнучких міських просторів[2],[3]. Щоб вирішити ці завдання, важливо використовувати новітні технології, вони є ключовими для побудови комфортного, ефективного та сталого міського середовища.

Можна виділити такі сучасні інноваційні технології в архітектурному розвитку міст.

1) Цифровізація та віртуалізація проєктування:

Цифрові технології не тільки дозволяють швидше створювати проєкти, але й забезпечують їхню високу точність та сприяють кращій співпраці між фахівцями з різних галузей.

- BIM-моделювання (Building Information Modeling):
  Технології BIM (Building Information Modeling) стали основою для створення комплексних цифрових моделей, що об'єднують усі дані про об'єкт та забезпечують його управління протягом усього життєвого циклу.

BIM-моделювання - це процес створення та управління цифровою моделлю будівлі чи інфраструктурного об'єкта, який включає всі необхідні дані, пов'язані з конструкцією, матеріалами, інженерними мережами, кошторисами та іншим. На відміну від традиційного 2D-проектування, BIM дозволяє побудувати тривимірну модель з можливістю детального опрацювання кожного елемента проекту [1].

- Параметричний (обчислювальний) дизайн:
  Цей підхід, який є частиною ширшої ідеї обчислювального дизайну, дозволяє архітекторам створювати складні, часто органічні або кінетичні форми, які неможливо було розрахувати традиційними методами. Він базується на алгоритмах та параметрах, що дає змогу швидко вносити зміни у весь проєкт, а також створювати унікальні форми, що не залежать від місця розташування [4].
- Віртуальна (VR) та доповнена реальність (AR):
  Технології розширеної реальності (XR) є потужним інструментом для візуалізації та комунікації. Віртуальна реальність (VR) дає змогу ще на етапі концепції зануритися у тривимірну модель об’єкта, що значно полегшує розуміння просторових рішень. Доповнена реальність (AR), у свою чергу, дозволяє накладати цифрові елементи на реальне міське середовище, що особливо корисно для оцінки того, як нові конструкції інтегруються в існуючий простір. [5].

2) Сучасні та екологічні матеріали:

Інноваційні матеріали стали основою для створення сучасної екологічної архітектури. Їхнє застосування дозволяє скоротити енергоспоживання, продовжити термін служби будівель і підвищити їхню безпеку.

- Наноматеріали:
  Наноматеріали (НМ) - це дисперсні або масивні матеріали (структурні елементи − зерна, кристаліти, блоки, кластери), геометричні розміри яких хоча б в одному вимірі не перевищують 100 нм і такі, що мають якісно нові властивості, функціональні й експлуатаційні характеристики, які проявляються завдяки наномасштабним розмірам [6].
  Ось наноматеріали, які застосовуються в будівельній галузі:
  -вуглецеві нанотрубки або випарені аморфні кулі з діоксиду кремнію для поліпшення стійкості цементів, бетону або пластмас;
  -нанотитану діоксид (TiO2) –завдяки його самоочисним властивостям у фарбах, цементах або склі;
  -наносрібло –за його бактерицидні та фунгіцидні властивості в покриттях підлоги та стін;
  -наночастинки міді для поліпшення тріщиностійкості сталей.
- «Розумні» матеріали:
  «Розумні» матеріали - це матеріали, які здатні змінювати свої фізико-хімічні властивості у відповідь на зміну зовнішніх умов або вплив зовнішніх сигналів. Це можуть бути зміни форми, кольору, щільності, електричних характеристик та інших параметрів. Основна відмінність розумних матеріалів від традиційних полягає в тому, що вони здатні "відчувати" зовнішній вплив і "реагувати" на нього, що відкриває нові можливості для їх застосування в будівництві.
  Однією з головних переваг розумних матеріалів є їх здатність підвищувати енергоефективність будівель. Використання термохромних і фотохромних покриттів на фасадах дозволяє суттєво зменшити тепловтрати або перегрів приміщень у літній період. Інтелектуальні вікна здатні автоматично блокувати надмірне сонячне світло в спекотні дні та пропускати сонячні промені в холодні місяці, що значно знижує потребу в кондиціонуванні повітря та опаленні.
- Біоматеріали:
  Біоматеріали - це будівельні матеріали, що отримуються з відновлюваних біологічних ресурсів або створюються з використанням живих організмів. Біорозкладні будівельні матеріали являють собою альтернативу традиційним матеріалам, володіючи екологічністю та здатністю повністю розкладатися в природному середовищі після завершення життєвого циклу будівлі[7].
  Інтеграція біоматеріалів в архітектуру сприяє розвитку екологічного та сталого будівництва. Біофільний дизайн з природними матеріалами не лише покращує технічні характерис-

тики будівель, а й позитивно впливає на психологічний комфорт. Біоматеріали знижують вуглецевий слід, покращують тепло- та звукоізоляцію, регулюють вологість, не виділяють токсичних речовин, сприяють енергоефективності та довговічності. Їхня низька теплопровідність робить їх оптимальними для пасивних будинків, а застосування принципів циркулярної економіки мінімізує вплив на довкілля.

3) Інтерактивна архітектура:

Інтерактивна архітектура є не лише новим етапом у розвитку урбаністичного простору, а й важливим інструментом для формування адаптивного, динамічного та функціонального середовища, що здатне реагувати на соціальні, культурні та екологічні виклики сучасності.

- Кінетична архітектура:
  Концепція кінетичної архітектури – це проектування будівель та окремих елементів цих будівель, що здатні до фізичних змін своєї форми чи положення. Форма будівлі змінюється відповідно до вимог людей і адаптується до умов навколишнього середовища. Рух цих структур може бути реалізований за допомогою складання, переміщення, розширення та трансформації як форми, так і розмірів.
  Сучасний вигляд кінетичної архітектури визначається використанням рухомих кінетичних структур та елементів, які надають будівлям динамічний і адаптивний характер. Основний принцип їх роботи базується на використанні різноманітних механізмів – від простих шарнірів і петель до складних пневматичних, хімічних, магнітних, природних та механічних систем[8].
- Медіа-фасади:
  Медіа-фасади - це світлодіодні екрани на фасадах будівель, які стали ключовим елементом сучасного міського архітектурного розвитку. Вони використовуються для трансляції рекламного, інформаційного та художнього контенту, що дозволяє трансформувати старі будівлі, покращувати зовнішній вигляд міста та створювати нові інтерактивні простори. Технологія дозволяє проєктувати динамічний відеоконтент, анімацію або інформаційні повідомлення на будь-які, навіть складні та нерівні поверхні [9]. Це перетворює будівлю на масштабний екран, який працює вночі, не порушуючи при цьому естетики денного вигляду.
  Медіа-фасади надають міському простору індивідуальний художній образ та стають «візитівкою» або домінантою району, залучаючи людину в мистецьке дійство. Вони відроджують активність на певній ділянці міського простору, сприяючи його соціальній та культурній трансформації.

Висновки

В даній роботі було проаналізовано застосування інноваційних технологій у сучасному розвитку міст. Отже, вони відіграють ключову роль у трансформації архітектурного розвитку сучасних міст, забезпечуючи їхню адаптивність, енергоефективність та екологічну сталість. Цифрові інструменти, такі як BIM-моделювання, параметричний дизайн і XR-технології, змінюють підходи до проєктування, роблячи їх більш точними та інтерактивними. Використання наноматеріалів, розумних і біологічних матеріалів сприяє створенню безпечного, комфортного та ресурсозберігаючого середовища. Інтерактивна архітектура, зокрема кінетичні конструкції та медіа-фасади, формує нову якість урбаністичного простору, здатного реагувати на соціальні та культурні потреби мешканців. Сукупність цих технологій відкриває перспективи для сталого розвитку міст, орієнтованого на людину, довкілля та майбутні виклики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Що таке BIM-моделювання і як воно застосовується в проєктуванні. https://kmcgeo.com/ua/chto-takoe-bim-modelyrovanye-y-kak-ono-prymenyaetsya-v-proektyrovanyy/
2. Тренди сучасної архітектури. https://saten.com.ua/
3. Архітектурні тренди: стилі, форми та матеріали, які домінують у сучасному будівництві. https://blog.poltava.to/atlant/17206/

4. НОВІТНІ ТЕНДЕНЦІЇ В АРХІТЕКТУРІ XXI СТ. | Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування. http://archinform.knuba.edu.ua/article/view/229377
5. Топ-8 нових тенденцій в архітектурі: формуємо майбутнє - Property Times. https://propertytimes.com.ua/trends/top8_novih_tendentsiy_v_arhitekturi_formuemo_maybutne
6. Nanochastinki v budivel'nih materialah ta inshih dodatkah ta naslidki vikoristannya nanochastinok [Nanoparticles in Construction Materials and Other Applications, and Implications of Nanoparticle Use].(Text from the screen). https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6804222/#:~:text=Among%20the%20many%%2020different%20types,nanoparticles%20in%20the%20construction%20sector
7. Використання біоматеріалів у архітектурному плануванні: шлях до зеленої архітектури. https://ua-stroy.org/ua/using-biomaterials-in-architectural-planning
8. FOX M. YEH B. INTELLIGENT KINETIC SYSTEMS. KINETIC DESIGN GROUP, MASSACHUSTTS, INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT), DEPARTMENT OF ARCHITECTURE. CAMBRIDGE. 1999
9. Інноваційні прийоми формування інтерактивних будівель і споруд у міському середовищі – ХНУМГ. http://eprints.kname.edu.ua/55319/1/2019%20%D0%BF%D0%B5%D1%87.%202%D0%9C%D0%9D%20%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F%20%D0%A1%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%2C%20%D0%92%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B2%20%202019.pdf

Кацага Марія Михайлівна — студентка групи БМ-23б, факультет будівництва та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mashakacaga2005@gmail.com

Очеретний Володимир Петрович — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва , міського господарства та архітектури ,Вінницький національний технічний університет, email: ocheretny@vntu.edu.ua

Kacaga Mariia Mykhailyvna - student of the BM-23b group, Faculty of Construction and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: : mashakacaga2005@gmail.com

Ocheretnyy Volodymyr Petrovich – PhD, Associate Professor of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, e-mail: ocheretny@vntu.edu.ua

УДК 351.861:711(477)

ШВЕЦЬ В.В

ЛЮБИЧ В.В.

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ В УКРАЇНІ: МІСТОБУДІВНИЙ АСПЕКТ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто сучасний стан системи цивільного захисту України з акцентом на містобудівному аспекті. Проаналізовано рівень інтеграції заходів цивільного захисту у просторове планування, виявлено проблеми забезпечення укриття населення, організації евакуації, функціонування об'єктів критичної інфраструктури та захисних споруд у містах. Обґрунтовано необхідність удосконалення нормативно-планувальних підходів до формування безпечного міського середовища.

Ключові слова: *цивільний захист, містобудування, укриття, безпечне середовище, просторове планування, воєнні ризики, стійкість міста.*

Abstract

The paper examines the current state of Ukraine's civil protection system with an emphasis on the urban planning aspect. The level of integration of civil protection measures into spatial planning is analyzed, and the key problems of providing population shelters, organizing evacuation, and ensuring the functionality of critical infrastructure and protective structures in cities are identified. The necessity of improving regulatory and planning approaches to the formation of a safe urban environment is substantiated.

Keywords: *civil protection, urban planning, shelters, safe environment, spatial planning, military risks, urban resilience.*

Вступ

Сучасні виклики, зумовлені воєнними діями на території України, зростанням техногенних і природних загроз, актуалізують необхідність переосмислення ролі системи цивільного захисту в забезпеченні стійкості міст та безпеки населення. Традиційна модель організації цивільного захисту, орієнтована переважно на реагування на надзвичайні ситуації, сьогодні потребує суттєвого оновлення з урахуванням просторово-планувальних аспектів розвитку населених пунктів.

Особливої важливості набуває інтеграція заходів цивільного захисту в містобудівну політику держави, оскільки саме через планувальні рішення формується основа безпечного середовища — розміщення захисних споруд, організація евакуаційних маршрутів, стійкість інженерної та соціальної інфраструктури. Підходи до проектування та розвитку міських систем мають базуватися на принципах ризик-орієнтованого планування, стійкості до надзвичайних ситуацій та воєнних загроз [1,5,6].

Основна частина

Сучасна система цивільного захисту України функціонує в умовах воєнних дій, зростання техногенних та природних ризиків, що формує підвищений запит на переорієнтацію містобудівної політики на забезпечення безпеки населення та стійкості міських систем [1,4,8]. Проблематика цивільного захисту дедалі тісніше інтегрується у планувальні рішення, оскільки ефективність реагування на небезпеки значною мірою залежить від просторової організації населених пунктів — конфігурації забудови, наявності інженерної інфраструктури, можливостей укриття та евакуації.

Однією з ключових проблем є недостатня інтегрованість заходів цивільного захисту у містобудівну документацію різного рівня — генеральні плани, детальні плани територій, концепції інтегрованого розвитку громад. Хоча в нормативних документах декларується необхідність врахування безпекових аспектів [2,6], на практиці вони часто залишаються поза увагою розробників проєктів забудови. Генеральні плани, розроблені до 2022 року, переважно не містять розрахунків місткості мережі укриттів, аналізу інженерної уразливості міських територій, карт ризиків та зон можливих руйнувань.

Стан наявних споруд цивільного захисту виявляє суттєві диспропорції між нормативними вимогами і фактичними можливостями. Більшість сховищ та протирадіаційних укриттів були зведені у радянський період і не відповідають сучасним потребам за параметрами життєзабезпечення, санітарними умовами, доступністю чи пропускною здатністю [3,7]. У великих містах спостерігається нерівномірність їхнього розподілу: центральні райони забезпечені краще, тоді як периферійні території та нові житлові масиви часто мають критичний дефіцит захисних споруд. Це підтверджується на конкретних прикладах.

Так, у Києві найвища щільність укриттів спостерігається в центральних районах – Шевченківському та Печерському, де значна частина забудови радянського періоду містила вбудовані сховища. Натомість на Троєщині, Осокорках, Позняках і Виноградарі нова багатоповерхова забудова тривалий час розвивалась без належного формування мережі сховищ, що призвело до дефіциту укриттів у розрахунку на чисельність населення [11; 12; 13]. Проблеми посилюються тим, що частина укриттів, які формально значаться у реєстрах, фактично не придатні до використання через відсутність вентиляції або аварійний стан приміщень [14; 16; 17].

Подібні диспропорції фіксуються і в інших обласних центрах. У Харкові значний масив укриттів розташований у районі Центрального парку, центру міста та старої житлової забудови. Водночас нові житлові квартали в районах Салтівка чи Олексіївка мають обмежену кількість захисних споруд, а велика частина населення змушена використовувати підземні паркінги або підвали житлових будинків, які не завжди приведені у відповідність до вимог ДБН [15; 19].

У Дніпрі значна кількість укриттів розташована в старих промислових зонах та районах радянської багатоповерхової забудови (Чечелівський, Амур-Нижньодніпровський райони), тоді як інтенсивно забудовані нові масиви на Кайдацькому або Лівому березі мають суттєвий дефіцит захисних споруд. Частина об’єктів, що перебувають на балансі підприємств, залишається недоступною для населення або не має систем водопостачання, електропостачання та аварійних виходів [15; 20].

У Львові характерною проблемою є диспропорція між історичним центром, де багато будівель обладнані підвальними укриттями ще з австрійського та міжвоєнного періодів, і сучасними житловими масивами на Сихові чи Рясному, де укриття або не передбачені, або не відповідають вимогам за місткістю. У низці комунальних сховищ виявлялися проблеми з гідроізоляцією, що унеможливлює довготривале перебування населення [19].

На рівні малих та середніх міст ситуація ще складніша. У більшості районних центрів та громад кількість об’єктів цивільного захисту не відповідає нормативам, а частина старих ПРУ перебуває на балансі підприємств, що вже не функціонують. Наприклад, у містах з населенням до 50 тисяч осіб, таких як Козятин, Первомайськ чи Шостка, значна частина укриттів була зведена для потреб промислових підприємств, але після їхнього закриття об’єкти занедбані та технічно непридатні [15].

У підсумку, ці приклади демонструють, що нерівномірність забезпечення укриттями є системною проблемою, що зумовлена як історичними особливостями забудови, так і тривалою відсутністю інтеграції вимог цивільного захисту в планувальні рішення. Вирішення цих проблем потребує комплексної інвентаризації існуючої мережі сховищ, створення механізмів фінансування їх модернізації та жорсткого дотримання ДБН при новому будівництві [2; 3; 6].

В умовах інтенсивних обстрілів такі прогалини створюють реальні загрози для життя населення.

Проблемним залишається і питання організації евакуаційних маршрутів. Існуючі транспортні моделі міст здебільшого зорієнтовані на повсякденні потреби мобільності, тоді як маршрути масової евакуації населення часто не опрацьовані або не враховують потенційні зони руйнувань та блокування транспортної інфраструктури [5]. Це особливо актуально для густонаселених районів, де висока щільність забудови ускладнює організацію швидкого переміщення великих груп населення в умовах стресу чи бойових дій.

Крім того, існує недостатня координація між проектними організаціями, органами місцевого самоврядування, ДСНС та іншими структурами, що беруть участь у плануванні територій та об’єктів підвищеної небезпеки [6,7]. Відсутність системних механізмів взаємодії призводить до того, що питання безпеки розглядаються фрагментарно, не утворюючи цілісної інфраструктурної мережі цивільного захисту.

Суттєвої уваги потребує і врахування природних ризиків, зокрема паводків, підтоплень, небезпечних схилів, сейсмічних загроз. У ряді громад забудова ведеться без урахування карт ризиків, що створює додаткові небезпеки для населення. Європейська практика, навпаки, передбачає обов’язкове моделювання сценаріїв небезпеки ще на ранніх етапах проєктування територій [9,10], що дозволяє мінімізувати ймовірність людських втрат.

В умовах війни особливо актуальним стає формування інтегрованої містобудівної системи цивільного захисту, що має включати низку ключових компонентів:

1. Повну інтеграцію оцінки ризиків та інфраструктури безпеки до всіх рівнів містобудівної документації — від генерального плану до детальних планів територій. Це дасть змогу планувати забудову з урахуванням зон можливих загроз та забезпечити близькість укриттів до житлових кластерів [2,9].
2. Розвиток мережі багатофункціональних захисних споруд, здатних виконувати роль культурних, спортивних або соціальних об’єктів у мирний час, та швидко трансформуватися у сховища в період небезпеки [3,5]. Такий підхід широко застосовується у країнах ЄС та Ізраїлі і демонструє високу ефективність у кризових ситуаціях.
3. Впровадження сучасних ГІС-технологій для моделювання сценаріїв небезпек, прогнозування руйнувань, аналізу транспортної доступності укриттів, планування евакуаційних маршрутів та управління потоками населення під час надзвичайних ситуацій [7,8].
4. Оновлення ДБН та адаптація містобудівних стандартів до реалій воєнного часу, включно з обов’язковими вимогами до розташування та характеристик укриттів, інженерної стійкості об’єктів критичної інфраструктури, врахування ризику обстрілів та ракетних атак [9,10].

5. Розвиток концепції "міської стійкості", яка поєднує фізичні, соціальні, інженерні та управлінські аспекти функціонування міста. Це передбачає створення міських систем, здатних швидко адаптуватися, відновлюватися після уражень та забезпечувати мінімальний рівень безпеки для населення навіть у критичних ситуаціях.

Комплексне впровадження цих заходів сприятиме переходу від реактивної моделі цивільного захисту до проактивної, орієнтованої на запобігання небезпекам, зниження вразливості та формування сталого безпечного міського середовища.

Висновки: Сучасний стан системи цивільного захисту України у сфері містобудування характеризується фрагментарністю, нормативною неврегульованістю та відставанням від реальних потреб воєнного часу. Необхідним є перехід до комплексної моделі планування безпечного міського простору, де питання цивільного захисту виступають базовою складовою просторової політики держави.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI // Відомості Верховної Ради України. – 2013. – № 34–35. – Ст. 458.
2. Державні будівельні норми України. ДБН Б.1.1-5:2021. Склад та зміст генерального плану населеного пункту. – Київ : Мінрегіон України, 2021. – 46 с.
3. Державні будівельні норми України. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. – Київ : Мінрегіон України, 2023. – 54 с.
4. Про основи національного спротиву : Закон України від 16.07.2021 № 1702-IX // Відомості Верховної Ради України. – 2021. – № 40. – Ст. 329.
5. Бойко, В. І. Містобудівні аспекти забезпечення безпеки населення в умовах надзвичайних ситуацій / В. І. Бойко // Науковий вісник будівництва. – 2020. – Т. 102, № 2. – С. 112–118.
6. Горбенко, Л. І. Інтеграція системи цивільного захисту у містобудівну політику України / Л. І. Горбенко // Проблеми розвитку міського середовища. – 2022. – № 1(30). – С. 45–52.
7. Кузьменко, П. М. Організаційно-технічні аспекти цивільного захисту у містобудівних системах / П. М. Кузьменко // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. – 2021. – Вип. 59. – С. 79–85.
8. Melnyk, O., & Didenko, S. (2023). Urban Resilience and Civil Protection in Ukrainian Cities under Wartime Conditions. Architecture and Civil Engineering Review, *12(4)*, 33–42.
9. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2023. – Geneva : United Nations, 2023.
10. European Commission. Civil Protection and Disaster Risk Management in the European Union: Overview and Key Policies. – Brussels : EC, 2022.
11. Портал Києва — «У Києві перевірили всі укриття: понад три тисячі (65 %) визнані придатними» Офіційний портал КМДА - Головна
12. РБК-Україна — «У Києві перевірили понад 3 тисячі укриттів … більшість — без вільного доступу» РБК-Україна
13. Вечірній Київ — «У столиці перевірили понад 80%, тобто 3,8 тисячі укриттів та сховищ» Вечірній Київ
14. Українська правда — «У Києві перевірили майже всі укриття: третина – непридатна» Привда
15. CCL (волонтерський звіт) — «Друга національна кампанія моніторингу укриттів» (дані про місткість, доступність, запаси води, туалети тощо) Центр громадянських свобод
16. Журнал Великого Міста — «37 % укриттів у Києві залишаються зачиненими під час тривог» bzh.life
17. ОстроВ — «Результати перевірки понад 3 тисяч укриттів у Києві виявилися невтішними» ОстроВ
18. LB.ua — «КМДА пояснила відсутність модульних укриттів через відсутність юридичного врегулювання» LB.ua
19. КНУБА — «Просторовий розвиток» (опис укриттів на зупинках та їхній стан у різних містах, зокрема Харків, Миколаїв, Львів) library.knuba.edu.ua
20. Третя національна кампанія моніторингу укриттів — дані про відчиненість укриттів у різних містах (Київ, Чернігів тощо)

Швець Віталій Вікторович – к.т.н., доцент, завідувач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua. ORCID:0000-0002-2748-3685.

Любич Володимир Володимирович – викладач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Shvets Vitaliy V. – Ph.D., associate professor of urban planning and architecture,Vinnytsia National Technical University. E-mail: v.shvets@vntu.edu.ua. ORCID: 0000-0002-2748-3685**.**

Lyubich Volodymyr V. – lecturer at the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

УДК 711.4:502/504:620.9

В. П. Леонтьєва
М. М. Кацага
С. В. Риндюк

ІНТЕГРАЦІЯ “ЗЕЛЕНИХ” ТЕХНОЛОГІЙ У ПЛАНУВАННІ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглядається інтеграція «зелених» технологій у планування міських територій як один із ключових інструментів сталого розвитку урбаністичних просторів. Особлива увага приділена застосуванню екологічно безпечних будівельних матеріалів та впровадженню технологічних рішень, спрямованих на підвищення енергетичної, водної та екологічної ефективності міської інфраструктури. На основі аналізу сучасної теорії та світової практики виділяються принципи, етапи інтеграції та переваги використання «зелених» технологій у містобудуванні.

Ключові слова: зелені технології; сталий розвиток; містобудування; енергоефективність; екологічні матеріали; урбаністичне планування.

Abstract

The article examines the integration of "green" technologies in the planning of urban areas as one of the key tools for the sustainable development of urban spaces. Special attention is paid to the use of environmentally safe building materials and the implementation of technological solutions aimed at increasing the energy, water and environmental efficiency of the city infrastructure. Based on the analysis of modern theory and world practice, the principles, stages of integration and advantages of using "green" technologies in urban planning are distinguished.

Keywords: green technologies; sustainable development; urban planning; energy efficiency; ecological materials; urban planning.

Вступ

Сучасні міста виступають центрами економічного, культурного та соціального життя, однак вони також створюють значне навантаження на довкілля. Інтенсивне зростання населення, масове будівництво та підвищене споживання енергії призводять до погіршення стану повітря, водних ресурсів і ґрунтів, а також до руйнування природних екосистем [1]. У зв’язку з цим виникає нагальна потреба у переосмисленні класичних підходів до містобудування з урахуванням принципів сталого розвитку. Одним із вирішальних напрямів є впровадження «зелених» технологій — системних інженерно-архітектурних і природоорієнтованих рішень, які спрямовані на підвищення ефективності ресурсів, зменшення обсягу відходів, збереження природних ландшафтів та створення комфортного життєвого середовища для мешканців [2].

Метою цього дослідження є визначення напрямів і принципів інтеграції «зелених» технологій у планування міських територій з акцентом на підвищення їх екологічної та енергетичної ефективності. Для досягнення цієї мети поставлено завдання: проаналізувати принципи та практичні підходи до створення сталого і комфортного міського середовища, а також оцінити вплив таких технологій на екологічний стан міст.

Результати дослідження

У містобудівному контексті «зелена технологія» розглядається як комплекс науково обґрунтованих рішень, що поєднують інженерні, архітектурні та природоорієнтовані підходи для мінімізації негативного впливу міської інфраструктури на навколишнє середовище. Основна ідея полягає в гармонійному поєднанні розвитку міста із збереженням природних ресурсів та підвищенням якості життя його мешканців [3].

Одним із ключових напрямів є енергоефективність. Впровадження технологій відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі та геотермальні системи, а також використання енергоощадних

фасадів і віконних систем дозволяє значно скоротити споживання традиційних енергоресурсів. Інтелектуальні системи управління енергоспоживанням у будівлях і транспорті забезпечують оптимізацію витрат та зменшують негативний вплив на довкілля [4].

Раціональне використання водних ресурсів є ще однією важливою складовою. Системи збору дощової води та її повторного використання сприяють збереженню водних запасів, а застосування водопроникних покриттів у міських просторах допомагає підтримувати природний водний баланс і знижувати ризик затоплень [5].

Зменшення забруднення довкілля досягається завдяки впровадженню екологічного транспорту, переробці будівельних відходів та використанню матеріалів із низьким вуглецевим слідом. Екологічний транспорт, такий як електробуси або веломережі, не лише знижує рівень шкідливих викидів, а й стимулює активний спосіб життя мешканців.

Інтеграція природних елементів у структуру міста є необхідною для збереження екологічної рівноваги. Створення зелених коридорів, парків і буферних зон допомагає пом'якшувати негативний вплив індустріальних або транспортних зон на житлові квартали. Вертикальне озеленення та зелені дахи не лише покращують естетичний вигляд міста, а й сприяють очищенню повітря та зниженню шумового забруднення [6].

Соціальний аспект інтеграції «зелених» технологій полягає у створенні комфортного міського середовища. Забезпечення здорового мікроклімату, чистого повітря та доступу до зелених зон позитивно впливає на фізичне і психологічне здоров'я мешканців.

На практичному рівні інтеграція «зелених» технологій відбувається на кількох етапах розвитку міського простору. На рівні генерального плану передбачаються екологічні коридори, зелені зони та системи природної вентиляції. Детальне планування враховує природні особливості території, такі як рельєф, гідрологія та інсоляція, а на рівні проектування будівель впроваджуються екологічно безпечні матеріали та енергоощадні технології.

Сучасне екологічне проектування неможливе без використання матеріалів, які відповідають принципам енергоефективності, довговічності та мінімального впливу на довкілля. Матеріали, що застосовуються у «зеленому» будівництві, мають забезпечувати не лише функціональність споруд, а й сприяти формуванню сприятливого мікроклімату та зниженню енергетичних витрат у процесі експлуатації.

Важливу роль відіграють натуральні матеріали – деревина з сертифікованих лісів, глина, натуральний камінь, вапно, які не виділяють шкідливих речовин у повітря та володіють природними теплоізоляційними властивостями. Вони забезпечують «дихаючі» конструкції, що створюють здоровий внутрішній мікроклімат.

Значний потенціал мають також матеріали з низьким вуглецевим слідом, такі як еко-бетон, цегла без випалу, або брикети з перероблених будівельних відходів. Їхнє виробництво потребує менше енергії і супроводжується меншими викидами CO_2. Такі рішення не лише зменшують екологічне навантаження, але й стимулюють повторне використання ресурсів.

Сучасна наука і технології дозволяють застосовувати інноваційні матеріали — наприклад, ті, що акумулюють тепло та віддають його поступово, або матеріали із фазовим переходом (Phase Change Materials, PCM), які здатні регулювати температурний режим будівлі впродовж року. Це знижує потребу в опаленні взимку і кондиціонуванні влітку [7].

Окрему категорію становлять матеріали для озеленення та покращення мікроклімату міських просторів — зелені фасади, дахи та водопроникні покриття. Вони виконують не лише декоративну, а й екологічну функцію: очищують повітря, зменшують шум, затримують пил і вологу, тим самим стабілізуючи водний баланс територій.

Застосування екологічних матеріалів у будівництві сприяє формуванню сталого міського середовища, підвищує енергоефективність споруд, знижує експлуатаційні витрати та забезпечує комфорт і безпеку мешканців.

Світова практика демонструє значний успіх у використанні «зелених» технологій. Однією з провідних систем оцінювання екологічності будівель є LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), що була розроблена у США. Вона передбачає оцінку споруд за критеріями енергоефективності, використання природного освітлення, збору дощової води та близькості до транспортних мереж і зелених зон. Наприклад, офіс Google у Лондоні, який отримав сертифікацію LEED Platinum, споживає майже вдвічі менше енергії, ніж звичайна будівля [2].

Інша відома система — BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) — запроваджена у Великій Британії. Вона оцінює екологічність споруди протягом усього життєвого циклу: від проектування до експлуатації. Так, торговий центр Westfield у Лондоні, сертифікований за системою BREEAM, використовує системи збору дощової води, енергоощадне освітлення та технології управління відходами [8].

Сучасна концепція Smart City («Розумне місто») є прикладом комплексного поєднання екологічних і цифрових технологій. Завдяки використанню датчиків, систем моніторингу, автоматичного регулювання освітлення та трафіку міста, такі як Сінгапур, забезпечують ефективне використання енергії, зменшення заторів і підвищення якості життя громадян. В Україні елементи цієї концепції реалізуються через впровадження «розумних» світлофорів, електронних квитків і систем відеоспостереження за транспортом [9].

Висновок

Інтеграція «зелених» технологій у планування міських територій є невід'ємною складовою сталого розвитку. Використання екологічно безпечних, енергоефективних та інноваційних будівельних матеріалів створює основу для формування екологічно збалансованого міського середовища. Їх поєднання з природоорієнтованими підходами та цифровими технологіями сприяє скороченню шкідливих викидів, підвищенню якості життя мешканців і збереженню природних ресурсів.

Досвід провідних країн світу показує, що системне впровадження «зелених» стандартів дозволяє досягати високої енергетичної ефективності, економічної вигідності та соціальної гармонії. Для України важливо продовжувати адаптацію таких практик, розвиваючи власні механізми оцінки екологічності будівель і впровадження концепції «розумного міста».

Список використаної літератури

1. Чала В. С., Орловська Ю. В., Глущенко А. В. *Європейські практики інвестування "зеленого" будівництва*. Підручник. Дрогобич: Західноукраїнський нац. ун-т, 2023.
2. LEED – Leadership in Energy and Environmental Design. U.S. Green Building Council. https://www.usgbc.org/leed
3. Thomson, G., & Newman, P. (2021). Green Infrastructure and Biophilic Urbanism as Tools for Integrating Resource Efficient and Ecological Cities. Urban Planning, 6(1). https://doi.org/10.17645/up.v6i1.3633
4. Soy, A., Dash, S. R., & Jha, K. (2025). Integrating Green Building Technologies with Energy Modelling Tools in Urban Construction. International Journal of Environmental Sciences, 11(5s). https://doi.org/10.64252/n47kte55
5. Bakator, M., Đorđević, L., Novaković, B., Premčevski, V., & Ugrinov, S. (2024). Green Technologies and Their Role in Urban Sustainability Initiatives. IIZS 2024, 471-477. https://doi.org/10.46793/IIZS24.471B
6. Smoliar, N., Bredun, V., & Toronchenko, O. (2018). Urban Green Zones Planning Concept and Ecological Functionality (Through the Example of Poltava, Ukraine). International Journal of Engineering and Technology, 7(3.2), 522-527. https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14582
7. Sousa, M. J. (2022). Digital Technologies and Public Policies Applied to Green Cities. Land, 11(11), 2097. https://doi.org/10.3390/land11112097
8. BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method. https://www.breeam.com/
9. Smart City Concept. International Telecommunication Union. https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ssc/Pages/default.aspx

Леонтьєва Валерія Павлівна — студентка групи БМ-23б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leontieva.lera1@gmail.com

Кацага Марія Михайлівна – студентка групи БМ-23б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mashakacaga2005@gmail.com

Риндюк Світлана Володимирівна — кандидатка технічних наук, доцентка кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: runduyksv@gmail.com

Valeriia Leontieva - student of the BM-23b group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: leontieva.lera1@gmail.com

Maria Katsaga – student of group BM-23b, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mashakacaga2005@gmail.com

Svitlana Ryndiuk — PhD, docent of Department of Construction, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: runduyksv@gmail.com

УДК 711.4

М. М. Кацага
А. В. Бондар

ЕФЕКТИВНІ ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ МІСЬКИХ “ТЕПЛОВИХ ОСТРОВІВ”

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто природу виникнення міських «теплових островів» (МТО), основні чинники їх формування та систематизовано сучасні підходи до зниження перегріву міських територій. Особливу увагу приділено природоорієнтованим рішенням, інноваційним технологіям у сфері зеленої інфраструктури, а також архітектурно-планувальним стратегіям сталого розвитку.

Ключові слова: міський тепловий острів, мікроклімат, зелена інфраструктура, урбанізація, енергоефективність, сталий розвиток, кліматична адаптація.

Abstract

The paper examines the nature of the emergence of urban «thermal islands» (MTO), the main factors of their formation, and systematizes modern approaches to reducing overheating of urban areas. Special attention is paid to nature-oriented solutions, innovative technologies in the field of green infrastructure, as well as architectural and planning strategies for sustainable development.

Keywords: urban heat island, microclimate, green infrastructure, urbanization, energy efficiency, sustainable development, climate adaptation.

Вступ

Міські «теплові острови» – це явище, коли середня температура повітря в межах міських територій є значно вищою, ніж у навколишніх районах, часто на 2-7 °C [1]. Основними причинами є ущільнення забудови, значна частка штучних поверхонь з низькою тепловідбивною здатністю, зменшення кількості зелених зон, надмірне використання транспорту та інтенсивне споживання енергії [2]. Ці фактори спричиняють не лише локальне підвищення температури, а й загострення проблем здоров’я населення, зростання витрат на кондиціонування, погіршення якості повітря та водного балансу міських територій.

Метою роботи є аналіз та систематизація сучасних підходів до зменшення впливу теплових островів на основі архітектурних, екологічних та технологічних рішень, спрямованих на формування комфортного і стійкого міського мікроклімату.

Результати дослідження

Проблема міських теплових островів є багатофакторною і пов’язана з поєднанням фізико-географічних, архітектурних, екологічних та соціально-економічних чинників. Вона виникає внаслідок інтенсивного розвитку урбанізованих територій, ущільнення забудови, зменшення природного дренажу тепла та води, а також заміни природних покриттів штучними матеріалами, які володіють високою теплоємністю й низьким коефіцієнтом відбиття сонячного випромінювання.

Дослідження показують, що 40–60 % усієї енергії, яку місто отримує від сонячного випромінювання, акумулюється у поверхнях дахів, тротуарів і доріг, тоді як у природних ландшафтах більша частина цієї енергії витрачається на випаровування вологи [2]. Це порушення енергетичного балансу призводить до підвищення температури повітря, особливо в нічні години, коли охолодження сповільнюється через відсутність природних процесів випромінювання тепла.

Можна виокремити такі додаткові чинники посилення ефекту МТО:

- транспортні викиди та тепло, що виділяється від двигунів і кондиціонерів.
- зменшення циркуляції повітря через надмірну щільність забудови [3].
- забруднення атмосфери, що утворює аерозольні частки, які затримують довгохвильове випромінювання.
- зменшення зелених насаджень, що обмежує природне охолодження через затінення.

У результаті виникає температурна аномалія, яка охоплює центральні частини міста, промислові зони та території з мінімальним озелененням [4]. За оцінками Всесвітньої метеорологічної організації, інтенсивність МТО у великих агломераціях може перевищувати 10 °С у порівнянні з приміськими районами (рис. 1), що створює ризики теплових хвиль і підвищення смертності серед населення. Графік на рис. 1 показує поступове зниження температури від центру міста (34 °С) до передмістя (25 °С), що наочно демонструє ефект міського теплового острова.

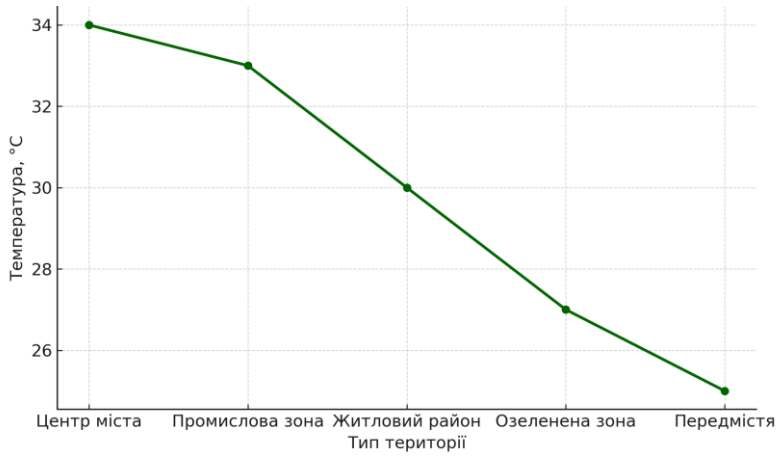


Рисунок 1 – Температурний профіль міських територій

Температурний профіль відображає залежність середньої температури повітря від типу міської території. Найвищі показники спостерігаються у центральній частині міста (до +34 °С) та промислових зонах (близько +33 °С), що зумовлено щільною забудовою, наявністю асфальтових і бетонних покриттів, високим транспортним навантаженням та відсутністю достатньої кількості зелених насаджень. У напрямку до житлових районів і зелених зон температура поступово знижується до +27 °С завдяки наявності рослинності, природної вентиляції та меншій щільності забудови. Найнижчі температури фіксуються в передмістях (+25 °С), де домінують природні ландшафти, відкриті простори та ефективний повітрообмін. Таким чином, графік демонструє ефект міського теплового острова – поступове зростання температури в урбанізованих територіях порівняно з навколишнім середовищем, що підкреслює необхідність упровадження природоорієнтованих рішень для зниження перегріву міст.

Для зменшення інтенсивності цього явища застосовуються різні групи заходів, які поєднують архітектурно-планувальні рішення, інноваційні технології та природоорієнтовані методи екологічної стабілізації. Такі як:

1. Розвиток зеленої інфраструктури.

Зелена інфраструктура є основним інструментом природного охолодження міських територій. Її елементи – зелені насадження, парки, сквери, зелені дахи та фасади, екопарковки, бульвари, а також штучні або відновлені природні водойми, що забезпечують зниження температури повітря за рахунок випаровування, транспірації та затінення [3, 4]. Особливе значення має створення зелених коридорів – системи взаємопов’язаних насаджень, які забезпечують природну вентиляцію та міграцію холодного повітря. Така система може охоплювати транспортні магістралі, набережні та міжквартальні простори, утворюючи безперервну «зелену мережу».

2. Застосування «прохолодних» і відбивних матеріалів.

Висока частка темних поверхонь у містах – одна з головних причин перегріву. Використання матеріалів із підвищеним коефіцієнтом альбедо (це показник, який вимірює здатність поверхні відбивати сонячну радіацію) дозволяє суттєво зменшити теплове навантаження на покриття. Такі матеріали відбивають більшу частину сонячного випромінювання й нагріваються значно менше. У нових містобудівних концепціях застосовуються також перфоровані та водопроникні матеріали, які сприяють природному дренуванню та зменшенню перегріву поверхонь. Такі покриття мають здатність утримувати частину дощової води, знижуючи локальні температури через випаровування [5].

3. Інтеграція водних елементів і систем мікроохолодження.

Водні об’єкти – природні або штучно створені - відіграють важливу роль у регулюванні теплового режиму міст. Через процес випаровування вода знижує температуру навколишнього повітря та

формує комфортні мікрокліматичні зони. Встановлено, що відкриті водойми можуть зменшувати температуру повітря на 1-3 °С у межах 100 м від їхнього розташування. Окрім водойм, сучасна практика передбачає створення високоефективних систем розпилення води – так званих «охолоджувальних оаз» у громадських просторах, які забезпечують короткочасне, але відчутне зниження температури та покращують сприйняття тепла мешканцями. При цьому важливо використовувати системи замкненого водообігу або дощову воду, щоб мінімізувати витрати ресурсів.

4. Раціональне архітектурно-планувальне рішення.

Організація забудови має безпосередній вплив на формування локального мікроклімату. Компактність, орієнтація будівель, їхня висотність і взаємне розташування визначають рівень інсоляції, провітрюваності та накопичення тепла. Раціональне планування передбачає створення вітропроникних коридорів, які дозволяють холодному повітрю вільно циркулювати крізь міські квартали. Нормативи містобудування (ДБН Б.2.2-12:2019) рекомендують забезпечувати мінімум 40 % площі озеленення в межах житлових районів і використовувати природні умови рельєфу для покращення мікроклімату [5, 6]. Важливо також застосовувати матеріали з високою теплоізоляцією для дахів і фасадів, що обмежує виділення тепла в атмосферу.

5. Інноваційні технології моніторингу та управління мікрокліматом.

Цифровізація міст відкриває нові можливості для контролю над тепловими потоками. Використання геоінформаційних систем (GIS), дистанційного зондування Землі та теплових супутникових знімків (наприклад, дані NASA) дозволяє виявляти «гарячі точки» міського простору та прогнозувати наслідки урбаністичних змін [7]. Крім того, у межах концепції «розумного міста» застосовуються сенсорні системи, які фіксують температуру, вологість і концентрацію шкідливих речовин у реальному часі. Ці дані можуть використовуватися для динамічного управління зрошенням, регулювання енергоспоживання або активації систем розпилення води у спекотні періоди.

6. Комплексні кліматичні стратегії сталого розвитку.

У таблиці 1 систематизовано основні напрями зменшення ефекту міських теплових островів (МТО), що поєднують архітектурно-планувальні, природоорієнтовані та технологічні підходи. Кожна група заходів спрямована на стабілізацію мікроклімату, зниження локальної температури та підвищення енергоефективності міського середовища. Загалом, результати свідчать, що найбільш ефективним є поєднання природних і технологічних методів, які взаємно підсилюють ефект охолодження, формуючи екологічно збалансоване, енергоощадне й комфортне міське середовище.

Таблиця 1 – Заходи щодо зменшення ефекту міських теплових островів

№	Напрям заходу	Сутність рішення	Орієнтовний ефект	Приклади реалізації
1	Розвиток зеленої інфраструктури	Озеленення дахів і фасадів, створення парків, зелених коридорів, екопарковок	Зниження температури повітря на 2–4 °С, поліпшення якості повітря, зменшення шуму	Зелені дахи у Відні, «зелений каркас» Варшави
2	Застосування відбивних і «прохолодних» матеріалів	Використання світлих, перфорованих і водопроникних покриттів для дахів, тротуарів і доріг	Підвищення альбедо поверхонь на 0,3–0,5; зниження температури покриттів на 10–15 °С	«Cool Roofs» у Лос-Анджелесі, «White City Project» в Афінах
3	Інтеграція водних елементів	Створення водойм, фонтанів, систем розпилення води, використання дощової води для охолодження	Локальне зниження температури на 1–3 °С, підвищення вологості повітря	Водні площі Мюнхена, охолоджувальні оази Барселони
4	Раціональне планувальне рішення	Формування вітропроникних коридорів, правильна орієнтація забудови, забезпечення провітрюваності	Поліпшення вентиляції на 25–30 %, зниження накопичення тепла між будівлями	Планувальні схеми Гамбурга, Токіо
5	Енергоефективні технології в будівництві	Використання теплоізольованих покрівель, фасадів, систем рекуперації тепла, вентиляції з рекуперацією	Зменшення теплових втрат і викидів на 20–30 %	Програма «Green Building» (ЄС), стандарти LEED та BREEAM
6	Цифрові системи моніторингу мікроклімату	Використання сенсорних систем, GIS, супутникових даних, автоматичного зрошення	Виявлення «гарячих точок», оптимізація охолодження, управління енергоспоживанням	«Smart City» у Сінгапурі, «Smart Vinnytsia 2030»
7	Комплексні кліматичні стратегії сталого розвитку	Інтеграція природоорієнтованих рішень, транспорту, енергоефективності та екологічних стандартів	Системне зменшення середньої міської температури на 2–3 °С, підвищення якості життя	Європейська стратегія «Green Deal», програма «100 Climate-Neutral Cities»

Окремі технічні чи архітектурні заходи не можуть забезпечити тривале зниження ефекту МТО без включення до загальної системи міського управління. Тому все частіше розробляються комплексні кліматичні стратегії, які поєднують просторове планування, енергоефективне будівництво, розвиток громадського транспорту та заходи з охорони довкілля. Європейська екологічна агенція [6] підкреслює, що впровадження політики «зеленої урбанізації» дозволяє не лише зменшити середню температуру в містах, але й поліпшити показники якості повітря, водного режиму й соціального комфорту. Такий підхід формує базу для стійкого розвитку міських екосистем, орієнтованих на адаптацію до кліматичних змін.

Висновки

У даній роботі було проаналізовано природу виникнення міських «теплових островів», основні чинники їх формування та підходи до зменшення перегріву урбанізованих територій. Встановлено, що ефект МТО зумовлений поєднанням надмірної щільності забудови, дефіциту зелених зон, використанням матеріалів із низьким альбедо, транспортними викидами та тепловими втратами будівель. Це призводить до зростання температури повітря, погіршення мікроклімату та підвищення енергоспоживання. В результаті дослідження було визначено, що ефективне зменшення інтенсивності МТО можливе лише за умови комплексного підходу, який поєднує природоорієнтовані, архітектурно-планувальні та технологічні рішення. Найбільш результативними є розвиток зеленої інфраструктури, використання матеріалів із високим коефіцієнтом відбиття, інтеграція водних елементів, раціональне планування забудови та впровадження інноваційних систем моніторингу мікроклімату. Застосування таких заходів у межах стратегій сталого розвитку дозволяє знизити перегрів міських територій, поліпшити якість повітря та створити комфортне, енергоефективне й екологічно збалансоване міське середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зелені зони замість бетонних джунглів: екорішення. URL: https://rubryka.com/article/green-zones/
2. World Meteorological Organization. State of Climate Services 2023: Urban Heat. Geneva, 2023. URL: https://wmo.int/news/media-centre/climate-change-bad-health-climate-services-save-lives
3. Затолокіна А. М. Розробка та впровадження зеленої інфраструктури для зниження впливу міського теплового острова. URL: https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/ed3a04aa-bbda-469e-8c18-cf8e621210e9/content
4. Кучерявий В.П., Геник Я.В. Екопросторові та теплофізичні особливості формування "острова тепла" Львівського середмістя і життєвість деревних рослин. URL: https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/2504
5. ДБН Б.2.2-12:2019. Містобудування. Планування і забудова територій. [Чинний від 2018-09-01]. Вид. офіц. Київ : Держбуд України, 2018. 175 с.
6. NASA. MODIS Land Surface Temperature Data. NASA Earth Observations Portal. 2024. URL: https://www.earthdata.nasa.gov/topics/land-surface/land-surface-temperature
7. European Environment Agency. Urban Adaptation to Climate Change in Europe 2022. EEA Report No 16/2022. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/urban-adaptation-in-europe

Кацага Марія Михайлівна – студентка групи БМ-23б, факультет будівництва та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mashakacaga2005@gmail.com

Бондар Альона Василівна – доцент кафедри будівництва , міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: bondarav@vntu.edu.ua

Kacaga Mariia Mykhailyvna - student of the BM-23b group, Faculty of Construction and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: : mashakacaga2005@gmail.com

Bondar Alyona Vasylivna - Associate Professor of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

УДК 691-478:692.522.8

А. М. Коробочка
А. В. Бондар

КЕРАМІЧНІ ПУСТОТІЛІ ПАНЕЛІ У КОНСТРУКЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ПЕРЕКРИТТІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто конструктивні особливості та технологічні переваги керамічних пустотілих панелей у складі збірно-монолітних міжповерхових перекриттів. Показано, що застосування керамічних панелей сприяє підвищенню енергоефективності будівлі завдяки природній теплоємності матеріалу, зменшенню теплових втрат, підвищенню звукоізоляції та мінімізації утворення «теплових мостів». Проаналізовано вплив пустотної структури панелей на зниження ваги конструкції та покращення мікрокліматичних параметрів приміщень. Доведено, що використання таких панелей у перекриттях забезпечує оптимальне поєднання міцності, екологічності й експлуатаційної ефективності та відповідає сучасним вимогам енергоощадного будівництва.

Ключові слова: керамічні панелі, пустотілі блоки, енергоефективні перекриття, теплоізоляція, збірно-монолітні конструкції, енергоощадне будівництво.

Abstracts

The paper examines the structural and technological characteristics of hollow ceramic panels used in composite inter-floor slab systems aimed at improving the energy performance of modern buildings. It is demonstrated that the application of ceramic hollow blocks enhances the energy efficiency of floor structures due to their natural thermal capacity, reduced heat losses, improved sound insulation and the minimization of thermal bridges. The influence of the hollow geometry on weight reduction, thermal inertia and microclimate stabilization within living spaces is analysed. It is proven that the use of ceramic panels in slab construction provides an optimal balance of strength, environmental sustainability and operational efficiency, fully complying with contemporary standards of energy-efficient and low-impact building technologies.

Key words: ceramic hollow panels, energy-efficient slabs, composite floor systems, thermal insulation, sound insulation, sustainable construction.

Вступ

Енергоефективність будівель є одним із ключових пріоритетів сучасного будівництва, що зумовлено зростанням вартості енергоресурсів, вимогами екологічної сталості та посиленням норм щодо теплозахисту огороджувальних конструкцій. Серед конструктивних елементів будівлі міжповерхові перекриття відіграють важливу роль у формуванні теплового режиму приміщень, оскільки саме вони визначають величину тепловтрат, акустичний комфорт, жорсткість та загальну надійність споруди.

У сучасній практиці малоповерхового та приватного будівництва зростає інтерес до технологій, які поєднують високу міцність, низьку теплопровідність, економічність та екологічність. Одним із таких рішень є використання керамічних пустотілих панелей у конструкціях збірно-монолітних перекриттів. Пустотна структура керамичних елементів забезпечує зменшення маси перекриття, покращує тепло- та звукоізоляційні властивості, знижує навантаження на несучі елементи та створює сприятливий мікроклімат у приміщеннях [1, 2].

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю впровадження енергоефективних конструктивних рішень, здатних підвищити показники термічної інерції будівлі, мінімізувати теплові мости й забезпечити високу експлуатаційну довговічність. Незважаючи на широке застосування керамічних блоків у стінових конструкціях, їх потенціал у перекриттях досі використовується обмежено, що потребує детального науково-технічного обґрунтування.

Результати дослідження

У порівнянні з традиційними міжповерховими перекриттями (залізобетонними та дерев'яними) керамічні пустотілі панелі відзначаються підвищеною термічною інерцією, мінімізацією теплових містків та екологічністю завдяки використанню матеріалу природного походження. Технологія монтажу включає встановлення несучих балок, укладання керамічних панелей як міжбалочного

заповнення, армування та монолітне бетонування (рис. 1) [3-5]. Система забезпечує високу жорсткість перекриття при зменшенні навантаження на стіни та фундамент. Монолітна стяжка товщиною 40–60 мм формує жорсткий конструктивний диск, а сумарна вогнестійкість перекриття відповідає класу REI 120.

Аналіз теплотехнічних параметрів показує, що керамічні панелі дозволяють знизити тепловтрати перекриття на 30–45 % у порівнянні із залізобетонними конструкціями за рахунок пустотної структури та більшої товщини термічного опору.



Рис. 1 – Керамічні панелі перекриттття

Проведене дослідження теплотехнічних властивостей різних типів міжповерхових перекриттів дозволило встановити суттєві переваги керамічних пустотілих панелей. На підставі отриманих даних, які наведено в таблиці 1, встановлено, що опір теплопередачі керамічних елементів становить 3,0 м²·К/Вт, що є максимальним серед аналізованих систем. Це майже в 5 разів більше, ніж у монолітних залізобетонних перекриттів, і на 20 % вище, ніж у традиційних дерев'яних систем. Такі результати підтверджуються графічною теплотехнічною діаграмою (рис. 1), де простежується чітка перевага керамічних панелей за показником R.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз енергоефективних характеристик різних типів міжповерхових перекриттів

Тип перекриття	Теплопровідність матеріалу, Вт/м·К	Наявність теплових мостів	Питома маса конструкції, кг/м²	Акумулювання тепла	Вогнестійкість	Інтегральний індекс енергоефективності (0–100)
Керамічні пустотілі панелі	0.18–0.22	Мінімальна	250–320	Високе	Висока	82
Дерев'яні балки	0.13–0.15	Відсутні	160–210	Середнє	Низька	75
TERIVA (збірно-монолітне)	0.28–0.32	Середня (через бетонні ребра)	300–350	Середнє	Висока	70
Монолітна залізобетонна плита	1.70–1.90	Висока	450–520	Високе	Висока	60

Порівняльний аналіз (рис. 2, табл. 1) демонструє, що керамічні пустотілі панелі є оптимальним рішенням щодо енергозбереження, оскільки мають багатокамерну пористу структуру, яка суттєво знижує теплопровідність. Завдяки формуванню повітряних каналів у середині панелі тепло передається значно повільніше, ніж у масивних бетонних системах. Це дає змогу знизити сезонні тепловтрати крізь перекриття на 18–27 % у порівнянні з монолітним бетоном.

Важливою перевагою є зменшене утворення теплових мостів, що безпосередньо підвищує опір теплопередачі та покращує енергоефективність у зимовий і літній періоди. У поєднанні з бетонною стяжкою керамічні панелі створюють жорстку, але теплотехнічно оптимізовану конструкцію без зон локального теплового ослаблення.

У той час як дерев'яні перекриття демонструють низьку теплопровідність і добру енергоефективність, вони поступаються керамічним панелям у вогнестійкості та акустичній інерції. TERIVA займає проміжне положення, але ефективність системи знижують бетонні ребра, що формують локальні містки холоду.

Таким чином, керамічні пустотілі панелі забезпечують найвищу інтегральну енергоефективність, поєднуючи термостійкість, низьку теплопровідність, екологічність і довговічність, що робить їх перспективним матеріалом для сучасного малоповерхового будівництва.

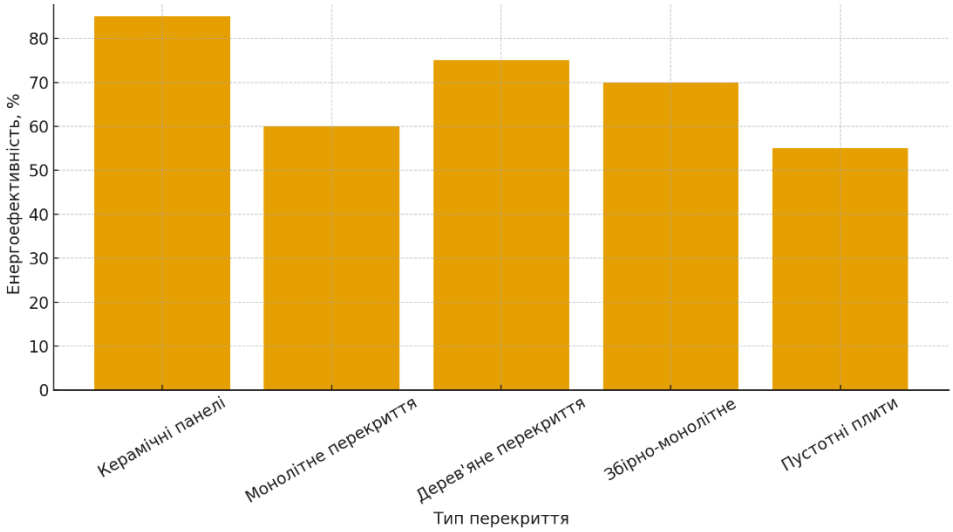


Рис. 2 – Порівняння енергоефективності систем перекриттів

Аналіз сезонних тепловтрат, показав стабільну енергоефективність керамічних панелей протягом усього року. Графік на рис. 2 порівнює питомі тепловтрати кВт·год/м² для двох конструкцій – перекриття з керамічних панелей та монолітної плити – протягом чотирьох сезонів. Найбільша різниця (до 40 кВт·год/м²) спостерігається взимку, коли теплопровідність конструкції відіграє ключову роль у збереженні теплової енергії. У зимовий період тепловтрати перекриття зменшуються на 42 %, що забезпечує відчутне зниження навантаження на систему опалення. В осінньо-весняні періоди збереження тепла покращується на 40 %. Влітку спостерігається різниця у зворотному напрямку: керамічні панелі менше акумулюють тепло вдень і повільніше віддають його вночі, що знижує ризик перегріву приміщень.

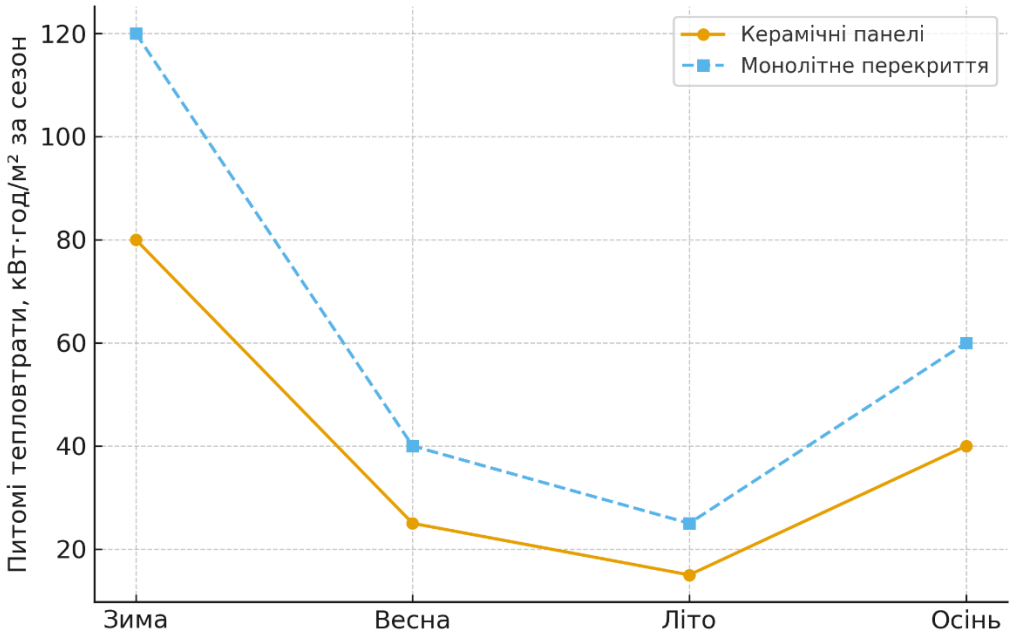


Рис. 2 – Графік сезонних тепловтрат систем перекриттів

Отже, конструкція на основі керамічних панелей зменшує сезонні тепловтрати в середньому на 30–35 % у порівнянні з монолітним бетоном.

Таким чином, результати дослідження доводять, що керамічні пустотілі панелі не лише забезпечують найвищі параметри теплоізоляції, а й формують оптимальний тепловий баланс протягом року. Це підтверджує доцільність використання таких конструкцій у сучасному енергоефективному малоповерховому будівництві.

Висновки

Встановлено, що керамічні пустотілі панелі є високоефективним конструктивним рішенням для міжповерхових перекриттів у малоповерховому житловому будівництві. Завдяки поєднанню малої ваги, високого опору теплопередачі, значної акустичної інерції, відсутності містків холоду та доброї вогнестійкості вони забезпечують:

- зниження тепловтрат будівлі на 30–35 % – коефіцієнт теплопровідності кераміки становить λ = 0,16–0,18 Вт/(м·К), що забезпечує стабільно низькі тепловтрати протягом року;
- формування стабільного мікроклімату;
- зменшення навантаження на несучі конструкції – завдяки середній щільності матеріалу 750–900 кг/м³ маса перекриття є нижчою на 40–55 % порівняно з бетонними системами, що зменшує навантаження на несучі елементи;
- забезпечення акустичного комфорту – показник звукоізоляції $L_{n,w}$ = 48–52 дБ відповідає вимогам житлових будівель;
- скорочення тривалості будівельних робіт;
- підвищення загальної енергоефективності споруди – керамічні пустотілі панелі демонструють найвищий опір теплопередачі серед розглянутих систем – R = 3,0 м²·К/Вт, що у 5 разів перевищує монолітне перекриття (R = 0,60 м²·К/Вт) і на 20 % – дерев'яне (R = 2,5 м²·К/Вт). Застосування незнімної опалубки усуває периферійні містки холоду та покращує тепловий баланс на 10–15 %.

Таким чином, керамічні пустотілі панелі є технічно доцільним та енергоефективним рішенням для міжповерхових перекриттів сучасних малоповерхових будівель. Технологія перекриттів із керамічних панелей відповідає сучасним вимогам та є перспективною для подальшого впровадження у практику енергоефективного будівництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мандрика А. С. Енергоефективні технології : навчальний посібник. Сумський державний університет, 2021. 330 с.
2. Кондращенко О. В. Будівельне матеріалознавство для сучасного будівництва : навч. посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 208 с.
3. Перекриття Теріва. URL: https://www.teriva.com.ua/
4. Keramické trámové stropy Heluz MIAKO. URL: https://www.internetovestavebniny.sk/c/stropy/heluz?srsltid=AfmBOorcfOzNaQlLknGObKy1_Lo1IxWIN92YtmDWCgMnxrktVWXO9H6I
5. Технологія Massiv-Holz-Mauer: створено в Німеччині. URL: https://derevynnyk.com/tehnologiya-massiv-holz-mauer-stvoreno-v-nimechchyni/

Коробочка Артем Миколайович – студент групи АМ-24б, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Бондар Альона Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

Korobochka Artem – student of group AM-24b, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Bondar Alena – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

УДК 620.97

Кравченко Ярослав Ігорович, студент групи БМ-24м
Кучеренко Лілія Василівна, к.т.н., доцент кафедри БМГА

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДИНКІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація.
У роботі розглянуто сучасні технологічні рішення, що застосовуються у будівництві енергоефективних будинків, проаналізовано їх вплив на зменшення тепловтрат, підвищення комфорту та економічну ефективність експлуатації будівель. Визначено основні проблеми впровадження інновацій у вітчизняній будівельній сфері, а також обґрунтовано доцільність використання концепції пасивного будинку як інноваційного напрямку підвищення енергоефективності житла.
Ключові слова: енергоефективний будинок, сучасні технології, тепловтрати, пасивний будинок, рекуперація, теплоізоляція.
Abstract.
The paper considers modern technological solutions used in the construction of energy-efficient buildings, analyzes their impact on reducing heat loss, increasing comfort and economic efficiency of building operation. The main problems of implementing innovations in the domestic construction sector are identified, and the feasibility of using the passive house concept as an innovative direction for increasing the energy efficiency of housing is substantiated.
Keywords: energy-efficient building, modern technologies, heat loss, passive house, heat recovery, thermal insulation.

Вступ

У сучасних умовах будівельна галузь стикається зі зростаючими вимогами до **енергоефективності та сталого розвитку**. Підвищення цін на енергоресурси, екологічні проблеми та необхідність скорочення викидів парникових газів стимулюють пошук нових технологічних рішень, які дозволяють зменшити споживання енергії будівлями. Тому використання сучасних технологій при будівництві енергоефективних будинків є актуальним і перспективним напрямом розвитку житлового будівництва в Україні та світі.

Енергоефективні будинки забезпечують **комфортний мікроклімат**, знижують витрати на опалення та кондиціонування, зменшують негативний вплив на довкілля та сприяють **сталому розвитку міського середовища**. Вони поєднують інноваційні матеріали, системи рекуперації тепла, альтернативні джерела енергії та автоматизоване управління інженерними системами.

Мета дослідження – проаналізувати сучасні технології будівництва енергоефективних будинків, виявити основні проблеми їх впровадження та розробити практичне рішення шляхом застосування технології **пасивного будинку**

Основна частина

Сучасний житловий фонд України характеризується значним фізичним та моральним зносом. Більшість багатоповерхових житлових будинків була побудована у 1960–1980-х роках у рамках типової серійної забудови, коли основною метою будівництва було швидке забезпечення населення житлом. Питання енергоефективності в той період практично не враховувалося, що призвело до того, що більшість старих будинків не відповідає сучасним нормам енергоспоживання і комфорту проживання мешканців [1].

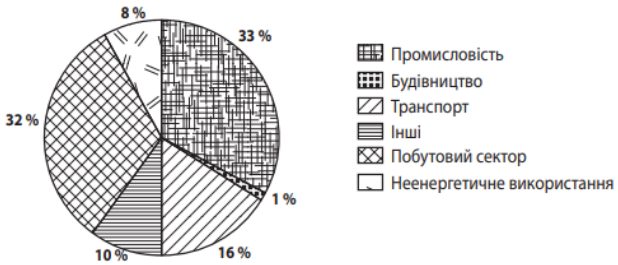


Рис. 1.1 – Структура кінцевого споживання паливно-енергетичних ресурсів в Україні в 2012 р., %

Однією з головних характеристик існуючого житлового фонду є низький рівень теплоізоляції огороджувальних конструкцій. Стіни, перекриття, покрівлі і підлоги будинків мають високий коефіцієнт теплопровідності, що значно перевищує сучасні нормативні вимоги для енергоефективного будівництва. Віконні конструкції в більшості будинків старого фонду виконані з однокамерних склопакетів або дерев'яних рам, що є основними джерелами тепловтрат через «містки холоду». Внаслідок цього житлові будівлі потребують значної кількості енергії для опалення взимку та підтримки комфортної температури всередині приміщень, що створює підвищене навантаження на теплові мережі міст та збільшує витрати мешканців на комунальні послуги [2]. Житловий фонд України наведений на рис 1.2.



Рис. 1.2 – Житловий фонд України

Один із ключових підходів — енергоощадна оболонка будівлі. Це означає застосування високоякісної теплоізоляції зовнішніх стін, покрівлі, фундаменту (підлоги над неутепленим ґрунтом або підпіллям) та підвищеної герметичності конструкцій. Згідно з міжнародними стандартами, оболонка має бути «супер-утепленою» (super-insulated) та монолітною з точки зору теплового захисту, без слабких зон. Мінімізація повторюваних теплових містків та прагнення до безперервної ізоляції, де це можливо, як у конструкціях, показаних на рисунку 1.5 допомагає максимально ефективно використовувати ізоляцію всередині огороджувальних конструкцій будівлі [3].

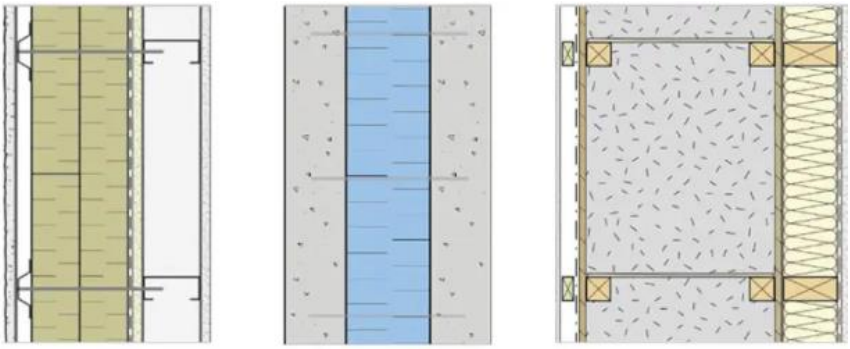


Рис. 1.3 – Ізоляція в середині огороджувальних конструкціях

Додатково, принцип відсутності теплових містків (thermal-bridge-free design) є критично важливим. Тепловий місток — це той елемент будівлі, через який тепло проходить із більшої швидкістю, ніж через навколишню оболонку, що призводить до додаткових втрат та можливих проблем з конденсатом або пліснявою. У стандартах зазначено, що проєкт має виключати такі містки шляхом уважного деталювання вузлів, застосування теплоізоляційних отключень, відповідних конструктивних рішень [4].

Важливим напрямом є герметичність будівлі (airtightness) — тобто контрольовані обміни повітря, що забезпечують можливість використовувати вентиляцію з рекуперацією тепла, а не втрати тепла через ненавмисні щілини. Наприклад, для сертифікації пасивного будинку встановлюється значення не більше ніж 0,6 повітрообмінів на годину при випробуванні на 50 Па (ACH50 ≤ 0,6) [4]. Без достатньої герметичності всі інші заходи — утеплення, вікна — не дадуть максимального ефекту.

Ще один важливий принцип — високоякісні вікна і двері (high-performance glazing and doors). Віконні системи мають мати дуже низьке значення коефіцієнта теплопередачі (U-value), оптимальне сонячне надходження (solar gain) та мінімальні втрати через раму. У поєднанні з орієнтацією будівлі на сонце (переважно – південний бік у північних широтах) це дозволяє використовувати пасивні надходження тепла. Детальна схема сучасного енергозберігаючого склопакета (двокамерного), яка пояснює його елементи для покращення теплоізоляції зображеня на рисунку 1.6.



Рис. 1.4 – Конструкція енергоефективного склопакета

Проєктування повинно враховувати вентиляцію з рекуперацією тепла (mechanical ventilation with heat recovery). У будівлях з високою герметичністю та хорошою теплоізоляцією природна вентиляція часто буває недостатньою або навіть шкідливою (через ризик перегріву/переохолодження, конденсату). Тому системи вентиляції з рекуператором, які повертають до 75-90 % тепла з відпрацьованого повітря, є стандартом [10].

Технологія «пасивного будинку» є комплексною технологічною концепцією, спрямованою на мінімізацію енергоспоживання завдяки використанню п’яти основних принципів: високоефективної теплоізоляції, відсутності теплових містків, герметичності оболонки, енергоощадних вікон і системи вентиляції з рекуперацією тепла (рис.1.5).

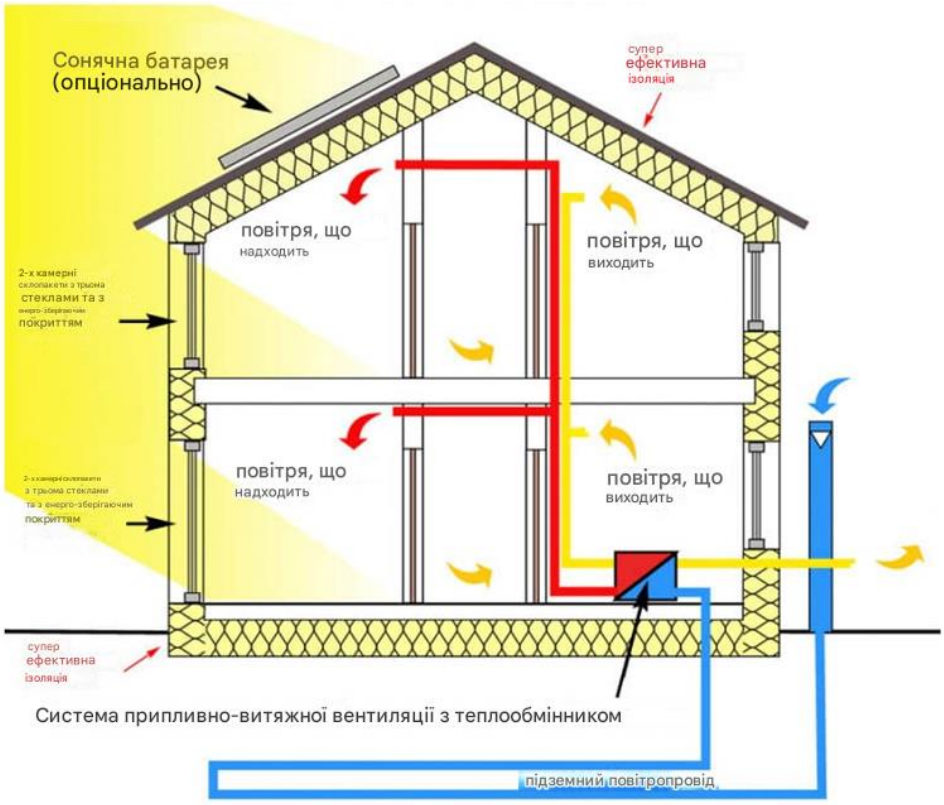


Рис 3.2 – схема пасивного будинку

Завдяки цьому забезпечується стабільний мікроклімат у приміщеннях, зниження втрат енергії та мінімальні витрати на опалення — не більше 15 кВт·год/м²·рік.

З погляду енергетичної ефективності та економічного обґрунтування, впровадження стандарту Пасивного будинку довело свою доцільність у різних країнах світу. Такі будівлі споживають у 4–6 разів менше енергії, ніж звичайні, а додаткові витрати на будівництво (8–12 %) компенсуються зниженням експлуатаційних витрат протягом 7–15 років. Крім того, тривалий термін служби матеріалів, стабільна температура, відсутність протягів і підвищений комфорт проживання підвищують загальну вартість і привабливість таких будівель на ринку нерухомості.

Щодо практичного впровадження в Україні, існують як позитивні приклади (експериментальні об’єкти Інституту технічної теплофізики НАН України, окремі приватні будинки, сертифіковані за стандартом), так і виклики — недостатня кількість кваліфікованих кадрів, висока початкова вартість, обмежений доступ до сертифікованих матеріалів та відсутність системних державних стимулів. Водночас законодавчі ініціативи, такі як Закон «Про енергоефективність будівель» № 2118-VIII, створюють основу для подальшого розвитку енергоощадного будівництва.

Висновки

У результаті проведеного дослідження встановлено, що значна частина житлового фонду України характеризується низькими енергоефективними показниками, що є наслідком застарілих проєктних рішень, недостатньої теплоізоляції та відсутності сучасних інженерних систем. Аналіз сучасних технологій будівництва показав, що ключовими умовами формування енергоефективної будівлі є якісна теплоізоляційна оболонка, відсутність теплових містків, високий рівень герметичності, застосування енергоощадних вікон та використання вентиляції з рекуперацією тепла. Саме ці принципи забезпечують суттєве зниження тепловтрат і стабільний рівень комфорту.

Виявлено, що основними проблемами впровадження енергоефективних технологій в Україні є висока початкова вартість матеріалів і обладнання, недосконаліть нормативної бази, обмежена кількість кваліфікованих спеціалістів і слабка поінформованість населення. Незважаючи на це, світовий досвід та позитивні окремі приклади в Україні підтверджують доцільність переходу до більш ефективних стандартів будівництва.

Практичним результатом дослідження стало обґрунтування можливості застосування технології пасивного будинку як найбільш ефективної моделі сучасного енергоефективного будівництва. Ця концепція дозволяє скоротити споживання енергії в 4–6 разів, підвищити комфорт проживання та зменшити експлуатаційні витрати протягом усього життєвого циклу будівлі. Таким чином, впровадження принципів пасивного будинку є перспективним напрямом розвитку будівельної галузі України та відповідає стратегічній меті підвищення енергоефективності житлового фонду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Problems of economy. – 2014. – № 3. – С. 108–114. – Режим доступу: https://www.problecon.com/export_pdf/problems-of-economy-2014-3_0-pages-108_114.pdf

2. Repository of Kyiv National University of Construction and Architecture. – Режим доступу: https://repositary.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/65764c1a-94b7-4917-8907-8104d1a3757f/content

3. Passive House Accelerator. *Five Principles of Passive House Design and Construction.* – Режим доступу: https://passivehouseaccelerator.com/articles/five-principles-of-passive-house-design-and-construction

4. Клювак Р. В. *Сучасні технології енергоефективного будівництва.* – [PDF-файл].

УДК 725.8

Ю. Ю. Чумак
С. В. Риндюк
О. О. Назаренко

СУЧАСНІ АРХІТЕКТУРНІ ПІДХОДИ ДО РЕКОНСТРУКЦІЇ КОНЦЕРТНИХ МАЙДАНЧИКІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті досліджуються сучасні підходи до реконструкції концертних майданчиків, з акцентом на універсальні простори, оптимізацію акустики, енергоефективність та збереження історичної автентичності. Аналіз міжнародних прикладів (Bristol Beacon, Helmut List Halle, Tonhalle) демонструє важливість комплексного поєднання технологій, гнучких планувальних рішень та принципів сталого розвитку для створення сучасних культурних центрів.

Ключові слова: реконструкція концертних майданчиків, архітектура, універсальні простори, акустика, енергоефективність, сталість, культурна спадщина, адаптивні технології, міське середовище.

Abstract

The article examines modern approaches to the reconstruction of concert venues, with an emphasis on universal spaces, optimization of acoustics, energy efficiency and preservation of historical authenticity. Analysis of international examples (Bristol Beacon, Helmut List Halle, Tonhalle) demonstrates the importance of a complex combination of technologies, flexible planning solutions and principles of sustainable development for the creation of modern cultural centers.

Keywords: reconstruction of concert venues, architecture, universal spaces, acoustics, energy efficiency, sustainability, cultural heritage, adaptive technologies, urban environment.

Вступ

У житті сучасного міста концертні майданчики відіграють важливу роль, адже саме вони забезпечують доступ до мистецтва, сприяють розвитку туризму, створюють нові робочі місця та формують соціальну взаємодію. Багато таких об’єктів були зведені у минулі десятиліття й нині потребують реконструкції через моральне та фізичне зношення, посилення норм безпеки, зростання технічних вимог музичної індустрії та необхідність створення інклюзивного середовища. Особливого значення набуває розвиток універсальних концертних просторів, здатних адаптуватися до подій різних форматів, що зумовлює потребу у вивченні сучасних архітектурних рішень, спрямованих на підвищення їхньої гнучкості, привабливості та рентабельності [1].

Метою цього дослідження є аналіз сучасних архітектурних підходів до реконструкції концертних майданчиків і визначення принципів, що забезпечують функціональність та якість оновленого простору. Методологія дослідження включає порівняльний та функціонально-планувальний аналіз, огляд міжнародних практик реконструкції, а також вивчення сучасних тенденцій у сфері архітектури, акустики та матеріалознавства.

Результати дослідження

Сучасні підходи до реконструкції базуються насамперед на створенні універсального й трансформованого середовища. Мобільні сцени, модульні сидіння, рухомі конструкції та адаптивні освітлювальні системи дозволяють швидко змінювати конфігурацію простору залежно від типу заходу, перетворюючи традиційний зал на багатофункціональний майданчик, придатний для концертів, театральних вистав, конференцій чи масових шоу. Важливим аспектом є оптимізація акустичного середовища: використання адаптивних панелей, баффлів, регульованих поглинаючих поверхонь, матеріалів із дерева й тканин, а також багатошарових стін забезпечує якісне звучання та зменшує втрати звуку чи витік шуму назовні.

Не менш значущим напрямом є впровадження енергоефективних та екологічно сталих рішень. Системи вентиляції з рекуперацією, сучасне LED-освітлення, екологічні матеріали та оптимізовані інженерні системи сприяють зменшенню енергоспоживання та екологічного впливу. Під час роботи з історичними будівлями важливо зберігати архітектурну автентичність, інтегруючи нові технології таким чином, щоб не порушити культурну цінність об'єкта [2].

Велике значення має також інтеграція концертного майданчика у міське середовище. Якісно спроєктований громадський простір навколо будівлі, створення рекреаційних зон, забезпечення зручної доступності для маломобільних груп населення, а також оптимізація транспортної логістики формують навколо концертного залу активний культурний центр, що приваблює мешканців і туристів.

Таким чином, сучасні архітектурні підходи до реконструкції концертних майданчиків формуються на основі комплексного поєднання технологічних інновацій, гнучких функціональних рішень, високих акустичних стандартів, принципів сталого розвитку та уважного ставлення до історичного контексту. Такий підхід дозволяє створювати комфортні, універсальні й конкурентоспроможні концертні простори, які відповідають потребам сучасного міста та його культурної спільноти [3].

Одним із показових прикладів сучасної реконструкції концертних майданчиків є **Bristol Beacon** (рис. 1). Будівля, що була відкрита як концертний зал у 1867 році, пройшла масштабну реконструкцію, завершену у 2023 році. Оновлення охопили широкий спектр просторових, технічних та функціональних рішень. Зокрема, було впроваджено підвісні акустичні баффли, які дозволяють змінювати характеристику звучання залежно від жанру — від симфонічної музики чи вокалу до рок-концертів. Сценічний простір став гнучким і трансформованим: регульована сцена та знімні сидіння дають змогу перетворювати традиційний посадковий зал на простір зі стоячими зонами.

Особливу увагу приділено комфорту глядачів: оновлено сидіння, встановлено сучасні системи опалення й охолодження, забезпечено повністю безбар'єрний доступ і облаштовано спеціальні місця для людей на інвалідних візках. Під час реконструкції вдалося зберегти й підкреслити історичну цінність об'єкта — відновлено фасад, атріум, скляні конструкції та декоративні елементи, що формують характерний образ будівлі.

Крім основного залу, у структурі закладу з'явилися нові простори, зокрема камерний підземний зал *Cellars Hall*, студії для музичної освіти та приміщення для репетицій, що розширило функціональні можливості комплексу. Особливий акцент зроблено на принципах сталого розвитку: проєкт реконструкції враховує екологічні аспекти та передбачає досягнення цілей із мінімізації вуглецевих викидів у майбутньому.

Таким чином, Bristol Beacon є вдалим прикладом того, як реконструкція історичної будівлі може не лише зберегти її архітектурну ідентичність, але й адаптувати до сучасних культурних, технічних та екологічних вимог [4].



Рис. 1. «Bristol Beacon», Велика Британія, 2023р. [4]

Цікавий досвід реконструкції – «Helmut List Halle» (рис. 2), промислова будівля, що реконструйована в багатофункціональний концертний зал. Напівзруйнована фабрична будівля стала концертною залою, що пропонувала високоякісні акустику та достатню місткість. Для акустики застосовано дерев'яні клеєні балки для стелі, а подвійні стіни з багатьох шарів забезпечують ізоляцію від зовнішнього шуму. Для екологічності на фасаді встановлено близько 350 м² сонячних панелей, генеруючи власну електроенергію. У 2023 році був доданий підземний зал «Club Detroit» під паркінг,

що розширило функціональність без зміни зовнішнього вигляду будівлі. Цей приклад яскраво показує як з промислової будівлі створити культурний простір, з гарною акустикою, впровадивши екологічні рішення.

Цікавим прикладом реконструкції є комплекс **Helmut List Halle** (рис. 2), що постає як успішна трансформація промислової будівлі у багатофункціональний концертний зал. Напівзруйнована фабрика була переосмислена та перетворена на сучасний культурний простір із високоякісною акустикою та значною місткістю. Для досягнення необхідних акустичних характеристик застосовано дерев'яні клеєні балки, які формують стельову конструкцію та покращують звучання, а подвійні багатошарові стіни забезпечують ефективну ізоляцію від зовнішнього шуму. Важливою складовою проєкту стала екологічна спрямованість: на фасаді встановлено близько 350 м² сонячних панелей, що дозволяє будівлі частково генерувати власну електроенергію [5].

Подальший розвиток комплексу продемонстрував гнучкість архітектурного рішення. У 2023 році під паркінгом було створено підземний зал *Club Detroit*, що розширило функціональні можливості комплексу, не впливаючи на зовнішній вигляд будівлі. Реконструкція Helmut List Halle демонструє, як промисловий об'єкт може бути успішно перетворений на сучасний культурний центр із якісною акустикою та екологічними рішеннями, що відповідають вимогам сталого розвитку.



Рис. 2. «Helmut List Halle» Грац, 2017р. [5]

Ще одним прикладом є комплекс **Tonhalle** та **Kongresshaus** (рис. 3) пройшов реконструкцію у 2017–2021 роках, під час якої були впроваджені сучасні технології для ефективного споживання енергії. Концертна зала зберегла свою славу завдяки винятковій акустиці, а встановлений новий орган забезпечує можливість виконання як класичного, так і сучасного репертуару. Оскільки будівля є пам'яткою архітектури, реконструкція здійснювалась із збереженням історичних елементів фасаду та внутрішнього оздоблення, що дозволило поєднати сучасні технологічні й екологічні рішення з охороною архітектурної спадщини [6].



Рис. 3. «Tonhalle» та «Kongresshaus», Цюрих, 2021р. [6]

Приклади реконструкції демонструють, як сучасні архітектурні підходи дозволяють адаптувати історичні та промислові будівлі до сучасних культурних потреб. Вони поєднують трансформовані багатофункціональні простори, високі акустичні стандарти, екологічні рішення та збереження автентичності, створюючи комфортні та привабливі концертні майданчики, інтегровані в міське середовище.

Висновки

Сучасні реконструкції концертних майданчиків спрямовані на створення багатофункціональних та трансформованих просторів, здатних адаптуватися до різних видів заходів. Високі акустичні стандарти забезпечуються завдяки використанню адаптивних конструкцій, багатошарових стін та дерев'яних елементів. Енергоефективні та екологічні рішення дозволяють зменшити вплив на навколишнє середовище, а одночасне збереження історичної автентичності об'єктів поєднує культурну цінність із сучасними технологіями. Інтеграція концертних майданчиків у міське середовище сприяє формуванню активних культурних центрів, які приваблюють мешканців і туристів, створюючи комфортні, універсальні та конкурентоспроможні простори.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Jeremić M. Shaping the space of concert halls as cultural venues throughout history and its influence on contemporary design. Synergy of Architecture and Civil Engineering. 2025, p. 541-549.
2. Кашшай О., Антонюк Д., Данилюк В. Універсальний зал у театрі та його сучасна трансформація. URL: https://journals.naoma.kyiv.ua/index.php/bulletin/article/view/105/97
3. Котенко Н. В., Цимбалова Т. А. Особливості формування внутрішнього простору сучасного концертного залу. URL: https://pgasa.dp.ua/wp-content/uploads/2025/06/VI-konferentsiya-studentiv-aspirantiv-onovlenyj.pdf?utm_source=
4. Брістольський маяк. URL: https://www.willmottdixon.co.uk/bristol-beacon-transformation?utm_source
5. Гельмут Ліст, Галле. URL: https://www.steiermark.com/en/Region-Graz/Vacation-planning/Trip-destination/Helmut-List-Halle_isd_74306196
6. Tonhalle Orcherstra Zurich. URL: https://seenandheard-international.com/2021/07/tonhalle-orchester-zurich-in-2021-22/?utm_source

Чумак Юлія Юріївна- студентка групи БМ-22б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця. e-mail: aleco1772280@gmail.com

Риндюк Світлана Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, містобудування та архітектури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: runduyksv@gmail.com

Назаренко Олександр Олександрович – ассистент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nazarenko@vntu.edu.ua

Yulia Chumak - student of group BM-22b, faculty of construction, civil and environmental engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: aleco1772280@gmail.com

Svitlana Ryndiuk - PhD, docent of Department of Construction, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: runduyksv@gmail.com

Oleksandr Nazarenko – assistant at the department of construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nazarenko@vntu.edu.ua

УДК 624.01

Н. А. Притолюк [1]
М. В. Ковальський[1]
В. С. Слободян[2]

КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ З ВІДХОДІВ ДЕРЕВИНИ

[1] ВСП Вінницький фаховий коледж будівництва, архітектури та дизайну КНУБА;
[2]Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглянуто сучасні підходи до виробництва та застосування деревно-пластикових композитів (ДПК, WPC) як перспективного будівельного матеріалу. Проаналізовано склад, фізико-механічні властивості, технологічні особливості виготовлення та експлуатаційні характеристики композитів, отриманих поєднанням деревного борошна та термопластів. Детально описано роль вхідної сировини, стабілізаторів та інших добавок у забезпеченні сумісності компонентів та підвищенні довговічності виробів. Наведено приклади застосування WPC у будівництві, ландшафтній архітектурі та суміжних галузях, а також узагальнено основні переваги й недоліки матеріалу. Представлено огляд сучасних тенденцій розвитку ринку та ключових напрямів удосконалення технологій.

Ключові слова: деревно-полімерні композити, властивості матеріалу, деревне борошно, полімери, екструзія, довговічність, застосування..

Abstract

The article discusses modern approaches to the production and application of wood-plastic composites (WPC) as a promising building material. The composition, physical and mechanical properties, technological features of manufacturing, and operational characteristics of composites obtained by combining wood flour and thermoplastics are analyzed. The role of raw materials, stabilizers, and other additives in ensuring the compatibility of components and increasing the durability of products is described in detail. Examples of the use of WPC in construction, landscape architecture, and related fields are given, and the main advantages and disadvantages of the material are summarized. An overview of current market trends and key areas for technological improvement is presented.

Keywords: wood-polymer composites, material properties, wood flour, polymers, extrusion, durability, application.

Вступ

З огляду на швидке зростання попиту на інженерні вироби з деревини у різних галузях, деревно-пластиковий композит (WPC), як найважливіший серед натуральних армованих волокнами композитів, вважається ключовим і перспективним матеріалом для використання як у житловому, так і в промисловому будівництві. Цей матеріал, що є комбінацією деревини та пластику, пропонує унікальні властивості [1-3].

Деревно-полімерні композити (ДПК) — це порівняно новий клас розроблених матеріалів[4-6]. На північноамериканському ринку обсяг продажів WPC сягнув майже 1 мільярда доларів. Європейський ринок, що становить 320 тисяч тонн на рік (станом на 2020 рік), розвивався протягом приблизно 30 років інтенсивної діяльності.

Результати дослідження

Виробляються композити на основі деревини, такі як LVL, PSL, LSL, фанера, OSB, ДСП та ДВП. Основним компонентом композитів на основі деревини є деревний елемент, часто 94% або більше за масою. Властивості композитних матеріалів можна змінити шляхом зміни розмірів і геометрії елементів, а також шляхом комбінування, реорганізації або розшарування елементів. Склеювання в більшості традиційних композитів на основі деревини забезпечується термореактивним клеєм на основі фенолформальдегіду, сечовиноформальдегіду, меламінформальдегіду і ізоціанату.

Композити, також відомі як пластик-деревина або WPC, є альтернативою деревині, виготовлені з екструдованого пластику і деревних волокон. Композит «дерево-пластик» (WPC) складається з дере-

вного волокна/борошна та термопласту (термопластів), таких як поліетилен (PE), поліпропілен (PP), полівінілхлорид (PVC) або полілактид (PLA) [7-9].

Деревні компоненти включають борошно з різних порід дерев (наприклад, клен, дуб, сосна) та широкий спектр сільськогосподарських відходів (пшенична солома, лушпиння, бамбук тощо) [10-13].. Зазвичай вони використовуються у вигляді тирси або дрібних волокон і становлять від 50 до 70% кінцевого продукту. Деревне борошно є найбільш привабливим через його відносно високу насипну щільність і доступність, хоча інші природні волокна також можуть бути альтернативою.

Співвідношення деревини та пластику впливає на індекс текучості розплаву (MFI): чим більше деревини, тим нижчий індекс текучості розплаву. Більшість WPC, армованих деревом, містять близько 50 % деревини, хоча цей показник може варіюватися від дуже малого до 70 %. Най поширеніші види тирси отримують при переробці деревних порід клену, дубу та сосни.

Фізико-механічні властивості ДПК значною мірою залежать від взаємодії між гідрофільною деревиною та гідрофобним пластиком. Для покращення цієї взаємодії та забезпечення сумісності вводяться сполучні агенти або компатібілізатори [11-14]. Ці добавки сприяють утворенню однофазного композиту, що призводить до отримання матетіалу з кращими властивостями, ніж масивна деревина.

Зв'язуючі речовини можуть забезпечувати адгезію між різними матеріалами або сприяти процесу змочування (сумісності). Наприклад: поліпропілен, щеплений малеїновим ангідридом (MAPP), значно покращує зв'язок. Також успішним є метод модифікації деревного волокна хімічними речовинами з аміногрупами (наприклад, аміносилан, хітин).

Деревина, термопластична матриця та сполучні речовини не є єдиною сировиною, яка використовується у виробництві WPC. WPC також містять спеціальні добавки, які додають у невеликих кількостях для покращення їх обробки та властивостей. Хоча їх склад дуже різноманітний, певною мірою використовуються такі добавки, як світлостабілізатори, пігменти, мастила, фунгіциди та піноутворювачі. Добавки (наприклад, мастила) покращують зовнішній вигляд поверхні. Інші, такі як барвники, зміцнюючи агенти, можуть позитивно впливати на підвищення загальних та спеціальних властивостей для запланованого використання матеріалів. Вони забезпечують інтеграцію полімеру та деревного борошна, сприяючи оптимальним умовам обробки.

Процес виготовлення деревно-пластикового композитного матеріалу (WPC) складається з двох основних технологічних операцій: змішування та екструзія.

Змішування. Тонкий порошок деревини або деревної біомаси з сільськогосподарських відходів змішується з термопластами, такими як поліетилен або поліпропілен, у великому змішувачі. Термопластик може бути первинним або переробленим. WPC на основі поліетилену на сьогодні є найпоширенішими. Добавки, такі як барвники, сполучні речовини, УФ-стабілізатори, спінювачі, піноутворювачі та мастила, допомагають адаптувати кінцевий продукт до цільової області застосування.

Екструзія. Більшість WPC виготовляється за допомогою процесу екструзії, у якому використовуються різні типи екструдерів, наприклад одношнековий або подвійний шнек для формування остаточної форми матеріалу. На рисунку 1 показано приклади основних композиційних матеріалів з використанням деревини. Також проводяться дослідження для зменшення щільності шляхом спінювання серцевини екструдованого профілю або розробки порожнистих секцій. На деяких виробничих підприємствах компоненти об’єднуються та обробляються в гранулювальному екструдері, який виробляє гранули з нового матеріалу. Потім гранули знову розплавляються та формуються будівельний виріб. Інші виробники виготовляють готову деталь за один цикл змішування та екструзії. Екструдовані WPC формуються як у суцільні, так і в порожнисті профілі.

Номенклатура і різновиди композиційних матеріалів для виготовлення будівельних конструкцій постійно збільшуються і потребують їх всебічного дослідження, розроблення нових нормативних документів для можливості широкого застосування у будівництві.

При виробництві композиційних матеріалів з використанням деревини одним з основних параметрів - контроль температури. Завдяки додаванню органічного матеріалу WPC зазвичай обробляються при набагато нижчих температурах, ніж традиційні пластики під час екструзії. Дерево-пластикові композити зазвичай мають нижчу температуру плавлення, тому слід стежити, щоб вони не перегрівалися. Деревно-пластикові композити зазвичай обробляються при температурах приблизно на 50 °C нижчих, ніж той самий матеріал без наповнювача. Більшість деревних добавок починають горіти приблизно при температурі 204°C. Як правило, чим вище співвідношення деревини до пластику, тим нижче температура плавлення.

Оскільки деревно-пластиковий композит створюють із речовини, яка спочатку має форму пасти, його можна формувати майже будь-якої форми та розміру, включаючи дугоподібні чи зігнуті форми.

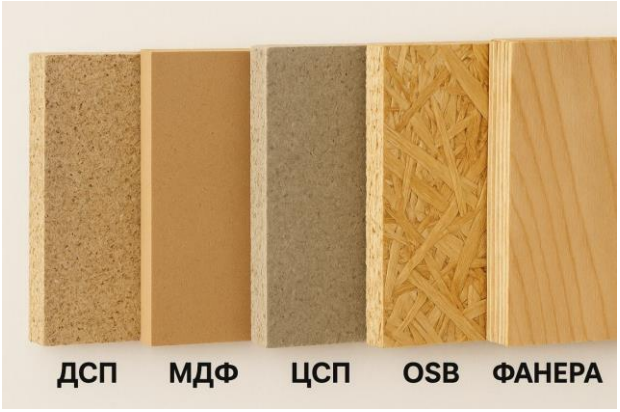


Рис. 1. Залежність густини бутану і пропану д температури

ДПК все ще є новими матеріалами порівняно з довгою історією натуральної деревини як будівельного матеріалу. Але поки що деревно-пластикові композити (WPC) є одними з найважливіших і потенційних інженерних виробів з деревини, які широко використовуються в сферах будівництва, ландшафту та транспорту. Поступово його почали використовувати для заміни звичайних деревних композитів. Найбільш поширене використання WPC в Північній Америці відкриті палубні підлоги, але також використовується для перил, огорож, ландшафтних брусів, обшивки та сайдингу, паркових лавок. У міру збільшення потужності WPC розробляються нові матеріали, такі як дверні рейлінги, рейки та віконні лінії. Переваги та недоліки деревно-пластикових композитних матеріалів наведені в таб. 1.

Таблиця 1 – Переваги та недоліки деревно-пластикових композитних матеріалів.

Переваги	Недоліки
Легка обробка, високу міцність, достатню міцність утримання кріплень, менший ризик розтріскування.	УФ-розкладання та часткова вразливість до грибків.
Екологічність — виготовляються з переробленого пластику та деревних відходів, можливість повторної переробки.	При постійні підвищені вологості — можливе викривлення та цвіль.
Висока вологостійкість, атмосферостійкість та стійкість до гниття.	Велика середня густина.
Можливість формування складних форм та вигинів.	Потреба суворого дотримання інструкцій монтажу.
Не потребують фарбування — доступні у різних кольорах.	Можливе естетичне старіння поверхні.
Низькі експлуатаційні витрати. Вигідна окупність — 3–5 років.	Широкий діапазон терміну служби — від 10 до 100 років.

Більшість досліджень у багатьох країнах зосереджено на довговічності та тривалому терміні служби WPC через великий інтерес до його використання поза приміщеннями. Насправді WPC спочатку продавався як природний засіб, що розкладається проти грибків або нападів комах. Однак було показано, що WPC все одно поглинає деяку кількість вологи та зрештою розкладається, але набагато повільніше, ніж тверда деревина. З огляду на всеосяжний досвід Північної Америки, технічні труднощі зовнішнього застосування повинні бути вирішені разом з проблемами маркетингу шляхом цілеспрямованого просування на практиці державними органами: оптимізація властивостей WPC за допомогою суміші деревини та натуральних волокон, покращення процесу екструзії, поглинання вологи, а також відповідних добавок у поєднанні з цілеспрямованим впровадженням на ринок продуктів WPC.

Висновки

Деревно-пластикові композити (ДПК) є інноваційним будівельним матеріалом з відходів деревини, які успішно поєднують переваги натуральних волокон і полімерів. Завдяки їхній здатності до формування складних форм, високій вологостійкості та стійкості до гниття, а також використанню вторинної сировини (переробленого пластику та деревних відходів), ДПК позиціонуються як екологічна та практична альтернатива традиційній деревині в широкому спектрі застосувань — від ландшафтного дизайну до елементів будівельних конструкцій.

Незважаючи на значні успіхи, подальший розвиток і комерційне впровадження ДПК вимагають вирішення технічних проблем, зокрема оптимізації їхньої довговічності та стійкості до поглинання вологи в умовах зовнішньої експлуатації. Майбутні дослідження мають бути зосереджені на вдосконаленні суміші деревини, натуральних волокон та добавок, а також на вдосконаленні процесу екструзії. Це дозволить повною мірою розкрити потенціал ДПК як надійного, довговічного та економічно вигідного будівельного матеріалу, що значно розширить його частку на світовому ринку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." nternational Science Group. Boston : Primedia eLaunch, 616 . (2021).
2. Ковальський В. П. Японська технологія обробки деревини вогнем [Текст] / В. П. Ковальський, О. О. Червінська // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції "Прикладні науково-технічні дослідження", 3-5 квітня 2018 р. – Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2018. – С. 149.
3. Ковбасюк Д. О., Тимошенко В. О., Ковальський В. П. Типи екологічних будинків // Матеріали LIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 20-22 березня 2024 р. Електрон. текст. дані. 2024. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20994.
4. Білоус Д. А. Сучасні органічні теплоізоляційні матеріали [Електронний ресурс] / Д. А. Білоус, В. П. Ковальський, А. В. Бондар // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)», Вінниця, 22 червня 2023 р. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2023/paper/view/18862.
5. Bereziuk V. et al. High-precision ultrasonic method for determining the distance between garbage truck and waste bin //Mechatronic Systems 1. – Routledge, 2021. – С. 279-290.
6. ISO 12467:2012 – Фіброцементні плити. Випробування.
7. Підгорна О. В. Будівельні матеріали та вироби на основі відходів деревини [Електронний ресурс] / О. В. Підгорна, В. С. Абрамович, А. В. Бондар // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – 2018. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/4928.
8. Лівінський О.М. Опоряджувальні роботи. – Київ: Вища школа, 2010. – 573 с.
9. Матеріали та вироби з деревини [Електронний ресурс] / Н. О. Палій ; науковий керівник В. П. Ковальський // Матеріали XLIII регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області, Вінниця, 5-14 березня 2014 р. – Вінниця : ВНТУ, 2014. –Режим доступу: http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2014/inbtegp/txt/Paliy.pdf.
10. Дзюбенко А. Ю. Аналіз порівняння влаштування вентильованого та монолітног фасаду при реконструкції будівель [Електронний ресурс] / А. Ю. Дзюбенко, В. П. Ковальський // Матеріали LII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 21-23 червня 2023 р. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2023/paper/view/17784.
11. Вітюк В. В. Аналіз сучасних природних енергоефективних матеріалів для зведення огороджуючих конструкцій стін та їх утеплення [Електронний ресурс] / В. В. Вітюк, Ю. С. Бікс // 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-fbtegp/all-fbtegp-2017/paper/view/3011.

12. Дзюбенко А. Ю., Ковальський В. П. Концепція використання утеплювача на основі піноізолу при влаштуванні вентильованого фасаду. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Інноваційні технології в будівництві–2024», Вінниця, 20-22 листопада 2024 р. Електрон. текст. дані. 2024. URI:https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2024/paper/viewFile/22656
13. Wójcik, W., Bereziuk, O. V., Lemeshev, M. S., Bohachuk, V., Polishchuk, L., Bezsmertna, O., Smailova, S., and Kurmagazhanova, S. "Metrological Aspects of Controlling the Rotational Movement Parameters of the Auger for Dewatering Solid Waste in a Garbage Truck." International Journal of Electronics and Telecommunications 69 (2) (2023): 233-238. https://doi.org/10.24425/ijet.2023.144355
14. Azarenkov, V. et al. "Modern teaching methods in pedagogy and philology." Primedia eLaunch (2023): 580

Притолюк Наталя Анатолівна- спеціаліст вищої категорії, викладач-методист, Вінницький фаховий коледж будівництва, архітектури та дизайну Київського національного університету будівництва і архітектури e-mail: 19pna70@gmail.com

Ковальський Максим Вікторович - студент групи 21Б-1, відділення архітектури будівництво та урбаністика, Вінницький фаховий коледж будівництва, архітектури та дизайну Київського національного університету будівництва і архітектури koval10mv@gmail.com

Слободян Владислав Сергійович— студент групи БМ-24Бмс, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: antoniukantonina@gmail.com

Науковий керівник: ***Ковальський Віктор Павлович*** — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com

Natalia Prytolyuk A. – senior specialist, lecturer-methodologist, Vinnytsia Professional College of Construction, Architecture and Design of the Kyiv National University of Construction and Architecture e-mail: 19pna70@gmail.com

Maksym Kovalskyi V. – student of group 21B-1, Department of Architecture, Construction and Urban Planning, Vinnytsia Professional College of Construction, Architecture and Design of the Kyiv National University of Construction and Architecture koval10mv@gmail.com

Vladislav Slobodyan S. – student of group BM-24Bms, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: wladslobodiyn@gmail.com

Supervisor: ***Kovalskiy Viktor P***. — Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia e-mail: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com

УДК 621. 631

С. С. Любарський [1]
А. П. Оленюк[2]
В. П. Ковальський[2]

ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНІ РІШЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ СУЧАСНОГО БІЗНЕС-ЦЕНТРУ ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

[1] ВСП Вінницький фаховий коледж будівництва, архітектури та дизайну КНУБА
[2] Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано особливості об'ємно-планувальних рішень сучасних бізнес-центрів. Роботу зосереджено на оптимізації функціонального зонування та підвищенні енергоефективності. Розглянуто взаємозв'язок архітектурної форми, планувальних рішень та енергоефективних технологій. Представлено методику оцінки ефективності об'ємно-планувальних рішень для бізнес-центрів.

Ключові слова: бізнес-центр, об'ємно-планувальні рішення, функціональне зонування, енергоефективність, офісні приміщення.

Abstract

The paper analyzes volumetric and planning solutions for modern business center premises. The focus is on optimizing functional zoning and improving energy efficiency. The interrelationship between architectural form, planning solutions, and energy-efficient technologies is considered. A methodology for evaluating the effectiveness of volumetric and planning solutions for business centers is presented.

Keywords: business center, volumetric planning solutions, functional zoning, energy efficiency, office premises.

Вступ

Сучасні бізнес-центри як складні багатофункціональні комплекси вимагають інноваційних підходів до організації простору, що зумовлено потребами динамічного бізнес-середовища та глобальними викликами енергоефективності. Об'ємно-планувальні рішення приміщень визначають не лише естетичний вигляд будівлі, але й її функціональність, ергономічність та енергоефективність, безпосередньо впливаючи на продуктивність працівників та експлуатаційні витрати [1-3].

У світовій архітектурній практиці останніх років чітко прослідковується тенденція до створення гнучких планувальних структур, що поєднують різні типи приміщень - від класичних офісних просторів до коворкінг-зон, атріумів та рекреаційних зон [4-6]. Такі рішення дозволяють не лише забезпечити комфортне середовище для роботи, але й значно мінімізувати енерговитрати шляхом оптимального використання природного освітлення, раціональної організації повітрообміну та ефективного зонування за тепловим режимом [7-9].

Особливої актуальності набуває інтеграція енергоефективних технологій у об'ємно-планувальні рішення, що дозволяє створювати не лише функціональні, але й економічно ефективні простори. Сучасні дослідження доводять, що до 30% економії енергоресурсів у бізнес-центрах може бути досягнуто саме за рахунок оптимальних об'ємно-планувальних рішень на етапі проектування.

Метою роботи є комплексний аналіз сучасних об'ємно-планувальних рішень приміщень бізнес-центрів, дослідження їх впливу на функціональні якості та енергоефективність будівель, а також визначення оптимальних принципів організації простору, що забезпечують синергію між комфортом користувачів та економією енергоресурсів.

Результати дослідження

Аналіз сучасних бізнес-центрів демонструє чітку тенденцію до формування диференційованої просторової структури, що поєднує різні типи приміщень у єдиний функціональний комплекс [10-12].

Сучасні офісні простори трансформуються від традиційних кабінетних систем до гібридних рішень, де відкриті open-space зони займають до 60% площі, а комбіновані системи з приватними кабінетами та переговорними кімнатами формують адаптивне середовище [11-14]. Особливу увагу приділено громадським зонам, які в сучасних бізнес-центрах займають 15-20% загальної площі. Як ілюструє схема функціонального зонування бізнес-центру "Be The One" (Рис. 1), громадські простори часто формують ядро будівлі, забезпечуючи оптимальні шляхи руху та просторову організацію [1, 2].

Експериментальні дослідження та нормування зокрема, ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» однозначно підтверджують прямий вплив об'ємно-планувальних параметрів на енергоефективність будівель. Ключовим параметром є компактність об'єму зниження якого є одним із базових принципів пасивного енергозбереження. Аналогічно, раціональна орієнтація будівлі з максимальним використанням сонячної енергії взимку та захистом від перегріву влітку є обов'язковим елементом сучасного проектування [3, 4]



Рис. 1. - Схема функціонального зонування сучасного бізнес-центру "Be The One".

Дослідження інноваційних планувальних рішень виявило високу ефективність гнучких систем з використанням мобільних перегородок, що дозволяють адаптувати простір під змінні потреби орендарів протягом. Біофільний дизайн з інтеграцією вертикальних садів та природних матеріалів не лише покращує естетичні якості, але й підвищує енергоефективність на 8-10% за рахунок покращення якості повітря та терморегуляції. Технологія подвійних фасадів з природною вентиляцією демонструє значний ефект у зниженні навантаження на системи кондиціювання – до 35% порівняно з традиційними рішеннями. Принцип роботи цієї системи детально ілюструє (Рис. 2) [5 - 7].

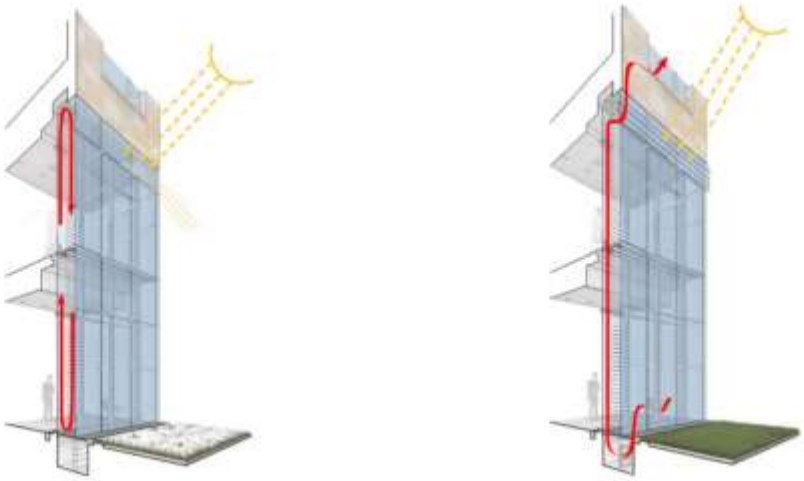


Рис. 2. - Принцип роботи подвійного фасаду з системою природної вентиляції.

Інтеграція сучасних енергоефективних технологій у об'ємно-планувальні рішення відкриває нові можливості для оптимізації. Системи рекуперації тепла, поєднані з атріумними просторами, забезпечують економію енергії. Розумні системи освітлення з датчиками руху та освітленості, інтегровані у підвісні стелі, дозволяють зменшити споживання електроенергії на 60-90%. Зелені дахи та фасади, крім естетичної складової, демонструють практичну ефективність у зниженні теплового навантаження влітку на 15-20%. Проведене дослідження довело, що оптимальні об'ємно-планувальні рішення дозволяють досягти синергетичного ефекту між функціональністю та енергоефективністю. Комбінація компактної форми, раціонального зонування та інтеграції інноваційних технологій забезпечує зниження експлуатаційних витрат на 25-30% при одночасному підвищенні комфорту користувачів, що робить такі рішення перспективними для майбутніх проектів бізнес-центрів

Висновки

Проведене дослідження доводить, що сучасні об'ємно-планувальні рішення бізнес-центрів є вирішальним чинником для досягнення оптимального співвідношення функціональності, комфорту користувачів та енергоефективності. Аналіз свідчить про невід'ємний зв'язок між архітектурною формою, внутрішнім зонуванням та експлуатаційними показниками будівлі.

Ключовим результатом роботи є визначення комплексу принципів, що забезпечують синергію між різними аспектами проектування:

1. Функціональна гнучкість досягається за рахунок поєднання open-space зон, приватних кабінетів та розвинених громадських просторів
2. Енергоефективність забезпечується через оптимізацію об'ємно-планувальних параметрів - компактності будівлі, раціональної орієнтації, застосування подвійних фасадів.
3. Технологічна інтеграція передбачає впровадження "розумних" систем освітлення, рекуперації тепла та біофільних рішень.

Проведене дослідження довело, що оптимальні об'ємно-планувальні рішення дозволяють досягти синергетичного ефекту між функціональністю та енергоефективністю. Комбінація компактної форми, раціонального зонування та інтеграції інноваційних технологій забезпечує зниження експлуатаційних витрат на 25-30% при одночасному підвищенні комфорту користувачів, що робить такі рішення перспективними для майбутніх проектів бізнес-центрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Особливості дизайну інтер’рів бізнес центрів | Савіна Наталія Олександрівна, канд. арх., доцент, Гнатюк Лілія Романівна // НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ. Київ 2020

2. Класифікація бізнес-центрів [Електронний ресурс] / І. М. Вознюк, М. Д. Бондар, Я. В. Гурман, В. П. Ковальський // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)», Вінниця, 16-17 червня 2022 р. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2022/paper/view/14393.

3. Шамраєва О. О. Міжнародний досвід та проблеми формування бізнес-центрів ї [Текст] / О. О. Шамраєва, В. П. Ковальський // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології в будівництві (2018)", 13-15 листопада 2018 р. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – С. 159-160.

4. Оленюк А. П. Історія формування та інноваційний розвиток бізнес-центрів [Електронний ресурс] / А. П. Оленюк, В. П. Ковальський // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Інноваційні технології в будівництві – 2022», Вінниця, 25 листопада 2022 р. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2022/paper/view/16749.

5. Ковальський В. П. Особливості формування бізнес-центрів [Текст] / В. П. Ковальський, О. П. Терещенко, О. О. Шамраєва // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2018. – № 2. – С. 122-128.

6. Оленюк А. П., Ковальський В. П. Дизайн і функціональність бізнес-центрів у великих містах / Енергоефективність в галузях економіки України – 2023: матеріли міжн. наук.-техн. конф. 23.11.2023 р. Вінниця 2023 URL: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2023/paper/view/19510

7. Loncour, X., Deneyer, A., Blasco, M., Flamant, G., Wouters, P. Ventilated Double Skin Façades: Classification & illustration of façade concepts (Contributed Report 03). Air Infiltration and Ventilation

Centre, International Energy Agency. 2005. URL: https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/ CR03_Ventilated_Double_Facades.pdf

8. Вертикальні сади в архітектурному дизайні: естетика, функціональність та екологічні переваги Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль, Україна // ЗВО «Університет Короля Данила», 2025. URL: https://surl.li/fpiwjn

9. Вознюк І. М. Класифікація бізнес-центрів [Електронний ресурс] / І. М. Вознюк, М.Д. Бондар, Я. В. Гурман, В. П. Ковальський // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)», Вінниця, 16-17 червня 2022 р. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2022/paper/view/14393

10. Гурман Я. В. Принципи та прийоми розміщення внутрішніх приміщень в офісних центрах за часів пандемії [Електронний ресурс] / Я. В. Гурман, В. П. Ковальський, І. М. Вознюк // Матеріали L 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-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12696

11. Ковальський В. П. Особливості проектування громадських будівель [Електронний ресурс] / В. П. Ковальський, А. І. Куртак // 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-fbtegp/all-fbtegp-2017/paper/view/2406.

12. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).

13. Ковальський В. П., Оленюк А. П. Об`ємно-планувальні рішення підземного простору бізнес-центру // Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 24-27 березня 2025 р. Електрон. текст. дані. 2025. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/24362.

14. Оленюк А.П. Роль бізнес-центрів у розвитку міських центрів і інфраструктури [Електронний ресурс] / А.П. Оленюк, В. П. Ковальський // Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернетконференції «Сучасні проблеми містобудування. Перспективи та пріоритети розвитку», Луцьк, 17 листопада 2023 р. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: https://037f85c3-7657-4024-b2ee56df95e03bf0.filesusr.com/ugd/8a91c4_6cc06cbab07e42b7b6fd4c6db97cb63d.docx?dn=%D0%9E%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D1%8E%D0%BA.docx

Любарський Сергій Степанович- викладач, Вінницький фаховий коледж будівництва, архітектури та дизайну Київського національного університету будівництва і архітектури e-mail: sestls71@gmail.com

Оленюк Анастасія Павлівна — студентка групи БМ-24м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: olenuknasta@gmail.com

Ковальський Віктор Павлович — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com

Науковий керівник: ***Ковальський Віктор Павлович*** — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com

Lyubarskyi Serhiy S – Lecturer, Vinnytsia Professional College of Construction, Architecture and Design Kyiv National University of Construction and Architecture e-mail: sestls71@gmail.com

Oleniuk Anastasia P., student of BM-24m group, Faculty of Heat and Power Engineering and Gas Supply Construction, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olenuknasta@gmail.com

Kovalskiy Viktor P. — Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia e-mail: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com

Supervisor: ***Kovalskiy Viktor P***. — Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia e-mail: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com

УДК 625.7/.8:620.9

В. В. ЛЮБИЧ

О. А. АВРАМЧУК

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧЕ ПРОЄКТУВАННЯ НОВИХ ДОРІГ І ТРАНСПОРТНИХ РОЗВ'ЯЗОК

Вінницький національний технічний університсет

Анотація

У тезі розглянуто сучасні принципи енергозберігаючого проєктування автомобільних доріг і транспортних розв'язок. Проаналізовано технологічні, конструктивні та організаційні рішення, спрямовані на зниження енерговитрат у процесах будівництва, експлуатації та утримання транспортної інфраструктури. Визначено можливості використання енергоефективних матеріалів, інтелектуальних систем керування рухом, а також впровадження «зелених» стандартів дорожнього проєктування. Обґрунтовано доцільність інтеграції принципів енергоощадності на всіх етапах життєвого циклу дорожніх об'єктів.

Ключові слова: *енергоефективність, дорожнє будівництво, транспортні розв'язки, стале проєктування, інтелектуальні системи, енергозбереження.*

Abstract

The paper examines modern principles of energy-efficient design of new roads and transport interchanges. Technological, structural, and organizational solutions aimed at reducing energy consumption during the construction, operation, and maintenance of transport infrastructure are analyzed. The possibilities of using energy-efficient materials, intelligent traffic management systems, and "green" design standards are outlined. The necessity of integrating energy-saving principles at all stages of the life cycle of road infrastructure is substantiated.

Keywords: *energy efficiency, road construction, transport interchanges, sustainable design, intelligent systems, energy saving.*

Вступ

Підвищення енергоефективності транспортної інфраструктури є одним із ключових завдань сталого розвитку України. У дорожньому господарстві енергоспоживання формується на всіх етапах життєвого циклу — від добування матеріалів до експлуатації дороги [1]. З огляду на високі ціни на енергоносії та екологічні виклики, особливої актуальності набуває впровадження принципів енергозберігаючого проєктування нових автомобільних доріг і транспортних розв'язок, які забезпечують економію ресурсів та зниження вуглецевих викидів [2].

Основна частина

Ефективним напрямом енергозберігаючого проєктування є впровадження холодних технологій улаштування асфальтобетону — зокрема, холодного ресайклінгу, який передбачає повторне використання фрезерованого матеріалу прямо на місці виконання робіт. Такий підхід дозволяє

скоротити енергоспоживання під час виробництва та транспортування асфальтобетонних сумішей на 20–35 %. Практичний приклад реалізації такого підходу спостерігається в рамках програми модернізації доріг у Полтавській області, де у 2023–2024 рр. було відремонтовано понад 40 км покриття з використанням технології холодного ресайклінгу, що забезпечило економію пального до 28 % та зниження викидів CO_2 на 15 % [11].

Ще одним перспективним рішенням є застосування технологій теплого асфальтобетону (WMA — Warm Mix Asphalt). Використання спеціальних присадок дозволяє знизити температуру укладання асфальтових сумішей на 20–30 °C, що скорочує споживання енергії під час виробництва на 20–25 %. У країнах ЄС ця технологія є стандартною для дорожнього будівництва. Наприклад, у Німеччині понад 40 % нових покриттів у 2022–2024 рр. було виготовлено з використанням WMA, що дозволило зменшити річні витрати енергії галузі на понад 10 % [12].

Інноваційним напрямом є також використання сонячних доріг (Solar Road Systems) або інтегрованих фотоелектричних модулів у дорожні покриття. Хоча технологія перебуває на стадії досліджень, окремі пілотні проєкти — наприклад, у Франції (Wattway) та Нідерландах (SolaRoad) — продемонстрували можливість вироблення до 70–100 кВт·год на добу з ділянки довжиною лише 120–150 м, що може компенсувати енергоспоживання дорожньої інфраструктури, зокрема освітлення [13].

В Україні набувають розвитку проєкти енергоефективних тунелів та шляхопроводів, які використовують LED-освітлення з системами автоматичного затемнення та розумного керування. Наприклад, на одній із транспортних розв’язок у Львівській області в 2024 році впроваджено систему адаптивного освітлення Siemens Sitraffic, що дозволило зменшити витрати електроенергії на 42 % у період зимового пікового навантаження [14].

У сфері експлуатації доріг важливим є застосування систем інтелектуального моніторингу дорожнього полотна, які контролюють шорсткість, рівність і температуру покриття. Такі системи у 2023–2024 рр. були впроваджені у межах проекту "Digital Roads of Ukraine", де їх використання дозволило скоротити витрати на оперативне утримання на 18 % та зменшити непродуктивні поїздки дорожньої техніки на 12 %, що прямо впливає на енергозбереження [15].

Крім того, дедалі частіше застосовується підхід "зелених коридорів", що передбачає поєднання дорожньої інфраструктури з біоінженерними рішеннями. Наприклад, уздовж автомагістралей Словенії та Швеції використовуються шумозахисні екрани з інтегрованими сонячними панелями та зеленими насадженнями, які забезпечують додаткове вироблення електроенергії (до 45–60 МВт·год/рік на 1 км екранів) та покращують мікроклімат дорожніх зон [16]. Подібні проекти у 2024 р. були включені у рекомендації для українських регіональних служб автодоріг у рамках програми відновлення інфраструктури UNDP [17].

Висновки: Енергозберігаюче проєктування автомобільних доріг і транспортних розв’язок є важливим чинником сталого розвитку транспортної системи України. Реалізація цього підходу вимагає поєднання інноваційних технологій, сучасних матеріалів і цифрових інструментів проєктування. Інтеграція принципів енергоощадності в нормативну та планувальну практику дорожнього господарства сприятиме зниженню витрат на будівництво та експлуатацію, підвищенню екологічної безпеки й конкурентоспроможності національної інфраструктури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Проектування. Основні положення. – Київ: Мінрегіон України, 2015. – 72 с.
2. European Commission. *Energy Efficiency Directive (2023/1791/EU)*. – Brussels, 2023.
3. Гречаник, С. І. Оптимізація трасування автомобільних доріг із урахуванням енерговитрат / С. І. Гречаник // Дороги і мости. – 2021. – № 26. – С. 48–54.

4. Melnyk, O., & Didenko, S. (2022). *Smart Design in Road Engineering Using GIS Technologies*. Journal of Civil Infrastructure, 10(2), 41–49.
5. Кузьменко, П. М. Використання енергоефективних матеріалів у дорожньому будівництві / П. М. Кузьменко // Сучасні проблеми будівництва. – 2020. – Вип. 57. – С. 83–90.
6. International Transport Forum (ITF). *Intelligent Transport Systems for Sustainable Mobility*. – Paris: OECD, 2021.
7. Бойко, В. І. Системи адаптивного освітлення доріг як елемент енергозбереження / В. І. Бойко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2022. – № 100. – С. 22–28.
8. United States Green Building Council (USGBC). *LEED for Infrastructure: Rating System Overview*. – Washington, 2021.
9. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. *Концепція енергоефективного розвитку транспортної галузі до 2030 року*. – Київ, 2023.
10. World Bank. *Low-Carbon Road Design and Management*. – Washington, 2022.
11. Державне агентство автомобільних доріг України. Звіт про впровадження технологій ресайклінгу у 2023–2024 рр. — Київ, 2024.
12. German Federal Highway Research Institute (BASt). Warm Mix Asphalt Implementation Report. — Berlin, 2024.
13. European Photovoltaic Infrastructure Review. Solar Road Pilot Projects Overview. — Brussels, 2023.
14. Львівська обласна військова адміністрація. Аналітичний звіт щодо модернізації транспортних розв’язок у 2024 році. — Львів, 2024.
15. Digital Roads of Ukraine. Technical Implementation Summary 2024. — Київ, 2024.
16. Scandinavian Transport Agency. Green Corridor Technologies Report. — Oslo–Stockholm, 2023.
17. UNDP Ukraine. Infrastructure Modernization Guidelines 2024. — Київ, 2024.

Любич Володимир Володимирович – викладач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Аврамчук Ольга Андріївна — студент групи АДВ-22б, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Olga1980avramchuk@gmail.com

Lyubich Volodymyr V. – lecturer at the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Avramchuk Olga A. — student of group ADV-22b, Faculty of Heat and Power Engineering and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Olga1980avramchuk@gmail.com

УДК 625.7/.8:620.193.1

В. В. ЛЮБИЧ

М. Т. КУШНІР

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕРОБЛЕНИХ МАТЕРІАЛІВ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезі розглянуто сучасні тенденції та перспективи використання перероблених матеріалів у дорожньому будівництві України. Проаналізовано основні види вторинних матеріалів — асфальтобетонний гранулят, будівельні відходи, промислові шлаки, пластики та гума — їх технічні властивості, переваги та обмеження. Оцінено економічні й екологічні переваги повторного використання матеріалів у дорожніх конструкціях. Обґрунтовано необхідність нормативного удосконалення та впровадження інноваційних технологій для забезпечення сталого розвитку дорожнього господарства.

Ключові слова: *дорожнє будівництво, перероблені матеріали, асфальтобетонний гранулят, сталість, екологічна безпека, ресурсоефективність.*

Abstract

The paper analyzes modern trends and prospects for using recycled materials in road construction in Ukraine. The main types of secondary materials — reclaimed asphalt pavement, construction waste, industrial slags, plastics, and rubber — are reviewed with their technical properties, benefits, and limitations. The economic and environmental advantages of material reuse in road structures are evaluated. The necessity of regulatory improvements and the implementation of innovative technologies to ensure sustainable road development is substantiated.

Keywords: *road construction, recycled materials, reclaimed asphalt pavement, sustainability, environmental safety, resource efficiency.*

Вступ

Сучасна дорожня галузь України стикається з подвійним викликом — необхідністю оновлення зношеної дорожньої інфраструктури та зниженням екологічного навантаження від виробництва традиційних будівельних матеріалів. В умовах переходу до сталого розвитку актуальним є впровадження технологій повторного використання відходів виробництва та експлуатації (асфальтобетону, бетону, гуми, полімерів тощо) у дорожньому будівництві [1].

Використання вторинних ресурсів сприяє зменшенню обсягів сміттєзвалищ, економії природних ресурсів і зниженню вуглецевого сліду галузі [2].

Основна частина

Використання перероблених матеріалів у дорожньому будівництві набуває особливого значення в умовах підвищених вимог до сталості інфраструктури та необхідності оптимізації витрат. Світова практика демонструє, що інтеграція перероблених матеріалів у дорожні шари дозволяє одночасно вирішувати економічні, екологічні та технологічні завдання, зменшуючи використання природних ресурсів і мінімізуючи вплив дорожньої галузі на навколишнє середовище.

Одним із найбільш ефективних підходів є повторне використання RAP (Reclaimed Asphalt Pavement). У країнах ЄС частка RAP у дорожніх сумішах у середньому становить 15–25 %, тоді як у США цей показник сягає 40–50 % завдяки підтримці Федеральної дорожньої адміністрації (FHWA). Наприклад, у штаті Міннесота застосування сумішей із 35 % RAP у поєднанні з полімермодифікованим бітумом у 2022–2023 рр. забезпечило збільшення терміну служби покриття на 20 % та скорочення витрат на будівництво на 18 % [11].

Перспективним напрямом є застосування бетонного щебеню, отриманого з демонтажу будівельних конструкцій, у шарах дорожньої основи. Такий матеріал забезпечує достатню міцність і може повністю замінити традиційний природний щебінь у низці застосувань. Наприклад, у Чехії у 2023 році було реалізовано проєкт реконструкції автомагістралі D1, у якому понад 120 тис. тонн бетонного грануляту використано як основу дорожнього одягу, що дозволило зменшити вартість робіт на 12 % і скоротити викиди CO_2 на 9 % [12].

Окремої уваги заслуговує використання сталеплавильних шлаків, які сьогодні активно застосовуються в багатьох країнах. В Італії та Японії частка шлакових матеріалів у дорожньому будівництві коливається в межах 20–30 %, оскільки вони мають високу стійкість до навантажень і відмінні дренажні властивості. Дослідження, проведене на автомагістралі Togane в Японії у 2021–2024 рр., показало, що застосування сталеплавильних шлаків у нижніх шарах забезпечило підвищення несучої здатності на 15 % і збільшення терміну експлуатації на 8–10 років порівняно з традиційними сумішами [13].

Широке поширення отримала і технологія гумомодифікованих асфальтів, яка дозволяє ефективно переробляти відпрацьовані автомобільні шини. У Португалії у 2023 році на автомагістралі A-23 було влаштовано 18-кілометрову ділянку з використанням асфальтобетону, модифікованого гумовою крихтою (2,5–3 %), що забезпечило зменшення шумового навантаження на 5–7 дБ та збільшення стійкості до колієутворення на 35 % [14]. Подібні технології поступово впроваджуються і в Україні, зокрема під час будівництва окремих ділянок місцевих доріг у Дніпропетровській області у 2024 році [15].

Перероблені полімери також знаходять застосування в дорожньому будівництві — не лише в модифікації бітуму, а й у виготовленні геосинтетичних матеріалів: георешіток, геотекстилю та армувальних елементів. У Нідерландах у 2022–2024 рр. реалізовано проєкт PlasticRoad, в якому для облаштування модульних дорожніх конструкцій використано понад 70 % рециклованих полімерів, що скоротило масу конструкції на 65 % та зменшило потребу в природних матеріалах на 80 % [16]. Аналогічні рішення можуть бути інтегровані в українські дорожні проєкти після адаптації відповідних стандартів.

Розвиток нормативної бази залишається важливою умовою інтеграції вторинних матеріалів. Окрім адаптації європейських стандартів (EN 13108-8, EN 933-11), перспективним є впровадження підходів, використаних у країнах Балтії. Так, у Литві з 2022 року діє оновлений національний стандарт LST 2010:2022, який передбачає використання до 40 % RAP у верхніх шарах за умови застосування модифікаторів. Це дозволило збільшити частку ресайклінгових матеріалів у дорожніх роботах до рекордних 27 % у 2024 р. [17].

Економічні вигоди від використання вторинних матеріалів підтверджені численними міжнародними дослідженнями. Наприклад, аналіз, проведений Європейською асоціацією асфальтових доріг (EAPA) у 2023 році, показав, що системний перехід на технології ресайклінгу може знизити собівартість будівництва на 15–25 %, а також скоротити витрати на утримання протягом життєвого циклу на 10–18 % [18]. В Україні подібні результати були отримані під час реконструкції окремих ділянок дороги М-03 (Полтавська область), де застосування технологій холодного ресайклінгу дозволило скоротити вартість робіт на 14 % і зменшити потребу в нових матеріалах на 60 % [19].

Висновки: Перероблені матеріали становлять вагомий ресурс для розвитку дорожньої інфраструктури України, забезпечуючи екологічну, економічну та технічну ефективність. Необхідно активізувати дослідження їх властивостей, створити нормативну базу для безпечного використання у дорожніх конструкціях і впроваджувати сучасні технології переробки та модифікації матеріалів. У перспективі комплексна політика повторного використання матеріалів може стати основою сталого розвитку дорожнього господарства України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Асфальтобетон. Методи випробування. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 64 с.
2. European Commission. *Circular Economy Action Plan for the Construction Sector*. – Brussels, 2022.
3. Хижняк, В. В. Використання фрезерованого асфальтобетону у дорожньому будівництві / В. В. Хижняк // Дороги і мости. – 2020. – № 25. – С. 33–39.
4. Melnyk, O., & Didenko, S. (2023). *Resource Efficiency in Road Infrastructure*. Journal of Sustainable Construction, 11(3), 44–52.
5. Кузьменко, П. М. Застосування промислових шлаків у дорожньому будівництві / П. М. Кузьменко // Сучасні проблеми архітектури та будівництва. – 2021. – Вип. 58. – С. 72–78.
6. Бойко, В. І. Модифікація бітумів полімерними добавками / В. І. Бойко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2019. – № 99. – С. 101–107.
7. European Asphalt Pavement Association (EAPA). *Use of Recycled Materials in Asphalt Pavements*. – Brussels: EAPA, 2020.
8. Мінінфраструктури України. *Стратегія розвитку дорожньої галузі до 2030 року*. – Київ, 2022.
9. EN 13108-8:2016. *Bituminous mixtures – Material specifications – Part 8: Reclaimed asphalt*. – Brussels: CEN, 2016.
10. World Bank. *Sustainable Road Development Practices in Eastern Europe*. – Washington: WB, 2021.
11. FHWA. Recycled Asphalt Pavement (RAP) Performance Report 2023. — Washington, 2023.
12. Czech Road and Motorway Directorate. D1 Modernization Environmental Report 2023. — Prague, 2023.
13. Japan Road Association. Steel Slag Utilization Study 2024. — Tokyo, 2024.
14. Portugal Infrastructure Agency. Rubberized Asphalt Pilot Project A-23. — Lisbon, 2023.
15. Служба автомобільних доріг у Дніпропетровській області. Звіт про впровадження модифікованих асфальтів, 2024.
16. PlasticRoad Consortium. Technical Summary Report 2024. — Amsterdam, 2024.
17. Lithuanian Standards Board. LST 2010:2022 — Recycled Asphalt Mix Requirements. — Vilnius, 2022.
18. EAPA. Asphalt Circularity and Recycling Report. — Brussels, 2023.
19. Державне агентство автомобільних доріг України. Аналітичний звіт щодо реконструкції М-03, 2024.

Любич Володимир Володимирович – викладач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Кушнір Мирослав Тарасович — студент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури,Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, Україна, email: myroslav2004k@gmail.com

Lyubich Volodymyr V. – lecturer at the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Kushnir Miroslav T. — student of group ADV-23mc, Faculty of Heat and Power Engineering and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: myroslav2004k@gmail.com

УДК 728.1:711.58:620.9

О. В. Ковальський[1]
Л. О. Ткач[2]
В. П. Ковальський[1]

АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ СОЦІАЛЬНОГО ЖИТЛА

[1] Вінницький національний технічний університет
[2] ВСП Вінницький фаховий коледж будівництва, архітектури та дизайну КНУБА

Анотація
У роботі розглядаються ключові підходи до архітектурно-планувальних принципів формування соціального житла.
Ключові слова: соціальне житло, доступність житла, житлова типологія, житлові проєкти Європи, житлове середовище.

Abstracts
The paper examines key approaches to architectural and planning principles for the development of social housing.
Key words: social housing, housing typology, accessibility, energy efficiency, cooperative housing, modular construction, sustainable urban development, social integration.

Вступ

Проблематика забезпечення населення доступним і комфортним житлом набуває особливої актуальності в умовах урбанізації, соціальної поляризації та зростання вартості нерухомості у великих містах [1-3]. Соціальне житло – це не лише питання надання даху над головою малозабезпеченим верствам населення, а й стратегічний інструмент формування збалансованого міського середовища, розвитку соціальної інтеграції та запобігання маргіналізації окремих груп [4-6].

Європейська практика доводить, що якісна архітектура та продумане містобудівне планування можуть суттєво підвищити ефективність соціального житла, перетворюючи його на повноцінний елемент міського життя [7-9]. Протягом останніх десятиліть уряди Німеччини, Австрії, Данії, Нідерландів, Франції та Іспанії реалізували низку інноваційних програм, спрямованих на інтеграцію соціального житла у структуру міста через багатофункціональні простори, змішані типи забудови та стале використання ресурсів.

Важливо, що сучасне соціальне житло у Європі все частіше розглядається не як окремий тип будівництва для малозабезпечених, а як комплексне рішення у межах політики сталого міського розвитку. Проєкти останніх років демонструють тенденцію до архітектурної естетики, високих стандартів енергоефективності, використання місцевих матеріалів і створення спільнотних просторів, які формують почуття належності мешканців до місця проживання [9-11].

У цьому контексті розгляд десяти реалізованих європейських проєктів, представлених у матеріалах видання «Хмарочос» (2020), надає цінну аналітичну базу для узагальнення найуспішніших практик архітектурного, планувального та соціального характеру, що формують нову парадигму соціального житла як відкритого, інклюзивного та сталого середовища.

Мета і завдання дослідження.

Мета: визначити особливості формування соціального житла, які забезпечують його доступність, якість довкілля та інтеграцію в міське середовище.

Основна частина

Для України аналіз європейських практик соціального житла має особливе значення у період післявоєнного відновлення, коли питання масового будівництва доступного, швидкого та якісного житла стає критичним для реінтеграції переселенців, молодих спеціалістів та соціально вразливих категорій населення. Вивчення підходів до формування соціального житла у європейських країнах дозволяє визначити принципи, які можуть бути адаптовані для національної житлової політики, з урахуванням економічних, кліматичних та культурних особливостей.

Європейські проєкти соціального житла демонструють перехід від концепції «мінімального житла» до створення повноцінного житлового середовища, що враховує якість простору, інсоляцію, доступ до зелених зон і соціальної інфраструктури. Планування ґрунтується на принципах гнучкості та адаптивності, що дозволяють трансформувати квартири під потреби різних соціальних груп – від молодих родин до людей похилого віку.

У комплексі Wohnprojekt Wien (Відень, Австрія) архітектори передбачили різноманітні типи квартир з можливістю об'єднання, а також спільні простори – кухні, дитячі кімнати, тераси, де мешканці можуть організовувати дозвілля (рис. 1). Такий підхід зміцнює соціальні зв'язки та формує відчуття громади. Типова квартира має житлову площу близько 69,83 м^2 [12].



Рис. 1 – Квартал соціального житла Вільгельмсбург (Weltquartier Wilhelmsburg), Відень, Австрія

Подібний принцип використано у проєкті Canopea (Гренобль, Франція), де модульна структура дозволяє поєднувати квартири різного розміру навколо «соціальних ядер» – відкритих терас і внутрішніх дворів, які стимулюють комунікацію мешканців і створюють комфортний мікроклімат (рис. 2) [13].



Рис. 2 – Багатоповерхова модульна концепція соціального житла, проєкт Canopea, Франція

На відміну від традиційної радянської моделі соціального житла, європейська практика відмовляється від периферійної локалізації таких комплексів. Сучасне соціальне житло інтегрується у центральні або реконструйовані промислові зони, забезпечуючи рівний доступ до роботи, транспорту та соціальних послуг.

Проєкт Zwicky-Süd (Цюрих, Швейцарія) є прикладом реінтеграції колишньої промислової території в житловий квартал, де співіснують соціальні та комерційні житлові одиниці (рис. 3). Будівлі виконано з екологічних матеріалів, а на дахах облаштовані зелені тераси з громадськими садами [14].



Рис. 3 – Проєкт соціального житла Zwicky-Süd, Цюрих, Швейцарія

У Данії комплекс Urban Rigger вирішує проблему дефіциту житла для студентів шляхом плавучих модульних блоків на основі морських контейнерів. Це приклад мобільної архітектури, яка поєднує функціональність, енергоефективність та відновлювані джерела енергії (сонячні панелі, теплові насоси) [15].

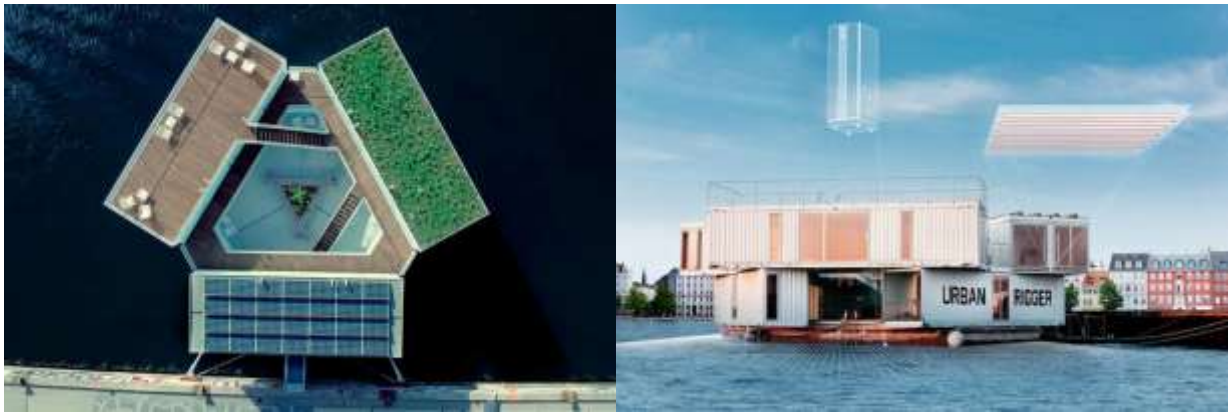


Рис. 4 – Комплекс соціального житла Urban Rigger, Данія

Типологія житлових систем. У проєктах відзначено застосування різноманітних типів житла – від компактних квартир для молодих родин до багаторівневих житлових блоків із внутрішніми дворами й спільними зонами. Наприклад, у швейцарському кварталі Цвікі-Зюд переосмислено колишню промислову зону під житловий корпус із трьома типами забудови: висотна секція, блокова забудова та залоподібна будівля.

Архітектурно-планувальні рішення. Підвищена гнучкість планування, наявність спільних зон (кухні, майстерні, дахові тераси), орієнтація на автомобіле-залежність мінімальна. Наприклад, у Вільгельмсбурґ (Гамбург) створено житловий комплекс для мешканців із понад 30 національностей із різним плануванням квартир і орієнтацією на доступність.

Висновки

Соціальне житло у сучасному міському середовищі виходить за межі мінімальних житлових стандартів і стає інструментом соціальної інтеграції, сталого розвитку та енергозбереження.

Подальший розвиток соціального житла в Україні потребує адаптації європейського досвіду з урахуванням національних норм, кліматичних умов і соціально-економічних реалій, а також державної підтримки програм сталого будівництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковальський В. П., Антепа Д. Ю. Основні принципи зеленого будівництва // Proceedings of the 6th International scientific and practical conference «European congress of scientific achievements», Barcelona, 17-19.06.2024. 2024. Pp. 227-232. URL: https://sci-conf.com.ua/vi-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-europeancongress-of-scientific-achievements-17-19-06-2024-barselona-ispaniya-arhiv.

2. Ковальський В. П. Сучасні тенденції у зведенні монолітних і цегляних житлових будинків [Текст] / В. П. Ковальський, А. В. Бондар, Г. І. Лисій // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2015. - No 1. - С.106-110.

3. Погосян С. К. Актуальні методи формування урбанізованого архітектурно-містобудівного середовища [Електронний ресурс] / С. К. Погосян, М. М. Марчук, В. П. Ковальський // Матеріали LII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 21-23 червня 2023 р. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2023/paper/view/17598.

4. Ковальський В. П. Дизайн міського середовища [Текст] / В. П. Ковальський, М. О. Постолатій, І.М. Вознюк // Стратегія розвитку міст: молодь і майбутнє (інноваційний ліфт) : Матеріали Міжнаро- дної науково-практичної конференції (15-16 квітня 2020 року). – Харків :и Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, 2020. – С. 317-322.

5. Kalafat K. Technical research and development [Text]: collective monograph / Kalafat K., Vakhitova L., Drizhd V., etc. – International Science Group. – Boston, : Primedia eLaunch 2021. – 616 p

6. Ковальський В. П. Сучасні стилі архітектури [Текст] / В. П. Ковальський, М. О. Постолатій, Д. О. Войтюк // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Стратегія розвитку міст: молодь і майбутнє (інноваційний ліфт)", квітень-травень 2019 р. – Харків : Харківський національний університет міського господарства імені О.Б. Бекетова, 2019. – С. 136-138.

7. Дзюбенко А. Ю. Підвищення енергоефективності житлових будинків при реконструкції [Електронний ресурс] / А. Ю. Дзюбенко, О. І. Клепач, В. П. Ковальський // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Інноваційні технології в будівництві – 2022», Вінниця, 25 листопада 2022 р. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2022/paper/view/16754.

8. Абрамович В. С. Застосування адаптивної архітектури при ревіталізації будівель і міських просторів [Електронний ресурс] / В.С. Абрамович, В.П. Ковальський, А.В. Бондар // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології в будівництві (2020)", 10-12 листопада 2020 р. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/viewFile/10868/9072 .

9. Ковальський В. П. Підвищення ефективності в житлово-комунальному господарстві [Текст] / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, М. О. Постолатій // Матеріали науково-практичної конференції "Енергія. Бізнес. Комфорт", 26 грудня 2018 р. – Одеса : ОНАХТ, 2019. – С. 2-3

10. Постолатій М. О. Об'ємно-планувальні рішення багатоповерхових будівель [Текст] / М. О. Постолатій, А. В. Ковальський, В. П. Ковальський // Тези доповідей Всеукраїнської науковопрактичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2020), м. Вінниця, 18-29 травня 2020 р. –2020. – С. 219- 221.

11. Чинники комфортності багатоквартирного житла, що залежать від його поверховості [Електронний ресурс] / В. П. Очеретний, О. В. Ковальський, В. П. Ковальський, Р. В. Сівак // Матеріали L 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-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12683.

12. Десять реалізованих проєктів соціального житла у Європ URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/42199/20995.pdf?sequence=

13. Canopea: Solar Energy Modular House with 10 kW Solar Panels. URL: https://blog.prefabium.com/2019/12/canopea-solar-energy-modular-house-with.html

14. Schneider Studer Primas. URL: https://world-architects.com/en/schneider-studer-primas-zurich/project/zwicky-sud

15. Engineering the visions of tomorrow´s architecture. URL: https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-stories/cf/engineering-the-visions-of-tomorrow-s-architecture/

Ковальський Олександр В`ячеславович – студент групи БМ-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Ткач Людмила Олексіївна —викладач спецдисциплін вищої категорії, ВСП Вінницький фаховий коледж будівництва, архітектури та дизайну КНУБА, e-mail: tla74v@gmail.com

Ковальський Віктор Павлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kovalskiy@vntu.edu.ua

Kovalskyi Oleksandr – student of group BM-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Tkach Liudmyla O. — is a senior category teacher of special disciplines, Vinnytsia Professional College of Construction, Architecture and Design of KNUCA, Vinnytsia email: tla74v@gmail.com

Kovalskyi Viktor Pavlovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kovalskiy@vntu.edu.ua

UDC 666.96

P. O. Zoria[1]
V. V. Tarnavskyi[2]
V.P. Kovalskiy[1]

APPLICATIONS OF PERLITE IN CONSTRUCTION

[1]Vinnytsia National Technical University;
[2]Vinnytsia Transport Professional College

Анотація

В роботі визначені та систематизовані ключові напрямки застосування перліту в будівельній індустрії, проаналізовані його фізико-технічні переваги у порівнянні з традиційними матеріалами, а також обґрунтованні перспективи його ширшого використання в Україні.

Ключові слова: перліт, легкій заповнювач, сухі будівельні суміші, властивості, будівництво.

Abstract

The paper identifies and systematizes key areas of application for perlite in the construction industry, analyzes its physical and technical advantages over traditional materials, and substantiates the prospects for its wider use in Ukraine.

Keywords: perlite, lightweight aggregate, dry construction mixtures, properties, construction..

Introduction

Perlite materials are replacing unsafe polymer insulation, and giving traditional materials previously unattainable thermal and sound insulation properties [1-3]. One of the significant advantages is that perlite reduces fire hazard and increases the fire resistance of structures. Perlite is included in the composition of fire-resistant paints, pastes, and fire-retardant plasters [4-6]. Perlite materials can improve the physical properties of existing structures. Regulating the humidity of structures and the microclimate of rooms is one of the features of perlite-based materials [6-8].

The aim of the work is to identify and systematize the key areas of application of perlite in the construction industry, analyze its physical and technical advantages and economic efficiency in comparison with traditional materials, and justify the prospects for its wider use in Ukraine.

Research Results

Modern construction is constantly looking for innovative, energy-efficient, and environmentally friendly materials. Perlite (expanded perlite sand) is a natural material of volcanic origin, which, thanks to its unique porous structure, is one of the most promising lightweight fillers and thermal insulation materials[9-11]. With the growing demand for “green” construction and the need to improve the energy efficiency of buildings, research and implementation of perlite is becoming critically important [12-14].

Perlite deposits are found in many countries: Greece, Turkey, Hungary, Bulgaria, Italy, the USA, and Mongolia. There are also large reserves of perlite rock in Ukraine. The production of expanded perlite is also well developed throughout the world. Perlite is used primarily where effective insulation, fire safety, durability, and environmental friendliness are required [14-16]. The recent tightening of thermal insulation and environmental standards has led to a powerful promotion of perlite in the construction industry. Currently, perlite is widely used for insulating facades, roofs, and floors. Perlite is used to produce thermal insulation plasters, masonry mortars, and even adhesive compounds.

Expanded perlite sand is mainly used in construction and for the production of building materials:

- bulk density – 50–150 kg/m³;
- particle size distribution – 0.16–5.0 mm;
- thermal conductivity – 0.043–0.058 W/(m·K)
- application temperature – from -200°C to +900°C.

The simplest type of thermal insulation. Used in the USA and Ukraine. In Ukraine, the bags are pre-pressed for ease of subsequent installation of reinforced screed. The thickness of such a thermal insulation

element is about 100 mm, the average density is about 200 kg/m3, and the thermal conductivity is approximately 0.065 W/(m·K). It is used to insulate cold attics and create warm preparations under floors.

Widely used in the USA (more than 60% of expanded perlite production) and European countries. Loose-fill insulation is used for walls made of hollow concrete and ceramic blocks, for insulating floors, flat roofs, and creating warm floors on the ground. To improve its performance characteristics, expanded perlite can be treated with organosilicon compounds. Advantages of perlite loose-fill insulation:

- evenly fills all voids and cavities in the structure;
- does not compact during use;
- increases the thermal insulation of the structure by 3 or more times;
- increases the fire resistance of the structure by 2 to 4 times;
- is not susceptible to biological effects (decay, insects, and rodents);
- can be installed without special training or equipment.

The effectiveness of perlite insulation has been confirmed by its use in Germany, Austria, and the USA.

Plaster. Suitable for both manual application and application with plastering machines. A layer up to 50 mm thick can be applied in one pass, with a total thickness of thermal insulation plaster of up to 100 mm. Characteristics:

- density - 400...700 kg/m^3
- compressive strength - 0.5...2.5 MPa
- thermal conductivity - 0.09...0.15 W/(m·K).

In Ukraine, such plasters form the basis of insulation systems, which also include reinforcing mesh (made of fiberglass or ceramic) and decorative protective finishing plaster.

Perlite-cement dry mixes. Used in Europe and Ukraine as thermal insulation plaster mixes, lightweight floor preparations, and masonry mortars. They can be used both in the construction of new buildings and in the renovation of old buildings that do not meet modern thermal insulation requirements.

Lightweight masonry mortars. Their main purpose is to achieve thermal uniformity in masonry made from effective wall materials: porous ceramics, perlite concrete blocks, or glass blocks. Characteristics:

- density – 900–1250 kg/m³
- compressive strength grade – 50–100
- thermal conductivity – 0.19–0.32 W/(m·K).

Due to their strength and deformation properties, lightweight perlite mortars are recommended for masonry made of ceramic bricks and large-format hollow ceramic blocks.

Monolithic perlite concrete Can be manufactured as ready-mixed concrete or as a dry mix, mixed with water directly at the construction site. Characteristics:

- density – 600–800 kg/m³
- compressive strength – 2.5–5.0 MPa
- Thermal conductivity – 0.11–0.16 W/(m·K).

Perlite concrete wall blocks. Solid wall blocks with a density of 500–700 kg/m³ are manufactured using vibropressing and are used in Ukraine for the construction of low-rise, multi-storey, and high-rise buildings. Due to its granular structure and the presence of a glass phase in the perlite aggregate, perlite concrete has better thermal performance than autoclaved aerated concrete of similar density.

Bitumen perlite. Dry granular material consisting of perlite grains coated with bitumen. Used for insulation and repair of flat roofs. It is poured onto a bitumen-coated base and rolled with a roller. • Properties

- Bulk density – 180–190 kg/m^3
- Density when compacted – 220–250 kg/m^3
- Compressive strength – 0.25–0.35 MPa
- Thermal conductivity – 0.055–0.067 W/(m·K).

This approach not only reduces the environmental burden, but also creates new economic opportunities, turning waste into valuable resources.

Conclusion

Given the energy challenges, the use of perlite in Ukraine, where there are significant deposits, should be expanded, especially in the field of monolithic housing construction and thermal modernization of existing housing stock.

LITERATURE

1. Bereziuk, O., M. Lemeshev, and A. Cherepakha. "Ukrainian prospects for landfill gas production at landfills." Theoretical aspects of modern engineering: 58- 65. (2020).
2. Материали за XIII международна научна практична конференция «Найновите постижения на европейската наука 2017»,Volume 8 : София .«Бял ГРАД БГ» / Ковальський В.П., Варчук Р.В. Вінницький національний технічний університет, Україна / Теплоізоляційні сухі будівельні суміші на перлітовому заповнювачі модифіковані поліпропіленовою фіброю.
3. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).
4. Гріщенко Д. О. Інноваційні будівельні матеріали [Електронний ресурс] / Д. О. Гріщенко, В. П. Ковальський // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)», Вінниця, 22 червня 2023 р. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2023/paper/view/18831.
5. Ратинська В. Л., Любарський В. С., Ковальський В. П. Декоративні штукатурки на основі сухих будівельних сумішей // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 11-20 травня 2024 р. Електрон. текст. дані. 2024. URL: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/viewFile/21718.
6. Ковальський, В.П. і Сідлак, О.С. 2014. Використання золи виносу тес у будівельних матеріалах. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 16, 1 (Жов 2014), 35–40.
7. Кривенко, П. В. *Будівельне матеріалознавство*. Київ: Видавництво «Основа», 2012.
8. Ковальський В. П., Тимошенко В. О., Боднар П. С., Бондар П. С. Інноваційні рішення у виробництві сухих будівельних сумішей на основі золи-виносу ТЕС // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. 2024. № 1. С. 52-57.
9. Khodetskyi O. Ash and slag waste utilization in construction [Text] / O. Khodetskyi, V. Kovalsky // Abstracts of XXXII International Scientific and Practical Conference «Science, modern trends and society», Bilbao, Spain, August 14-16, 2023. – 2023. – P. 8-10.
10. Модифікована суха будівельна суміш на перлітовому заповнювачі [Текст] / В. П. Ковальський, А. В. Бондар, Р. В. Варчук, В. П. Бурлаков // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2017. – Т. 22, № 1. - С. 17-20.
11. Ковальський В.П. Дослідження перспективи використання золи виносу в будівництві [Текст] / В. П. Ковальський, В. О. Тимошенко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2023. – № 1. – С. 36–42.
12. Bashar S M., Sani H. Mechanical and microstructural properties of high calcium fly ash one-part geopolymer cement made with granular activator. Europe PMC. URL: https://europepmc.org/article/med/31687531.
13. Ковальський В. П., Варчук Р. В. Теплоізоляційні сухі будівельні суміші на перлітовому заповнювачі модифіковані поліпропіленовою фіброю, Матеріали за XIII міжнародної науково-практичної конференції «Найновітніші досягнення в європейській науці – 2017»
14. Ковальський В. П. Обґрунтування доцільності використання золошламового в'яжучого для приготування сухих будівельних сумішей / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, М. С. Лемешев, А. В. Бондар. – Рівне: Видавництво НУВГіП, 2013. – Випуск 26. – С. 186 – 193.
15. Василинич А. В. Активні мінеральні добавки з техногенних відходів промисловості [Текст] / А. В. Василинич, В. П. Ковальський // Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України : матеріали IX Всеукраїнської заочної науково-практичної конференції, Київ, 28 квітня 2023 р. – Київ : НПУ імені М. П. Драгоманова, 2023. – С. 32-33.
16. Комплексне в'яжуче на основі промислових техногенних відходів [Текст] / М. Лемешев, О. Березюк, Д. Черепаха, В. Ковальський // Технічні та сільськогосподарські науки в сучасних реаліях, проблеми, перспективи та рішення : колективна монографія. – Бостон : Primedia eLaunch, 2023. – 1.3. – С. 51–59.

Зоря Павло Олегович — аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: pavlo.zorja@gmail.com

Тарнавський Володимир Вікторович – завідувач відділення спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист, Вінницький транспортний фаховий коледж. Email: tarnavsky@vintk.ukr.education

Ковальський Віктор Павлович — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури ,Вінницький національний технічний університет, email:kovalskiy@vntu.edul.ua

Pavlo Zoria O. — Postgraduate student of the Department of Civil Engineering, Urban Planning and Architecture, Vinnytsia National Technical University, email: pavlo.zorja@gmail.com

Tarnavskyi Volodymyr - Head of the Department of the specialty 192 Construction and Civil Engineering, specialist of the highest category, teacher-methodologist, Vinnytsia Transport Professional College. Email: tarnavsky@vintk.ukr.education

Kovalsky Viktor Pavlovich – PhD, Associate Professor of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, e-mail:kovalskiy@vntu.edul.ua

УДК 725.8

К. О. Шмаль[1]
А. Ю. Кошова[1]
О. І. Хороша[1]
О. О. Назаренко[1]

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЄКТУВАННЯ ІНКЛЮЗИВНИХ ОЗДОРОВЧО-РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ЗАКЛАДІВ.

[1]Вінницький національний технічний університет

Анотація

Стаття присвячена аналізу сучасних методологічних підходів до проєктування інклюзивних оздоровчо-реабілітаційних закладів, спрямованих на створення доступного, безбар'єрного та комфортного середовища для користувачів різних груп. У роботі розглянуто принципи інклюзивності, ергономіки, універсального дизайну та функціонально-просторової організації, що забезпечують ефективність та результативність реабілітаційних процесів.

Ключові слова: реабілітація, оздоровчі заклади, універсальний дизайн, доступність.

Abstract

The article examines contemporary methodological approaches to the design of inclusive health and rehabilitation facilities aimed at creating accessible, barrier-free, and user-friendly environments for diverse population groups. The study highlights the principles of inclusivity, ergonomics, universal design, and functional-spatial organization as key factors ensuring the efficiency and effectiveness of rehabilitation processes.

Keywords: rehabilitation, wellness facilities, universal design, accessibility.

Вступ

Метою дослідження є визначення та систематизація методологічних підходів до проєктування інклюзивних оздоровчо-реабілітаційних закладів, що забезпечують доступність, комфорт, безбар'єрність та ефективність реабілітаційного середовища для людей з різними потребами.

Об'єктом дослідження є архітектурно-планувальні та функціонально-просторові рішення інклюзивних оздоровчо-реабілітаційних закладів, а також принципи їх проєктування з урахуванням потреб користувачів різних вікових та функціональних груп.

Результати досліджень

Проєктування сучасних оздоровчих, санаторно-курортних і реабілітаційних закладів передбачає комплексний підхід, спрямований на створення простору, що одночасно відповідає функціональним, медичним, соціальним та емоційно-психологічним потребам користувачів. Основним завданням архітектури таких об'єктів є формування гармонійного середовища, яке не лише забезпечує лікувальні та відновні процеси, а й сприяє соціальній інтеграції людини в суспільство [1].

В основі сучасної концепції лежить **принцип інклюзивності**, що визначає доступність усіх елементів простору для людей із різними фізичними, сенсорними чи когнітивними особливостями. Це означає, що архітектурні рішення мають забезпечувати безперешкодне пересування, орієнтацію та користування усіма приміщеннями і територією закладу без необхідності спеціальної адаптації. Зокрема, йдеться про пандуси, ліфти, понижені бордюри, тактильні елементи, контрастні візуальні орієнтири та зрозумілу навігацію.

Принцип універсального дизайну доповнює інклюзивність і передбачає створення середовища, комфортного для всіх користувачів — від дітей до людей похилого віку. Він базується на ідеї, що архітектура має бути зручною за замовчуванням, без потреби у спеціальних пристосуваннях. Такий підхід сприяє формуванню «гуманного простору», де усі користувачі відчувають себе рівноправними.

Важливим напрямом у методології проєктування є **функціонально-просторова інтеграція**, тобто забезпечення логічних зв'язків між функціональними зонами — лікувальною, житловою, адміністративною, культурно-дозвіллєвою та рекреаційною. Для ефективного функціонування закладу необхідна чітка організація потоків пацієнтів, персоналу та відвідувачів. Просторові рішення мають сприяти зручності пересування, орієнтації та мінімізації втоми користувачів.

Не менш суттєвим є **принцип психологічного комфорту**. Сучасні наукові дослідження доводять, що архітектурне середовище безпосередньо впливає на психоемоційний стан людини, а отже — на ефективність реабілітаційного процесу. Простір повинен створювати відчуття безпеки, спокою та природної гармонії. Для цього застосовують м'яке природне освітлення, теплі кольорові гами, використання природних матеріалів (дерево, камінь), озеленення інтер'єрів і відкритих просторів [2].

Принцип зв'язку з природним середовищем є одним із базових у формуванні санаторно-курортної архітектури. Розташування лікувально-оздоровчих закладів традиційно визначається наявністю природних факторів — мінеральних джерел, лісових масивів, водойм, чистого повітря. Саме природне оточення має стати активним елементом просторової композиції. Тому архітектор повинен забезпечити максимальний візуальний контакт із природою, створити систему відкритих і напіввідкритих просторів, прогулянкових алей, терас, зимових садів, що підтримують терапевтичний ефект середовища.

Екологічний підхід передбачає раціональне використання енергії, води та матеріалів, інтеграцію об'єкта в ландшафт, мінімізацію техногенного впливу. Використання енергоефективних технологій, природної вентиляції, дахового озеленення та систем збору дощової води не лише знижує експлуатаційні витрати, а й формує сприятливий мікроклімат, який позитивно впливає на здоров'я користувачів.

Ще одним важливим аспектом є **гнучкість і адаптивність простору**. Реабілітаційні та санаторно-курортні установи повинні мати можливість трансформації своїх приміщень у відповідь на зміни медичних технологій, демографічні потреби чи функціональні завдання. Це може реалізовуватись через модульні системи планування, мобільні перегородки, багатофункціональні приміщення та можливість розширення будівлі без порушення загальної структури комплексу [3].

Висновки

Визначено методологічні підходи до проєктування інклюзивних оздоровчо-реабілітаційних закладів потребують комплексного поєднання принципів універсального дизайну, доступності, ергономіки та функціонально-просторової організації. Успішні проєктні рішення ґрунтуються на глибокому аналізі потреб різних груп користувачів, включно з людьми з інвалідністю, особами похилого віку, дітьми та пацієнтами з тимчасовими чи постійними порушеннями мобільності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Preiser, W. & Ostroff, E. (eds.) (2001) *Universal Design Handbook*. New York: McGraw-Hill.
2. Steinfeld, E. & Maisel, J. (2012) *Universal Design: Creating Inclusive Environments*. Hoboken: Wiley.
3. World Health Organization (2011) *World Report on Disability*. Geneva: WHO Press.

Шмаль Катерина Олександрівна — *студентка групи БМ-20б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: katherine.shmal@gmail.com.*

Кошова Анастасія-Юлія Олегівна - *студентка групи БМ-20б, Факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nastiayulia08@gmail.com*

Назаренко Олександр Олександрович *– ассистент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nazarenko@vntu.edu.ua*

Науковий керівник: ***Хороша Оксана Іванівна*** *– кандидат архітектури, старший викладач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: korosha@vntu.edu.ua.*

Shmal Kateryna *- student of the BM-20b group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: katherine.shmal@gmail.com.*

Nazarenko Oleksandr Oleksandrovych *– assistant at the department of construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nazarenko@vntu.edu.ua*

Koshova Anastasiia-Yuliia— *student of BM-20b group, Faculty of Construction, civil and ecology engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nastiayulia08@gmail.com*

Supervisor: ***Khorosha Oksana*** *- PhD, senior lecturer of department construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: korosha@vntu.edu.ua.*

УДК 72

Д. О.Ковбасюк[1]
О. І.Хороша[1]
О. О. Назаренко[1]

АРХІТЕКТУРА БЕЗБАР'ЄРНОСТІ, ЯК НЕОБХІДНА УМОВА ПРОЄКТУВАННЯ РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ЦЕНТРІВ

[1]Вінницький національний технічний університет

Анотація

У даній роботі розглянуто роль архітектури безбар'єрності як необхідної умови проєктування реабілітаційних центрів. Розкрито основні принципи організації зовнішнього середовища закладів . Розкривається важливість безперешкодного доступу до будівлі як передумови ефективної реабілітації та рівних можливостей користування об'єктом.

Ключові слова: архітектура безбар'єрності, реабілітаційний центр, зовнішнє середовище, доступність, пандус, навігація.

Abstract

This work examines the role of barrier-free architecture as a necessary condition for the design of rehabilitation centers. The main principles of the organization of the external environment of institutions are disclosed. The importance of unhindered access to the building as a prerequisite for effective rehabilitation and equal opportunities to use the facility is revealed.

Keywords: barrier-free architecture, rehabilitation center, external environment, accessibility, ramp, navigation.

Вступ

Реабілітаційні центри призначені для відновлення фізичних функцій, адаптації після травм або операцій і підтримки автономності пацієнтів. Ефективність лікування залежить не лише від медичного обладнання та процедур, а й від того, наскільки доступним і безпечним є простір навколо будівлі. Зовнішнє середовище стає першим бар'єром або першим елементом комфорту для пацієнта, тому його організація є критично важливою при проєктуванні. Архітектура безбар'єрності забезпечує рівний доступ до центру, дозволяючи людям з обмеженими фізичними можливостями самостійно переміщуватися від громадських зупинок, через під'їзди і територію, до входу у будівлю. Метою дослідження є визначення принципів та розроблення підходів до формування безбар'єрного зовнішнього середовища реабілітаційних центрів**,** яке забезпечує безпечний, комфортний і доступний простір для пацієнтів з різними фізичними можливостями.

Результати дослідження

Реабілітаційні центри відіграють надзвичайно важливу роль у відновленні фізичного та емоційного стану людей після травм, операцій або важких життєвих обставин. У сучасній концепції таких закладів головним стає не лише медичне обладнання та професіоналізм лікарів, а й середовище, у якому проходить відновлення пацієнтів [1]. Ефективність роботи реабілітаційних центрів значною мірою залежить від організації доступного та безпечного простору, починаючи з зовнішнього середовища, що стає першим елементом комфорту або перешкодою для пацієнта.

Безбар'єрність у архітектурі — це створення простору, де всі люди, незалежно від фізичних можливостей, можуть пересуватися без перешкод і користуватися будівлею та її територією

самостійно і безпечно. Для реабілітаційних центрів безбар'єрність є критичною умовою, оскільки більшість пацієнтів мають тимчасові або постійні обмеження рухливості та потребують спеціально організованих маршрутів, входів і зовнішніх зон для прогулянок та відпочинку. Правильне планування зовнішнього середовища під час проєктування гарантує безпеку, комфорт і підтримує психологічний стан пацієнтів, що сприяє їхній мотивації до відновлення.

При проєктуванні центрів особлива увага приділяється маршруту від громадської зупинки до території закладу. Тротуари повинні бути рівними та безпечними, мінімально перетинатися з транспортними потоками і включати тактильні елементи для людей із порушенням зору. На території центру важливо організувати простори для прогулянок та відпочинку, які будуть зрозумілими, оглядовими та безпечними, забезпечуючи комфорт як для індивідуального, так і для групового відпочинку [2]. Вхідні групи передбачають доступ для пацієнтів, доставлених санітарними автомобілями, на рівні тротуару, щоб полегшити транспортування лежачих осіб. Вхід повинен мати достатню ширину для одночасного обслуговування двох автомобілів і обладнується легкими у використанні або автоматичними дверима. Відповідно до ДБН В.2.2-40:2018 "Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення" вертикальні комунікації, такі як сходи та пандуси, проектуються з урахуванням безпечного пересування маломобільних пацієнтів і транспортування лежачих осіб [4]. Сходи обладнують поручнями та контрастними позначками, а пандуси мають плавний ухил і достатню ширину для самостійного пересування на візках. (Рис.1).

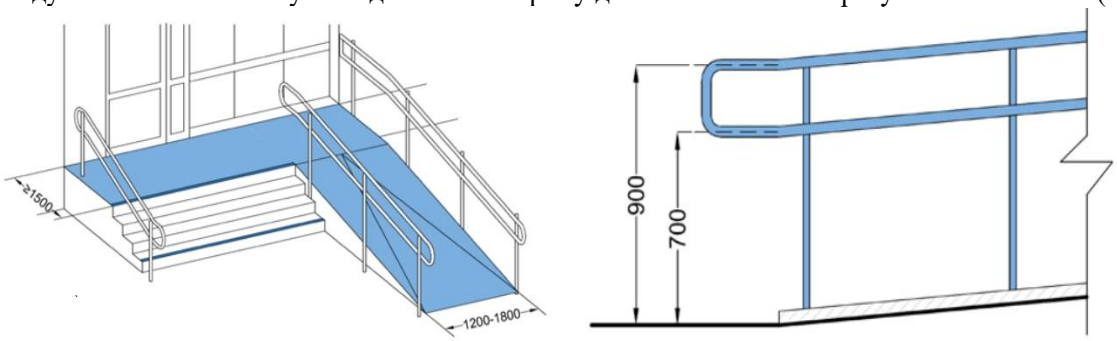


Рис.1. Схема пандусу з поручнями [3]

Хоча зовнішнє середовище є головним елементом безбар'єрності, внутрішні приміщення також потребують відповідного планування: широкі коридори та двері, чіткий візуальний контраст, маркування, ергономічні меблі та місця для сидіння забезпечують безпеку, комфорт і ефективність реабілітаційного процесу.

Висновок

Безбар'єрність зовнішнього простору є невід'ємною умовою проєктування реабілітаційних центрів. Вона забезпечує безпечне, комфортне і самостійне пересування пацієнтів, від входу на територію закладу до будівлі, і сприяє ефективності реабілітаційних процесів. Продумане планування маршрутів від громадських зупинок, організація території для прогулянок і відпочинку, доступні входи та вертикальні комунікації — усе це створює інклюзивне середовище для людей з різними фізичними можливостями. Безбар'єрна архітектура зовні будівлі формує перший рівень комфорту та безпеки пацієнтів, а внутрішні простори з відповідним обладнанням та маркуванням доповнюють цілісний підхід до доступності та ефективної реабілітації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковбасюк Д. КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ЦЕНТРІВ. Міжнародна науково-практична інтернетконференція «Молодь в науці:дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)», м. Вінниця: ВНТУ, 2025. URL: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/viewFile/22412/18569

2. Безбар'єрність у реабілітаційних центрах : посібник / команда урбан-бюро Big City Lab ; Міністерство охорони здоров'я України. — Київ : МОЗ України, 2023.-63.

3. Безбар'єрність та інклюзивність в роботі Центрів надання адміністративних послуг : методичний посібник / Центр медіареформи. — Київ, 2023. —80.
4. ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. — Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2025. —102.

Ковбасюк Дарія Олександрівна- студентка групи БМ-22б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця. Email: kovbasukdasa3@gmail.com.

Назаренко Олександр Олександрович – ассистент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nazarenko@vntu.edu.ua

Науковий керівник: Хороша Оксана Іванівна – кандидат архітектури, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: korosha@vntu.edu.ua.

Kovbasiuk Dariia - student of group BM-22b, faculty of construction, civil and environmental engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. Email: kovbasukdasa3@gmail.com .

Nazarenko Oleksandr Oleksandrovych – assistant at the department of construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nazarenko@vntu.edu.ua

Supervisor: Khorosha Oksana - PhD, senior lecturer of department construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: korosha@vntu.edu.ua .

УДК 72.013

А.-Ю. О. Кошова[1]
К. О. Шмаль[1]
О. І. Хороша[1]
О. О. Назаренко[1]

АНАЛІЗ ЗАКОРДОННОГО ДОСВІДУ В СУЧАСНОМУ ПРОЄКТУВАННІ ТА БУДІВНИЦТВІ ВІЙСЬКОВИХ КАЗАРМ

[1]Вінницький національний технічний університет

Анотація

Стаття присвячена аналізу сучасного закордонного досвіду у проєктуванні та будівництві військових казарм із акцентом на планувальні, конструктивні та інженерні рішення. На основі узагальнення світових практик окреслено можливості їх адаптації для підвищення ефективності й модернізації української системи військового будівництва.

Ключові слова: казарми, досвід, рішення, модернізація.

Abstract

The article analyzes contemporary international approaches to the design and construction of military barracks, focusing on planning, structural, and engineering solutions. Based on the review of global practices, it outlines the potential for adapting these solutions to improve and modernize Ukraine's military infrastructure..

Keywords: barracks, experience, solutions, modernization

Вступ

Сучасний світ диктує нові вимоги до всіх галузей розвитку країн, в тому числі і до військової. Питання якості матеріалів, архітектурно-планувальних рішень, інклюзивності, комфорту, ефективності та безпеки, посідає ключове місце у військовій інфраструктурі кожної країни. Кожна з передових держав активно шукає та розробляє інноваційні рішення у цій сфері.

Метою дослідження є виявлення, систематизація та оцінка сучасних тенденцій і підходів у проєктуванні та будівництві військових казарм у зарубіжних країнах**, з** метою визначення можливостей їх адаптації до українських умов**. Об'єктом** дослідження є сучасні архітектурно-будівельні практики створення військових казарм у зарубіжних країнах, включно з планувальною структурою, просторово-функціональною організацією

Результати досліджень

Однією з країн, яка може бути прикладом сучасних підходів в будівництві казарм є Сполучені Штати Америки. Міністерство Оборони активно впроваджує програми будівництва сучасного житла для військових.

Прикладом такого будівництва є база «FORT BLISS» в штаті Техас. Там вперше використали технологію 3D друку будівель, які відповідають Unified Facilities Criteria (програма, яка забезпечує вимоги для планування, проєктування, будівництва, експлуатації, відновлення та модернізації об'єктів Міністерства оборони США [1]). Загалом було збудовано таким методом 3 будівлі. Кожна з них має площу 5700 квадратних фунтів і вміщає 56 солдатів.



Рис. 1.1 – Казарми надруковані 3D принтером [2]

Першим етапом будівництва було проєктування споруд в CAD-програмі, далі поділ на горизонтальні шари і безпосередньо друк. Він відбувався на принтері «Vulcan» компанії ICON. Будівельним матеріалом є Lavacrete (суміш подрібненої лави, цементу та води). Перевагою є те, що його можна адаптувати до місцевих кліматичних умов і тим самим забезпечити міцність і довговічність конструкцій [2].

Іншим прикладом інноваційного будівництва військових казарм США є проект на Joint Base Lewis-McChord у штаті Вашингтон. У серпні 2024 року розпочалось будівництво інноваційного казарменого комплексу. Цей проєкт стане першим в США орієнтованим на зменшення викиду вуглецю щонайменше на 30% під час викидів від виробництва, транспортування та встановлення будівельних матеріалів [3]. Дві будівлі спроектовані триповерховими і мають конструкцію «подвійних казарм» по 44500 квадратних футів кожна. Всередині знаходяться чотирикімнатні квартири з двома ванними кімнатами та двокімнатні квартири з однією ванною кімнатою, що забезпечує приватність для військових. Також передбачено і спільні зони – кухні, вітальні, зони відпочинку, спортивні майданчики. Що забезпечує комфорт і взаємодію між військовими. Запропонованими екологічно сталими матеріалами для будівництва є портланд-вапняковий цемент, перероблена сталь, целюлозна вата в якості термо- та звукоізоляції, високоефективна екструдована полістирольна ізоляція XPS та металеві панелі замість цегляної кладки на 2 (частково) та 3 поверхах[4].



Рис. 1.2 – Візуалізація концепції казарм [4]

Також, Великобританія та її сучасні підходи до будівництва військових казарм варті уваги.

Одним з прикладів є новий житловий блок для військовослужбовців в St. George’s в містечку Бікстер. Відритий він був 2023 році. Особливістю є те що, нова будівля оснащена сонячними панелями та тепловими насосами повітряного типу, що забезпечує максимально ефективне функціонування будівлі і демонструє інтеграцію архітектурних рішень з екологічними трендами. Цей блок включає 72 житлові одномісні кімнати з окремими санвузлами, кухню, їдальню та підсобні приміщення. Даний проєкт розроблявся з врахуванням відгуків та побажань військовослужбовців [5].

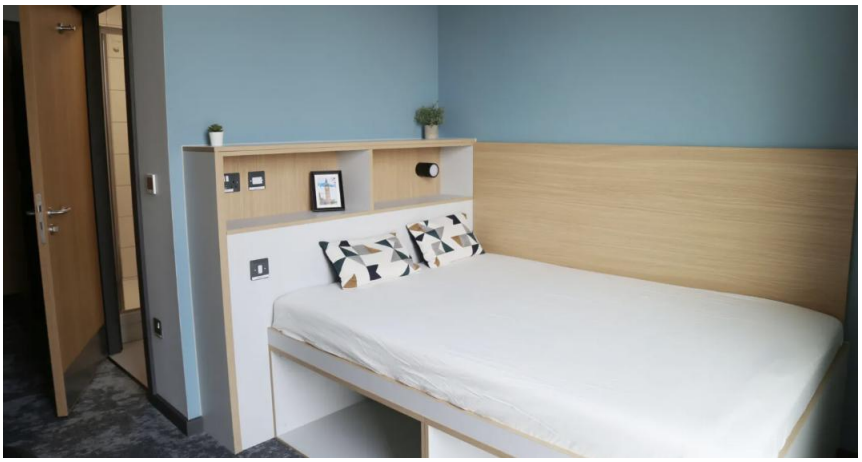


Рис. 1.3 – Інтер’єр нового житлового блоку [5]

Висновки

Проаналізовано досвід США та Великої Британії в проектуванні казарм, що підтверджує ефективність використання 3D-друку, екологічно сталих конструкцій та гнучких планувальних рішень, орієнтованих на потреби особового складу. Узагальнення цього досвіду свідчить про високий потенціал його адаптації для модернізації військової інфраструктури України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Whole Building Design Guide. (n.d.) Unified Facilities Criteria (UFC). Available at: https://www.wbdg.org/dod/ufc (Accessed: 17 November 2025).
2. Poe, D. (2025) 'Army G-9, Team Bliss open DOD's first 3D-printed barracks', U.S. Army. 4 February. Available at: https://www.army.mil/article/282813/army_g_9_team_bliss_open_dods_first_3d_printed_barracks (Accessed: 17 November 2025).
3. U.S. Army (n.d.) 'Army announces groundbreaking for cost-effective, sustainable materials barracks at JBLM'. Available at: https://www.army.mil/article/278708/army_announces-groundbreaking-for-cost_effective_sustainable-materials-barracks-at-jblm (Accessed: 17 November 2025).
4. U.S. Army Corps of Engineers, Seattle District. (2024) FY 2024 Sustainable Materials Barracks Fact Sheet – Joint Base Lewis-McChord (JBLM). August. Available at: https://api.army.mil/e2/c/downloads/2024/08/08/7d8d5591/jblm-sustainable-barracks-fact-sheet-usace-seattle-district.pdf (Accessed: 17 November 2025).
5. BBC News. (2025) 'New accommodation for troops opens at barracks in Bicester'. BBC News, 9 April. Available at: https://www.bbc.com/news/articles/c78jjnqdn82o (Accessed: 17 November 2025).
6. Government of Canada, National Defence. (2024) 'Minister Blair announces contract award for new 480-room military accommodations facility at CFB Esquimalt and highlights plan to build more homes on military bases'.August. Available at: https://www.canada.ca/en/department-national-defence/news/2024/08/minister-blair-announces-contract-award-for-new-480-room-military-accommodations-facility-at-cfb-esquimalt-and-highlights-plan-to-build-more-homes-.html (Accessed: 17 November 2025).

Кошова Анастасія-Юлія Олегівна - студентка групи БМ-20б, Факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nastiayulia08@gmail.com

Шмаль Катерина Олександрівна — *студентка групи БМ-20б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: katherine.shmal@gmail.com.*

Назаренко Олександр Олександрович – ассистент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nazarenko@vntu.edu.ua

Науковий керівник: ***Хороша Оксана Іванівна*** – кандидат архітектури, старший викладач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: korosha@vntu.edu.ua

Koshova Anastasiia-Yuliia— student of BM-20b group, Faculty of Construction, civil and ecology engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: *nastiayulia08@gmail.com*

Shmal Kateryna - *student of the BM-20b group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: katherine.shmal@gmail.com.*

Nazarenko Oleksandr Oleksandrovych **–** assistant at the department of construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nazarenko@vntu.edu.ua

Supervisor: ***Khorosha Oksana*** - *PhD, senior lecturer of department construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: korosha@vntu.edu.ua*

УДК 624.012+ 711.455

Д. В. Бланар
В. В. Швець

ПРОБЛЕМИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ УКРИТТІВ В ПАРКОВИХ ЗОНАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Обґрунтовується необхідність проєктування захисної споруди цивільного захисту у відкритому громадському просторі на прикладі парку імені Леонтовича в м. Вінниця в умовах військового стану. Досліджено нормативно-правову базу та виявлено регламентаційну прогалину: чинні норми визначають радіус евакуації для житлової забудови та суб'єктів господарювання, але не встановлюють чітких вимог для паркових зон. Аналіз наявних поблизу парку укриттів показав їхню недостатню доступність та критичні недоліки (відсутність запасних виходів), що створює загрозу для потенційних відвідувачів. На основі рекомендацій ДСНС щодо освітніх закладів, встановлено критичний часовий норматив евакуації — не більше 10 хвилин, що необхідно для протидії загрозі швидкісних ракет та ударних дронів. Результати роботи надають методичне обґрунтування для визначення місткості та вибору місця розташування нових укриттів у рекреаційних зонах.

Ключові слова: укриття, захисна споруда, паркова зона, радіус евакуації, рекреаційне навантаження ДБН (Державні будівельні норми), військовий стан.

Abstract

The thesis justifies the necessity of designing a civil defense shelter in an open public space, exemplified by Leontevich Park in Vinnytsia, given the conditions of martial law. The study analyzes the regulatory framework and identifies a regulatory gap: current standards define the evacuation radius for residential areas and business entities but fail to establish clear requirements for park zones. Analysis of existing nearby shelters revealed their insufficient accessibility and critical flaws (lack of emergency exits), posing a threat to potential visitors. Drawing from the DSNS recommendations for educational institutions, a critical time standard for evacuation — no more than 10 minutes — is established, which is essential to counter the threat of high-speed missiles and attack drones. The findings provide a methodological justification for determining the capacity and location of new shelters in recreational areas..

Keywords*:* shelter, protective structure, park zone, evacuation radius, recreational load DBN (State Building Regulations), martial law.

Вступ

Починаючи з 24 лютого 2022 року Українські міста щодня страждають від авіаударів ворога. Під загрозу потрапляє інфраструктура, житло, а найголовнішу загрозу авіатаки несуть життя громадян. Під час повітряних тривог населення має евакуюватись в захисні споруди (далі укриття).

Проектування укриттів регламентується [1]. В даному документі прописано радіус евакуації населення до укриття, однак в [1] вказано радіус евакуації для забудови та для суб'єктів господарювання, однак не вказано радіусу збору населення для паркових зон, громадських просторів.

Результати дослідження

Розглянуто ситуацію з наявністю укриттів і захисту населення від повітряних атак на прикладі парку імені Леонтовича в м. Вінниця (рис. 1). Визначено, що в найближчій доступності є 2 укриття: «Квадрат» та «Книжка». При цьому «Квадрат» є спорудою подвійного призначення (СПП), а укриття «Книжка» має властивості протирадіаційного укриття (ПРУ) і повністю відповідає вимогам. Укриття «Квадрат» має лише один вихід назовні, тобто не має запасного (аварійного) виходу в разі влучання що загрожує населенню опинись під завалами. Крім того від найвіддаленішої точки парку (умовний центр згідно рис. 1) відстань до укриттів складає: до укриття «Квадрат» 463 метри, а до укриття «Книжка» 603 метри. При тому, що [1] регламентує максимальну доступність не більше 500 метрів (пункт 5.5 [1])

Час за який ракета чи ударний дрон зможе дістатись до цілі – величина змінна і не піддається точному розрахунку (за різними даними від ЗСУ може складати 3-10 хвилин). Для оцінки ситуації потрібно також врахувати: рельєф, наявність серед відвідувачів парку людей з маленькими дітьми (в

тому числі грудні діти в колясках), маломобільні групи населення (МГН), так званий «час на паніку» (час на сприйняття повітряної тривоги, реакції на ситуацію). Для подальших розрахунків необхідно визначити середню кількість відвідувачів парку. Це можливо зробити звернувшись за статистичними даними в відповідні органи міської чи обласної ради. Провівши дослідження [2] дана інформація відсутня. Можна відштовхуватись від кількості громадян, що відвідали благодійні заходи в парку імені Леонтовича в 2025 року. Визначено, що на заході «Файна здибанка», що проходив в період з 6 по 7 вересня, було (в середньому) по 1000 відвідувачів кожного дня. З іншого боку кількість відвідувачів може бути обрахована за інформацією з [4]. На приклад максимально допустиму одночасну кількість відвідувачів озеленених територій загального користування для міських парків слід приймати 100 осіб/га. По різним даним площа парку, що розглядається становить близько 38га. Тобто можна прийняти що максимально допустима кількість відвідувачів парку імені Леонтовича може складати 3800 осіб. Необхідно також визначити середню швидкість руху громадян, а також пропускну здатність доріжок, по яким будуть евакуюватись до укриття. Крім цього потрібно встановити реальну відстань до укриття (вказана відстань по прямій).

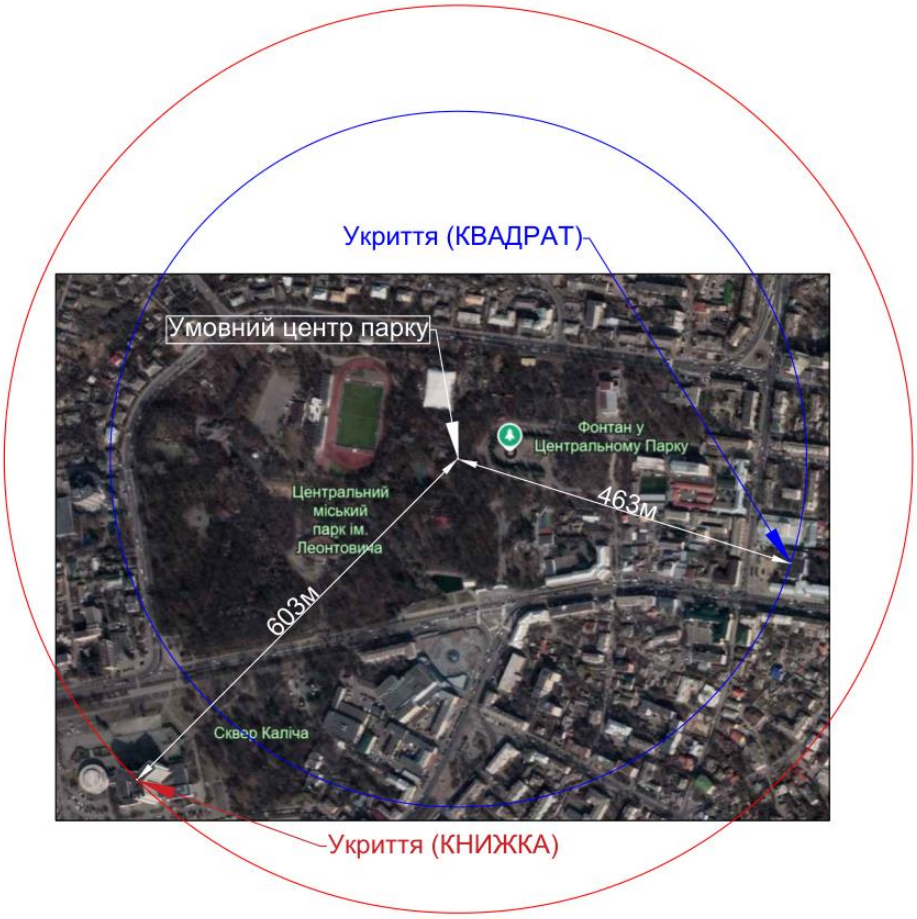


Рис. 1 – Відстань від умовного центру парку імені Леонтовича до найближчих укриттів.

Проаналізувавши [1] не було виявлено чітких вимог до розрахункового часу евакуації громадян до укриття. Це пов’язано з тим, що в [1] немає чіткого регламентування проектування укриттів для паркових зон та громадських просторів. При оголошенні повітряної тривоги люди, які знаходяться в будівлях, або поряд з ними – мають змогу евакуюватись в укриття за короткий термін. Згідно рекомендацій ДСНС для закладів освіти час евакуації не має перевищувати 10 хвилин. Для паркових зон такий нормативний час не вказано, хоча саме тут він буде відігравати основну роль.

Висновки

Дослідження підтвердило безпосередню та зростаючу загрозу для цивільного населення в тилових містах (на прикладі Вінниці) внаслідок повітряних атак. Встановлено, що ключовим викликом є мінімальний час підльоту високошвидкісних засобів ураження (3-10 хвилин), що вимагає якнайшвидшої евакуації населення до укриття.

Встановлено, що чинний ДБН В.2.2-5:2023 не містить чітких вимог щодо радіусу евакуації та розрахункового часу збору для громадських рекреаційних просторів, таких як парки. Це створює прогалину в системі цивільного захисту, залишаючи місця масового скупчення людей вразливими.

На основі аналізу нормативів, що регулюють евакуацію в освітніх закладах, а також з урахуванням часу підльоту ракет, встановлено критичний часовий критерій доступності укриття — не більше 10 хвилин. Цей критерій може бути ключовим для подальшого інженерного проєктування.

Встановлено, що існуючі укриття поблизу парку Леонтовича (зокрема «Квадрат» та «Книжка») порушують навіть базові вимоги ДБН щодо радіуса доступності (досягаючи 603 м) та не забезпечують належної безпеки (відсутність запасного виходу), що підтверджує необхідність будівництва нової спеціалізованої споруди безпосередньо в межах парку.

Подальші дослідження мають бути направлені також на встановлення величини N – кількості відвідувачів парку, а відповідно і місткості укриття, яке потрібно запроектувати в даному парку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.2-5_2023 Захисні споруди цивільного захисту. Зі Зміною № 1. [Чинний від 2023-11-01]. Вид. офіц. Київ : Мінінфраструктури України, 2023. 147 с.
2. Сайт Вінницької ОВА. URL: https://www.vin.gov.ua/
3. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 47 с.
4. ДБН 2.2-12:2019. Планування і забудова територій. [Чинний від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 185 с.

Бланар Дмитро Володимирович **—** здобувач групи БМ-24м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mcfrancyz@gmail.com

Швець Віталій Вікторович **—** кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

Dmytro Blanar **—** student of BM-24m group, faculty of construction, civil and environmental engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mcfrancyz@gmail.com

Shvets Vitalii**—** PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

УДК 691.8 + 624.014 + 699.86

О. М. Пташка
С. В. Риндюк

ІННОВАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОЕКТУВАННІ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто сучасні інноваційні підходи до проектування індивідуальних житлових будівель, що формують новий напрям розвитку приватного будівництва. Детально проаналізовано тенденції впровадження високотехнологічних матеріалів, модульних конструктивних рішень, цифрових інструментів проектування та енергоефективних систем. Особливу увагу приділено полімерно-композитній системі DOM3E як прикладу інноваційної технології зведення стін, що дозволяє суттєво скоротити терміни будівництва, оптимізувати використання ресурсів та підвищити енергетичну ефективність будівлі. Показано, що інтеграція новітніх матеріалів і цифрових методів проєктування забезпечує гнучкість архітектурних рішень, зменшує витрати на експлуатацію та сприяє формуванню екологічно стійкого та комфортного житлового середовища.

Ключові слова: інноваційні матеріали, індивідуальне житлове будівництво, енергоефективність, модульне будівництво, цифрові технології, BIM, полімерні блоки, DOM3E, CLT, SIP-панелі.

Abstracts

Modern innovative approaches to the design of individual residential buildings, which shape a new direction in the development of private construction, have been examined. The trends in the implementation of high-tech materials, modular structural solutions, digital design tools, and energy-efficient systems have been analyzed in detail. Special attention is given to the polymer-composite DOM3E system as an example of an innovative wall construction technology that significantly reduces construction time, optimizes resource use, and increases the building's energy efficiency. It is shown that the integration of advanced materials and digital design methods ensures flexibility in architectural solutions, reduces operating costs, and contributes to the creation of an environmentally sustainable and comfortable living environment.

Key words: innovative materials, individual residential construction, energy efficiency, modular construction, digital technologies, BIM, polymer blocks, DOM3E, CLT, SIP panels.

Вступ

Сучасне проєктування індивідуальних житлових будівель зазнає суттєвих змін під впливом нових технологій, глобальних екологічних викликів та зростаючих вимог до комфорту й енергоефективності. Одним із найважливіших чинників, що формує ці трансформації, є поява інноваційних матеріалів, які значною мірою визначають конструктивні можливості будівлі, її довговічність, експлуатаційні якості та економічну ефективність. Матеріал у сучасній архітектурі перестає бути лише конструктивним елементом — він стає носієм технологій, енергетичних параметрів та екологічних характеристик [1].

На зміну традиційним матеріалам — цеглі, залізобетону та важким кам'яним конструкціям — приходять легкі композити, полімерні блоки, дерев'яні інженерні панелі, високоізоляційні стінові системи та матеріали з покращеними механічними властивостями. Полімерні та композитні матеріали вирізняються малою вагою, низькою теплопровідністю, швидкістю монтажу та точністю геометрії, що робить їх привабливими для індивідуальних житлових будинків. Вони забезпечують ефективне формування теплоізоляційної оболонки й одночасно мінімізують трудомісткість будівництва [2].

Особливої уваги заслуговують інженерні дерев'яні матеріали нового покоління, такі як CLT (cross-laminated timber), LVL (laminated veneer lumber) та Glulam. Завдяки багатошаровій структурі вони забезпечують високу міцність і стабільність, дозволяючи створювати легкі, екологічні та сейсмостійкі будинки з великими прольотами без складних металевих або бетонних елементів. Використання деревини нового типу поєднує швидкість монтажу, можливість автоматизованої префабрикації та природні екологічні властивості матеріалу [3].

Сучасні теплоізоляційні матеріали — аерогелі, мінераловатні системи нового покоління, PIR- і PUR-плити — роблять можливим будівництво будівель з надзвичайно низьким рівнем тепловтрат. Впровадження високоефективної ізоляції змінює саму концепцію енергоспоживання житла, наближаючи індивідуальні будинки до стандартів пасивного й «нульового» будинку. Інновації торкнулися і фасадних рішень: вентильовані та комбіновані фасади доповнюються інтегрованими сонячними панелями, прозорими утеплювачами, адаптивними світловідбивними шарами, що дає змогу оптимізувати тепловий баланс будівлі залежно від сезону [4].

Окремим напрямом розвитку матеріалознавства у будівництві є використання 3D-друку та екструзійних сумішей, що дозволяють зводити стінові конструкції за допомогою роботизованих систем. Ці суміші забезпечують швидкість, високу точність, мінімальні відходи та можливість створення складних геометрій, недоступних у традиційному муруванні. Застосування таких матеріалів відкриває перспективи суттєвого здешевлення та автоматизації процесів будівництва.

Поява інноваційних матеріалів суттєво впливає на архітектурно-планувальні, конструктивні та інженерні рішення. Саме матеріал визначає можливість створення великих відкритих просторів, мінімальної товщини стін при високій теплоізоляції, швидкого монтажу або демонтажу, екологічності та можливості переробки. Тому дослідження сучасних матеріалів і їхнього впливу на проєктування індивідуальних житлових будівель є ключовим етапом у формуванні нових підходів до будівництва, що відповідають вимогам сучасності та майбутнього [1, 4].

Результати дослідження

Інноваційні підходи до проектування індивідуальних житлових будівель сьогодні формуються на перетині нових матеріалів, цифрових технологій, модульних систем та сучасних принципів енергоефективності. Зростання вимог до швидкого, адаптивного та екологічного будівництва стимулює впровадження комплексних рішень, де проектування перестає бути лише процесом створення креслень і стає багатокомпонентним інженерним циклом. Цей цикл включає моделювання енергетичних характеристик, ресурсоощадні рішення, інтеграцію інтелектуальних систем управління та можливість трансформації внутрішнього простору, що забезпечує тривалу експлуатаційну економічність будівлі[1].

Одним із ключових напрямів інноваційності є використання сучасних стінових та конструктивних матеріалів, що дозволяють поєднати легкість конструкцій, високі теплоізоляційні показники та міцність. Традиційні матеріали — цегла та бетон — поступово втрачають монополію, оскільки на ринку з’являються полімерні композити, SIP-панелі, CLT-панелі, газоблоки з поліпшеними характеристиками та інші модульні елементи. Ці матеріали забезпечують точну геометрію елементів, стабільність конструкцій, низьку теплопровідність, швидкість монтажу та мінімізацію похибок при будівництві. Високі теплоізоляційні характеристики нових блоків дозволяють досягти оптимального мікроклімату всередині будівлі при мінімальній товщині стін, а полегшена маса елементів знижує навантаження на фундамент і економить ресурси.

Суттєву роль відіграють технології модульного та префабрикованого будівництва. Модульні системи передбачають заводське виготовлення великих частин будівлі — панелей, секцій, блоків або цілих об’ємів — із подальшим монтажем на майданчику. Такий підхід дозволяє скоротити терміни будівництва, зменшити залежність від погодних умов та забезпечити стабільну якість. Модульні будинки легко змінювати, добудовувати або демонтувати, що особливо актуально для індивідуального житла з перспективою розширення або перепланування. Ця гнучкість створює нові можливості для адаптації простору під змінні потреби сім’ї та стилю життя мешканців [5].

Важливу роль у сучасному проектуванні відіграють енергоефективні рішення, які передбачають комплексну оптимізацію будівлі: правильне зонування приміщень, орієнтацію будинку щодо сторін світу, застосування пасивних методів акумулювання тепла, інтеграцію рекуперaційних систем та керованої вентиляції. Інтелектуальні системи енергоменеджменту дозволяють регулювати температуру, освітлення та енергоспоживання, забезпечуючи максимальну економію ресурсів та комфорт мешканців. Енергоефективні рішення стають визначальними характеристиками житла майбутнього, особливо в умовах зростання вартості енергоресурсів і необхідності автономності будівлі.

Цифрові інструменти кардинально змінюють підхід до проектування. Використання BIM-моделей, параметричного моделювання, лазерного сканування та цифрових двійників дозволяє точно оцінювати поведінку конструкцій, моделювати енергобаланси, прогнозувати терміни будівництва та вартість проекту на кожному етапі. Завдяки цифровізації архітектурний проект перестає бути статичним кресленням і стає комплексною інформаційною системою, інтегрованою з усіма інженерними та технологічними процесами [6].

Серед новітніх будівельних систем особливо варто виділити DOM3E — технологію полімерних блоків, яка забезпечує швидке, легке та енергоефективне зведення стін. Система базується на великоформатних пустотних елементах із полімерно-композитних матеріалів, що гарантують низьку теплопровідність, точну геометрію та мінімальне навантаження на фундамент. Завдяки модульній конструкції DOM3E дозволяє збирати стіни без використання мокрих процесів, з'єднуючи елементи за принципом конструктора, що особливо актуально для будівництва в холодну пору року або на ділянках зі складним доступом. Висока заводська готовність блоків забезпечує стабільну якість та полегшує інтеграцію комунікацій всередині стін, а полімерна структура гарантує довговічність, вологостійкість та стійкість до деформацій. Система придатна для індивідуального житла, а також для малоповерхового будівництва, що робить її універсальним інструментом сучасного архітектора та інженера.

DOM3E також сприяє реалізації принципів екологічності та енергоощадності. Високі теплоізоляційні характеристики блоків дозволяють зменшити або повністю відмовитися від додаткового утеплення. Зменшення маси стін знижує витрати на фундамент, а мінімальна кількість будівельних відходів відповідає сучасним стандартам раціонального використання ресурсів. Крім того, полімерні блоки DOM3E можна повторно використовувати, що сприяє циркулярній економіці в будівництві [7].

Інтеграція інноваційних матеріалів і систем, таких як DOM3E, CLT, SIP-панелі, композитні блоки, у поєднанні з цифровими технологіями та модульними підходами, формує нову парадигму житлового проектування. Будівля перетворюється на адаптивну систему, здатну враховувати клімат, спосіб життя мешканців, економічні та технологічні чинники. Завдяки цьому індивідуальне житло стає не лише функціональним і енергоефективним, а й комфортним, гнучким та екологічно збалансованим, готовим до майбутніх змін та розвитку технологій.

Висновки

Інноваційні матеріали та сучасні технологічні рішення відіграють ключову роль у формуванні нового підходу до проектування індивідуальних житлових будівель. Використання композитних, полімерних, дерев'яних інженерних та високоефективних теплоізоляційних матеріалів забезпечує підвищення енергоефективності, зменшення трудомісткості будівництва, покращення екологічних характеристик та збільшення тривалості експлуатації будівель. Інтеграція модульних та префабрикованих систем, а також цифрових технологій — BIM, параметричного моделювання та цифрових двійників — сприяє оптимізації процесів проектування, здешевленню будівництва та підвищенню точності інженерних рішень. Системи типу DOM3E демонструють ефективність полімерних блоків як інструменту швидкого, енергоощадного зведення житла. У сукупності такі інновації формують адаптивні, екологічно збалансовані та технологічно досконалі будинки, що відповідають сучасним вимогам комфорту, ресурсоефективності та сталого розвитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Michael David, A. Aubry, W. Derigent. Towards energy efficient buildings: how ICTs can convert advances? 2018. URL: https://arxiv.org/abs/1811.09160
2. Гомон С.С., Свиридюк О.Б. Використання LVL-композитів в Україні. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, 2023ctures .Lviv Polytechnic National University, 2024. URL: https://ena.lpnu.ua/items/8f1714db-d350-47fb-8de8-f279801d7dea
3. Бідаков А., Кочкарьов Д., Пустовійтова О. Strength and stiffness of domestically manufactured CLT panels. Scientific Journal of Construction, 2024. URL: https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/en/article/view/1793
4. Kim S. Prefabricated and Modularized Residential Construction: A Review of Present Status, Opportunities, and Future Challenges. Buildings. 2025. Vol. 15, No. 16, 2889. URL: https://www.mdpi.com/2075-5309/15/16/2889

5. Cespedes-Cubides A.S., Jradi M. A review of building digital twins to improve energy efficiency in the building operational stage. Energy Informatics. 2024. Vol. 7, Article 11. URL: https://energyinformatics.springeropen.com/articles/10.1186/s42162-024-00313-7
6. DOM3E. Технічний опис системи DOM3E: полімерні блоки для швидкого будівництва. URL: https://www.system3e.com/

Пташка Олена Максимівна – здобувачка групи БМ-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ptashka.olena@gmail.com
Риндюк Світлана Володимирівна — кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: runduyksv@gmail.com

Olena Ptashka - student of group BM-24m, Faculty of Civil, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ptashka.olena@gmail.com
Svitlana Ryndiuk - PhD, docent of Department of Construction, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: runduyksv@gmail.com

УДК 711.558

Т. В. Нікітченко
С. В. Риндюк

ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ КВАРТАЛІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Формування багатофункціональних кварталів є одним із ключових напрямів розвитку сучасного міста, орієнтованого на сталість, високу якість життя та зменшення транспортної залежності. У роботі розглядаються теоретичні засади багатофункціональності, що ґрунтуються на критиці монофункціонального зонування та ідеях провідних урбаністів, зокрема Джейн Джейкобс і Кевіна Лінча. Висвітлено комплекс принципів, які охоплюють просторову організацію, функціональне наповнення, соціальну інклюзивність, екологічні та транспортні пріоритети, економічну стійкість, а також управлінські й правові механізми, необхідні для ефективного планування й реалізації змішаних кварталів. Окрему увагу приділено ризикам і викликам, що супроводжують формування багатофункціональних районів, та інструментам їх мінімізації — від адаптивного зонування до підтримки малого бізнесу й програм соціального житла. Наведено міжнародні приклади успішної імплементації підходу, серед яких суперблоки Барселони, район Vauban у Фрайбурзі, скандинавські моделі інтегрованої забудови та практики 15-хвилинного міста у Північній Америці й Азії. Представлений матеріал демонструє, що багатофункціональний квартал є не лише морфологічною та функціональною одиницею, а й інструментом комплексного міського розвитку, здатним поєднувати просторові, соціальні, економічні й екологічні цілі в єдиній системі.

Ключові слова: місто, квартали, вулиці, багатофункціональність, соціальний простір, місцяни, екологія

Abstract

The formation of multifunctional districts is one of the key directions in the development of a modern city oriented toward sustainability, high quality of life, and reduced transport dependency. The study examines the theoretical foundations of multifunctionality, which are based on the critique of monofunctional zoning and the ideas of leading urbanists, including Jane Jacobs and Kevin Lynch. A set of principles is outlined, encompassing spatial organization, functional diversity, social inclusiveness, ecological and transport priorities, economic resilience, as well as managerial and legal mechanisms necessary for the effective planning and implementation of mixed-use districts. Particular attention is paid to the risks and challenges accompanying the formation of multifunctional urban areas, as well as the tools for their mitigation — from adaptive zoning to support for small businesses and social housing programs. International examples of successful implementation are provided, including Barcelona's superblocks, the Vauban district in Freiburg, Scandinavian models of integrated development, and the practices of the 15-minute city in North America and Asia. The material demonstrates that a multifunctional district is not only a morphological and functional unit but also an instrument of comprehensive urban development capable of integrating spatial, social, economic, and ecological objectives into a single system.

Keywords: *city, districts, streets, multifunctionality, social space, residents, ecology.*

Вступ

Сучасні міста перебувають у стані глибокої трансформації, реагуючи на зростаючі вимоги до якості життя, екологічної ефективності, соціальної інклюзії та просторової компактності. Традиційні моделі урбанізації, що базуються на монофункціональному зонуванні, дедалі більше втрачають актуальність, поступаючись підходам, орієнтованим на змішане використання територій та інтеграцію житлових, комерційних, соціальних та рекреаційних функцій. У цьому контексті багатофункціональні квартали виступають ключовими елементами сучасного міського розвитку, здатними забезпечити різноманітність активностей, скоротити транспортні потреби та сформувати живі, комфортні та соціально насичені.

Розвиток багатофункціональних кварталів передбачає не лише просторову інтеграцію різних функцій, а й комплексне врахування соціальних, економічних та екологічних аспектів міської життя. Формування таких кварталів базується на засадах компактності, доступності, гнучкості використання простору та забезпечення високої якості громадських зон. Центральним у сучасному урбаністичному дизайні є людина та її потреби у безпечному, зручному та соціально насиченому середовищі. Опыт

ведущих городов мира демонструє, що правильно спроектовані багатофункціональні квартали сприяють підвищенню соціальної взаємодії, економічної активності та екологічної стійкості, одночасно зменшуючи залежність від приватного транспорту та підвищуючи загальну привабливість міських

Таким чином, дослідження принципів формування багатофункціональних кварталів є надзвичайно актуальним для розробки ефективних стратегій сучасного міського планування, що спрямовані на забезпечення сталого розвитку та підвищення якості життя у містах.

Результати дослідження

Багатофункціональний квартал — це урбаністична одиниця, в якій поєднуються різні функції (житлова, комерційна, офісна, громадська, культурна, іноді виробнича й освітня) у межах компактної території, причому ці функції інтегруються просторово, інфраструктурно та соціально таким чином, щоб забезпечити високу доступність послуг пішки або на коротких поїздках, формувати активне вуличне життя, економічну стійкість і екологічну ефективність. Історично ідейні джерела багатофункціональності містяться в критиці монофункціонального зонування середини XX століття (реакція на міське розділення житла, праці й відпочинку), а також у класичних працях з урбаністики — Jane Jacobs, Kevin Lynch та інших — які підкреслювали значення мікс-функцій, людського масштабу, «очей на вулиці» і зрозумілості міської форми як передумови живих і стійких кварталів. Ці теоретичні засади нині поєднуються з сучасними підходами до сталого розвитку, адміністрування землекористування та інтегрованого транспорту, що робить багатофункціональні квартали ключовим елементом міської політики для зменшення автомобільної залежності, підвищення доступності та зміцнення місцевої економіки [1].

Принципи формування багатофункціональних кварталів охоплюють кілька взаємопов’язаних груп правил — **просторових, функціональних, соціальних, екологічних і управлінських** — які потрібно розглядати як комплексну систему. До просторових принципів належать: підвищена щільність (але не обов’язково висотна), чітка структурування вулиць і блоків із нормальною структурою морфології, доступні й безпечні пішохідні маршрути, багатофункціональні фасади з «вітринами» та входами на вулицю, адаптивні будівлі з можливістю зміни призначення (convertible floors), малі міські форми й публічні простори, які стимулюють перехрестя соціальних потоків. Функціональна суміш повинна бути не випадковою сумішшю різних видів використання, а зваженою композицією: повсякденні сервіси (продукти, аптека, кафе), освітні чи дитячі установи, робочі простори ближче до житла для зменшення потреб у поїздках, громадські інституції й рекреація для соціальної інтеграції. Ці принципи подкреслюють важливість вертикальної й горизонтальної інтеграції функцій — наприклад, комерція на перших рівнях, житло на верхніх поверхах, коворкінги або малі майстерні на внутрішніх подвір’ях. Емпіричні дослідження підтверджують, що саме інтеграція функцій, а не просто їх сусідство, генерує вигоди для мобільності, економіки та соціальної взаємодії.

Соціальні принципи формування багатофункціонального кварталу включають інклюзивність і дотримання різноманіття житлових типів і цінових категорій (формування змішаного житлового фонду), механізми залучення місцевих мешканців до планування й управління (participatory planning), забезпечення доступності інфраструктури для різних вікових і соціальних груп, а також проактивну політику щодо збереження місцевої ідентичності та малих бізнесів при уникненні надмірної гентрифікації. Така політика вимагає комбінованих інструментів: регуляторних (гнучкі зональні правила, умови для змішаного використання), фінансових (стимули для малих підприємств, податкові пільги) та програмних (підтримка громадських ініціатив, програми тимчасового використання простору). Досвід свідчить, що успішні мультифункціональні квартали поєднують формальні правила й неформальні практики самоорганізації — саме цей синергійний ефект підтримує життєздатність мікс-функцій [3].

Екологічні та транспортні принципи передбачають пріоритет пішохідності, велоінфраструктури й високоякісного громадського транспорту, редизайн внутрішніх вулиць для зниження швидкостей руху й передачі частини простору від автомобілів людям, використання зеленої інфраструктури та мікрокліматичних заходів (тінь, водопроникні покриття, зниження ефекту теплових островів). Моделі, які зосереджують щоденні потреби в межах 5–15-хвилинного доступу (підхід 15-minute city), прямо пов’язані з ідеєю багатофункціональних кварталів: коли базові послуги локалізовані й доступні пішки чи на велосипеді, зростає місцева мобільність і знижується потреба у довгих поїздках. На практиці

інструментами досягнення цього стають: поєднана транспортна й земельна політика, паркувальні обмеження, перетворення частин вулиць на громадські простори (приклад — концепція суперблоків), а також інтегроване планування інфраструктури для управління енергоспоживанням і водними ресурсами. Наукові оцінки (включаючи макроаналізи потенціалу superblock-перетворень) показують реальні вигоди у вигляді зменшення шуму, викидів і підвищення просторової якості життя.

Економічні принципи підкреслюють необхідність створення умов для різних типів економічної діяльності на місці: від малих локальних підприємств до креативних студій і кооперативів. Багатофункціональність підвищує стійкість місцевої економіки, оскільки суміш функцій дозволяє підтримувати попит у різні часи доби (денний і вечірній потік), створює можливості для перехресного попиту (клієнти кафе — відвідувачі магазинів, відвідувачі культурних подій — локальні сервіси) і зменшує сезонно/циклічну вразливість. Водночас важливо уникати «комерційного пустощу» — коли площі, заплановані під ритейл, залишаються порожніми через погане вивчення попиту або невідповідну орендну політику; тому планування має базуватися на економічному аналізі попиту, гнучкості приміщень і політиці підтримки стартапів.

Управлінські й правові принципи охоплюють створення інтегрованих інструментів землекористування (гнучкі mixed-use zoning, плани детальної забудови), механізмів координації між відомствами (транспорт, житло, економічний розвиток, екологія), договорів між приватним і публічним секторами, а також чітких правил щодо доступності, стандартів якості громадських просторів і критеріїв сталості. Успішні приклади показують, що без сильного адміністрування й структур підтримки (на кшталт місцевих бюро розбудови кварталу або спеціальних зон розвитку) багатофункціональні наміри часто розтягуються в часі або перетворюються на набір ізольованих проектів. Тому важливим є також моніторинг ефективності (ступінь міксу функцій, пішохідність, заповнюваність ритейлу, індекси доступності, енергетична ефективність) і гнучкі коригування політик на основі зворотного зв’язку.

Типові проблеми й ризики при формуванні багатофункціональних кварталів включають: конфліктні суміжні використання (шум виробництва поруч із житлом), дорожче та складніше управління комунікаціями й паркуванням, ризик витіснення існуючих мешканців через підвищення орендних ставок (гентрифікація), надмірну стандартизацію й втрату локального характеру при «комерціалізації» вуличного простору, а також недостатню ринкову адаптацію приміщень. Проти цих ризиків застосовують набір заходів: зональні винятки для мікропідприємств, соціально орієнтовані програми житла, обмеження на великі мережеві операції в ключових місцях, інкубатори для малого бізнесу, правила щодо активних фасадів і гнучкі планувальні рішення для адаптації приміщень. Практика показує, що комбінація нормативних заходів і програм економічної підтримки (субсидії, гранти, пільги) є ефективнішою, ніж лише коробкова зміна зонування.

Щодо методів планування та проектування: застосовуються аналізи місцевих потоків (пішохідні та транспортні), інструменти GIS для оцінки доступності й щільності послуг, сценарне моделювання впливу змін на мобільність і навантаження інфраструктури, дизайн-підходи, орієнтовані на людей (human-centred design), а також експериментальні тактики «тактичної урбаністики» (pop-up парки, тимчасові крамниці, пішохідні зони), які дозволяють тестувати рішення до їх масштабної імплементації. Важливий також вимір «живучості» простору після реалізації: збір даних про використання громадських просторів, рівень відвідуваності комерційних площ, індекси безпеки, опитування задоволеності мешканців — усе це формує основу для адаптивного управління.

Приклади міст та проектів, де принципи багатофункціональних кварталів втілено на практиці, служать як ідеологічними, так і емпіричними точками опори для сучасного урбаністичного планування. Барселона та її програма «суперблоків» (superilles/superblocks) (рис.1) є яскравим прикладом трансформації міського блоку через переорієнтацію внутрішніх вулиць на пішохідні та громадські функції. Цей підхід одночасно підвищує доступність місцевих сервісів, стимулює соціальну взаємодію та знижує автомобільний трафік у центральних кварталах. Численні дослідження оцінюють як переваги таких суперблоків (зниження шуму та викидів, збільшення зелених зон, створення просторів для відпочинку та культурних заходів), так і складності їх впровадження (транспортне перенапруження на периферії суперблоків, необхідність політичної підтримки та залучення громадськості).



Рис.1 - Суперблоки Барселони [3]

Досвід району Vauban у Фрайбурзі (Німеччина) (рис.2) демонструє класичний приклад планованого стійкого та змішаного району. Тут застосовані екологічні технології, передбачено різноманітність житлових типів, розвинена локальна інфраструктура, низька автомобільна залежність, а також активна доля громад у розробці та управлінні проектом. Vauban часто згадується як модель поєднання екологічних, соціальних та економічних цілей в межах кварталу, що робить його взірцем для досліджень у сфері сталого урбанізму.



Рис.2-Район Vauban у Фрайбурзі (Німеччина) [4]

Інші приклади успішних практик включають реконверсії історичних центрів із високим мультифункціональним потенціалом. Дослідження таких центрів показують позитивну кореляцію між історичною міською морфологією та багатофункціональністю, що сприяє розвитку туризму, культурних ініціатив та місцевої економіки. Нові урбаністичні райони у Скандінавії та Північній Європі демонструють інтегровані транспортно-екологічні моделі (наприклад, окремі райони Копенгагену та Фредеріксберга), де пріоритет надається велосипедній та пішохідній мобільності, а також локальним сервісам.

У Північній Америці й Азії підходи типу 15-хвилинна діяльність та mixed-use zoning активно застосовуються як у плануванні нових кварталів, так і в реконструкції старих міських територій. Ці

ініціативи демонструють, що багатофункціональні квартали не лише підвищують якість життя мешканців, а й сприяють соціальній інтеграції, економічній стійкості та екологічній збалансованості міської середовища.

Висновки

Формування багатофункціональних кварталів постає як комплексний та багаторівневий процес, що інтегрує просторові, соціальні, економічні, транспортні й екологічні аспекти сучасного міського розвитку. Аналіз наведеної теоретичної та практичної бази засвідчує, що багатофункціональний квартал не є просто змішанням різних функцій у межах однієї території, а являє собою добре структуровану, адаптивну та соціально орієнтовану систему, здатну реагувати на зміну потреб населення й динаміку міського середовища. Ефективність таких кварталів визначається якістю інтеграції функцій, гнучкістю архітектурних і планувальних рішень, участю місцевої спільноти та наявністю механізмів управління, що забезпечують баланс інтересів мешканців, бізнесу та міської влади.

Практичні приклади з Барселони, Фрайбурга, та інших регіонів доводять, що багатофункціональні квартали здатні підвищувати соціальну згуртованість, зменшувати автомобільну залежність, стимулювати локальну економіку та покращувати екологічний стан міського середовища. Водночас реалізація таких підходів супроводжується низкою ризиків — від гентрифікації до конфліктів між функціями — що потребують чіткої регуляції, управлінських інструментів та механізмів соціального захисту. Отже, багатофункціональний квартал можна розглядати як ефективну модель сучасного міського планування, здатну забезпечити стійкість, комфортність і різноманітність життєвого середовища за умови комплексного й науково обґрунтованого підходу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Смерть і життя міського дизайну: Джейн Джейкобс, Фонд Рокфеллера та нові дослідження в урбанізмі, 1955–1965. URL: https://www.researchgate.net/publication/248992279_The_Death_and_Life_of_Urban_Design_Jane_Jacobs_The_Rockefeller_Foundation_and_the_New_Research_in_Urbanism_1955-1965
2. Підхід до сталого міського дизайну громадських просторів з використанням процесу аналітичної ієрархії. URL: https://www.mdpi.com/2073-445X/14/1/19?utm_source
3. Суперблоки Барселони. URL: https://vertaki.com.ua/superblok_barselona/
4. Як в 1990-х роках в Німеччині збудували утопічний еко-район і що з цього вийшло. URL: https://hmarochos.kiev.ua/2025/04/23/yak-v-1990-h-rokah-v-nimechchyni-zbuduvaly-utopichnyj-eko-rajon-i-shho-z-czogo-vyjshlo/

Нікітченко Тетяна Вячеславівна – здобувачка групи БМ-24м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nikitchenko71mail.ua@gmail.com.

Риндюк Світлана Володимирівна - кандидатка технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: runduyksv@gmail.com

Tetiana Nikitchenko - student of the BM-24m group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nikitchenko71mail.ua@gmail.com.

Svitlana Ryndiuk — PhD, docent of Department of Construction, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: runduyksv@gmail.com.

УДК 711.73

Є. В. Удуденко[1]
А. В. Куленко[1]
Л. В. Кучеренко[1]
В. О. Галушко[2]

ПЛАНУВАННЯ МІСЬКОЇ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ З УРАХУВАННЯМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

[1]Вінницький національний технічний університет
[2]Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Анотація

У роботі досліджено сутність, структуру та функціональне призначення вулично-дорожньої мережі як фундаментальної основи просторової організації сучасного міста. Проаналізовано класифікацію елементів ВДМ та обґрунтовано критичну необхідність її модернізації на засадах інтеграції принципів сталого розвитку та енергоефективності. Визначено, що суттєве зниження енерговитрат транспортним комплексом досягається завдяки впровадженню інтелектуальних транспортних систем та адаптивного керування світлофорами. Встановлено головну стратегічну тенденцію – перерозподіл простору ВДМ на користь пріоритезації громадського електричного та немоторизованого транспорту для мінімізації загальної енергоємності.

Ключові слова: вулично-дорожня мережа; енергоефективне планування; інтелектуальні транспортні системи; модальний перехід.

Abstract

The paper examines the essence, structure, and functional purpose of the street and road network as the fundamental basis for the spatial organization of a modern city. It analyzes the classification of street and road network elements and substantiates the critical need for its modernization based on the integration of the principles of sustainable development and energy efficiency. It is determined that a significant reduction in energy consumption by the transport complex is achieved through the introduction of intelligent transport systems and adaptive traffic light control. The main strategic trend is established – the redistribution of the street and road network space in favor of prioritizing public electric and non-motorized transport to minimize overall energy consumption.

Keywords: street and road network; energy-efficient planning; intelligent transport systems; modal shift.

Вступ

Вулично-дорожня мережа (ВДМ) – це система транспортних і пішохідних зв’язків між елементами планувальної структури міста, яка призначена для організації руху транспорту і пішоходів, прокладання інженерних комунікацій, озеленення і благоустрою вулиць. Вулично-дорожня мережа міста формується як цілісна система, що взаємозв’язана з мережею транспортних магістралей району розселення. Структура мережі визначається загальною планувальною структурою та розмірами міста, взаєморозміщенням його частин [1].

Інтенсивний розвиток міст збільшує транспортне навантаження, що критично підвищує споживання палива та електроенергії вулично-дорожньою мережею. Традиційне планування ВДМ, сфокусоване лише на пропускній здатності, є енергонеефективним, спричиняючи значні втрати через затори та неефективне керування інфраструктурою. В умовах глобальної енергетичної кризи та відбудови України, перехід до енергоефективного та сталого планування ВДМ стає стратегічною необхідністю. Актуальність дослідження зумовлена потребою в науково обґрунтованих, інтегрованих методах, які гарантують мінімізацію енергетичних витрат транспортом та інфраструктурою.

Метою роботи є наукове обґрунтування та розробка методичних рекомендацій з планування та модернізації міської вулично-дорожньої мережі (ВДМ), спрямованих на суттєве зниження загального енергоспоживання транспортного комплексу. Досягнення цієї мети вимагає інтеграції принципів сталого розвитку, використання інтелектуальних транспортних систем (ITS) та пріоритезації енергоефективних видів транспорту. Це охоплює вирішення низки завдань: системний аналіз чинних підходів, класифікація джерел енергетичних втрат, розробка моделі оцінки енергоефективності ВДМ (за показниками швидкості та зупинок) та обґрунтування методики впровадження заходів

енергозбереження (зокрема, адаптивного керування світлофорами).

Результати досліджень

Вулично-дорожня мережа є фундаментальною основою просторової структури міста. Вона формує цілісну систему зв'язків для транспорту, пішоходів, інженерних комунікацій, озеленення та благоустрою. Функціонально ВДМ визначає доступність територій та економічний потенціал міста. Класифікація елементів ВДМ (магістралі загальноміського, районного та місцевого значення) необхідна для встановлення відповідного режиму руху і пропускної здатності, а також для визначення пріоритетів впровадження енергозберігаючих заходів. Таким чином, ВДМ виступає ключовим об'єктом регулювання та модернізації для досягнення цілей сталого розвитку.

Таблиця 1 узагальнює основні фактори, що формують енергетичні втрати у вулично-дорожній мережі. Найбільший вплив мають затори та неефективна організація руху, які призводять до циклів «старт–стоп» та зростання питомої витрати палива. Значним фактором є також використання застарілих систем освітлення, що збільшує енергоспоживання інфраструктури. Перевага приватного транспорту формує додаткове навантаження на мережу, що знижує її загальну енергоефективність.

Таблиця 1 – Джерела енергетичних втрат у вулично-дорожній мережі (ВДМ)

Джерело втрат	Характеристика	Вплив на енергоефективність
Затори	Низька середня швидкість руху; часті зупинки «старт–стоп»	Високий
Неефективне освітлення	Використання натрієвих ламп, відсутність керування яскравістю	Середній
Нераціональна організація руху	Налаштування світлофорів без адаптації; неузгоджені фази	Високий
Перевага приватного транспорту	Велика кількість авто → високі питомі енерговитрати	Дуже високий
Відсутність виділених смуг	Громадський транспорт втрачає ефективність	Середній

Сучасне планування транспорту відходить від пріоритету автомобільного руху, інтегруючи концепції сталого розвитку, обов'язкові для енергоефективної модернізації ВДМ. Центральною є концепція трьох дій: уникнення, перехід, вдосконалення. Уникнення передбачає зменшення потреби в поїздках через створення компактних районів; перехід – заохочення використання громадського електричного транспорту та немоторизованого руху; вдосконалення – підвищення енергоефективності самого транспорту та інфраструктури (впровадження розумних транспортних систем і освітлення). Енергозбереження у ВДМ безпосередньо корелюється з останніми двома принципами, вимагаючи технологічної модернізації та кардинальних планувальних рішень щодо перерозподілу простору на користь пріоритетних, енергоефективних видів пересування (надання виділених смуг та пріоритету проїзду громадському транспорту (особливо електричному) на перехрестях, створення безпечної та розвиненої інфраструктури для пішоходів та велосипедистів (велодоріжки, комфортні тротуари)) [2].

Енергозбереження у ВДМ сфокусовано на двох напрямах: зменшенні втрат електроенергії інфраструктурою та мінімізації витрат палива транспортом. Критичним є перехід на енергозберігаюче освітлення, зокрема масове впровадження світлодіодних (LED) світильників, які мають високий ККД. Додаткова економія досягається завдяки системам розумного освітлення з функцією димування, що регулюють яскравість залежно від умов руху. Для мінімізації втрат енергії транспортом ключовою є оптимізація трафіку через інтелектуальні транспортні системи та адаптивні системи керування дорожнім рухом (АСКД). Ці системи забезпечують "зелену хвилю", скорочуючи цикли "старт-стоп" і, відповідно, знижуючи витрати палива. Комплексне застосування цих технологій дозволяє досягти значної загальної енергоефективності ВДМ [3].

У таблиці 2 подано порівняння різних типів міських вулиць за рівнем можливого енергозбереження. Магістралі загальноміського значення характеризуються найбільшим потенціалом оптимізації, оскільки на них зосереджується основна частина транспортних потоків. Районні магістралі мають середній потенціал, зумовлений змішаною структурою руху. Місцеві та житлові вулиці демонструють менший рівень втрат, проте інфраструктурні заходи дозволяють досягати значного зниження електроспоживання. Таблиця відображає, що кожна категорія вулиць потребує окремого набору рішень, орієнтованих на пропускну здатність та характер руху.

Таблиця 2 – Зонування вулично-дорожньої мережі (ВДМ) за критеріями енергоспоживання

Зона	Категорія вулиць	Характеристика енергоспоживання	Основні причини втрат	Рекомендовані заходи енергозбереження	Очікуваний ефект
Зона A – Високої енергоємності	Магістралі загальноміського значення, ключові перехрестя	Максимальні втрати енергії через інтенсивний трафік, часті затримки, високе навантаження	Затори, неузгоджене світлофорне регулювання, хаотичні потоки	Впровадження ITS, адаптивні світлофори, координація «зеленої хвилі», виділені смуги для ГЕТ	Скорочення витрат енергії транспорту на 20–35%; зменшення затримок на 30–50%
Зона B – Середньої енергоємності	Магістралі районного значення, вулиці зі змішаними потоками	Помірні енергетичні втрати, переважно через нестабільні потоки та низьку пропускність у години пік	Незбалансовані фази світлофорів, конфлікти потоків, недосконала геометрія	Оптимізація перехресть, часткова адаптація світлофорів, LED-освітлення	Економія 10–20%; підвищення стабільності руху
Зона C – Низької енергоємності	Вулиці місцевого значення, житлові вулиці	Низьке споживання енергії через слабкі транспортні потоки	Неефективне освітлення, зайве використання авто	LED-освітлення з димуванням, пріоритет пішохідних переходів, велоінфраструктура	Економія електроенергії 20–40%
Зона D – Мінімальної енергоємності	Пішохідні та рекреаційні вулиці, внутрішньо-квартальні простори	Витрати енергії мінімальні та переважно інфраструктурні	Освітлення, утримання територій	Розумне освітлення, сонячні світильники, скорочення автодоступу	До 60% зменшення споживання електроенергії
Зона E – Змішана зона (перехідна)	Території між житловою та магістральною мережею	Коливання навантаження залежно від часу доби	Сезонні та часові піки, неузгоджені потоки	Локальні ITS-рішення, секційне освітлення, підвищення безпеки руху	Стабілізація потоку, 5–15% економії

Для суттєвого зниження енергетичних втрат транспортним потоком у вулично-дорожній мережі (ВДМ) застосовується оптимізація руху на основі інтелектуальних транспортних систем (ITS). Ключовим інструментом тут є адаптивне керування світлофорами та впровадження динамічної "зеленої хвилі". На відміну від жорстких циклів, адаптивні системи використовують інформацію в режимі реального часу від детекторів руху для коригування тривалості фаз світлофорного регулювання. Це забезпечує максимальну синхронізацію швидкості потоку та пропускної здатності ділянки, що прямо призводить до мінімізації примусових зупинок, зменшення часу простою транспортних засобів у заторі та, як наслідок, до скорочення витрат палива на 10-25%. Таким чином, оптимізація організації руху на основі ITS є найшвидшим і найбільш ефективним способом підвищення енергоефективності ВДМ на вже існуючій інфраструктурі.

Таблиця 3 структурує ключові елементи сучасних ITS, що впливають на енергоефективність транспортного комплексу міста. Датчики руху забезпечують оперативний збір даних для адаптації фаз світлофорів. Адаптивні світлофори дозволяють скоротити час простою транспорту та підвищити середню швидкість потоку. Центральні системи управління синхронізують мережу, забезпечуючи ефект «зеленої хвилі». Системи прогнозування мінімізують утворення заторів. У сукупності ці елементи формують інтелектуальну мережу, здатну зменшити втрати палива на 20–35%.

Таблиця 3 – Складові інтелектуальних транспортних систем (ITS)

Компонент	Функція	Вплив на енергоефективність
Датчики транспортного потоку	Вимірювання швидкості, щільності, складу потоку	Зменшення затримок
Адаптивні світлофори	Автоматичне коригування фаз світлофора	10–25% економії палива
Камери та відеоаналітика	Аналіз реального часу; виявлення заторів	Підвищення стабільності руху
Централізований диспетчерський центр	Координація роботи мережі	Максимізація ефекту ITS
Системи прогнозування	Прогноз заторів; оптимізація маршрутів	Зниження затримок на магістралях

Зниження загальної енергоємності транспортного комплексу міста є неможливим без впливу на планувальну структуру та стимулювання модального переходу. Це досягається через пріоритезацію громадського електричного транспорту (ГЕТ) та немоторизованого руху. Основним планувальним заходом є перерозподіл простору вулично-дорожньої мережі (ВДМ) на користь цих видів, що передбачає виділення та фізичне відокремлення смуг для ГЕТ, а також будівництво безпечної, інтегрованої велосипедної інфраструктури та комфортних пішохідних зон. Такі структурні зміни безпосередньо впливають на вибір способу пересування мешканців, знижуючи залежність від приватного автомобіля. У довгостроковій перспективі це гарантує скорочення споживання моторного палива та викидів, що робить цей захід одним із найбільш ефективних стратегічних рішень для енергозбереження та досягнення цілей сталого розвитку [4].

Проектні рішення щодо формування енергоефективних зон у ВДМ повинні прийматися на основі інтеграції містобудівної документації (генеральний план, детальні плани, комплексні схеми транспорту) з результатами енергетичного аудиту [5]. Методичні рекомендації щодо планування ВДМ з врахуванням енергозбереження передбачають зонування мережі за потенціалом енергозбереження та категорією вулиці. Для магістралей загальноміського значення пріоритетом є впровадження адаптивного керування трафіком (АСКД) для забезпечення оптимального швидкісного режиму та мінімізації втрат енергії рухомим складом. У зонах місцевого значення та на транспортно-пішохідних вулицях, де розрахункова інтенсивність руху нижча, необхідно пріоритезувати рішення, що стосуються інфраструктурної економії (розумне LED-освітлення з димуванням) та модального переходу (оптимізація геометрії перехресть для безпечного руху немоторизованого транспорту). Такий підхід забезпечує відповідність проектних рішень як експлуатаційним, так і критично важливим екологічним вимогам, максимізуючи загальний ефект енергозбереження у міському масштабі.

Висновки

Проведене дослідження науково обґрунтувало необхідність переходу від традиційного планування вулично-дорожньої мережі (ВДМ) до енергоефективного та сталого підходу, що є критично важливим в умовах глобальної кризи та відбудови українських міст. Було встановлено, що максимальне зниження загального енергоспоживання транспортного комплексу міста досягається шляхом інтеграції двох основних стратегій: технологічної модернізації інфраструктури та структурних змін організації руху. Зокрема, це охоплює впровадження високоенергоефективного LED-освітлення з функцією димування та застосування інтелектуальних транспортних систем з адаптивним керуванням світлофорами. Оптимізація трафіку через динамічну "зелену хвилю" є найшвидшим способом скоротити втрати палива транспортом на 10-25% на вже існуючій мережі.

На основі системного аналізу розроблено методичні рекомендації, які передбачають зонування ВДМ відповідно до категорії вулиці та потенціалу енергозбереження. Для досягнення довгострокової стійкості ключовим планувальним заходом визнано модальний перехід: необхідно пріоритезувати громадський електричний транспорт та немоторизований рух через перерозподіл простору ВДМ (виділені смуги, велосипедна інфраструктура). Обґрунтований комплекс інтегрованих заходів – від адаптивного керування трафіком на магістралях до інфраструктурної економії на місцевих вулицях – дозволяє не лише забезпечити функціональність транспортної системи, а й гарантувати системну мінімізацію енергетичних витрат, що є стратегічною основою для сталого розвитку та планування міст майбутнього.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Степанчук О.В. Особливості та закономірності руху на вулично-дорожній мережі міста: монографія. Київ: НАУ. С. 408-434.

2. Безлюбченко О.С., Гордієнко С.М., Завальний О.В. Планування міст і транспорт: Навчальний посібник.. Харків: ХНАМГ, 2006. 138 с.

3. Зосименко В.В. Енергозбереження у транспортній галузі: матеріали 77-ї студентської науково-технічної конференції "Тиждень студентської науки", м. Дніпро. С. 305-307.

4. Інформаційні системи і технології в міському просторі : монографія [М. В. Новожилова, А. Л. Литвинов, В. Є. Зайцев та ін.] ; за заг. ред. М. В. Новожилової ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 292 с.

5. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199686959802877315?doc_type=2

Удуденко Єлизавета Вікторівна – студентка групи БМ-23б, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ududenkoliza29@gmail.com

Куленко Анна Вікторівна – студентка групи АДВ-24б, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kulenko.anna123@gmail.com

Кучеренко Лілія Василівна – канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: kucherenko@vntu.edu.ua

Галушко Валентина Олександрівна – д-р техн. наук, доцент, професор кафедри будівельних конструкцій, будівлі та споруд, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, e-mail: halushko.valentyna@nung.edu.ua

Ududenko Yelyzaveta V. – student of BM-23b group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ududenkoliza29@gmail.com

Kulenko Anna V. – student of ADV-24b group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kulenko.anna123@gmail.com

Kucherenko Liliya V. – PhD, Associate Professor, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: kucherenko@vntu.edu.ua

Halushko Valentyna O. – Dr. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Professor of the Chair of of Building Structures, Buildings and Structures, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, e-mail: halushko.valentyna@nung.edu.ua

УДК 72.03:712.25

І. М. Вознюк[1]
В. В. Ковальчук[2]
В. П. Ковальський[2]

РОЛЬ ЛАНДШАФТНОГО ДИЗАЙНУ У ФОРМУВАННІ ГРОМАДСЬКИХ ПРОСТОРІВ

[1]ДПТНЗ «Хмільницький аграрний центр ПТО» ;
[2]Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезі розглядається вплив ландшафтного дизайну на якість і функціональність громадських просторів. Проаналізовано роль природних елементів, озеленення, малих архітектурних форм і благоустрою у створенні комфортного, естетичного та екологічно збалансованого міського середовища. Визначено, що ландшафтний дизайн сприяє покращенню соціальної взаємодії, зниженню рівня стресу мешканців і підвищенню привабливості міських територій.

Ключові слова: ландшафтний дизайн, громадський простір, благоустрій, урбаністика, екологія.

Abstract

The thesis examines the influence of landscape design on the quality and functionality of public spaces. The role of natural elements, landscaping, small architectural forms and landscaping in creating a comfortable, aesthetic and ecologically balanced urban environment is analyzed. It was determined that landscape design contributes to improving social interaction, reducing the level of stress of residents and increasing the attractiveness of urban areas

Keywords: landscape design, public space, improvement, urbanism, ecology.

Вступ

Ландшафтний дизайн виник ще в середині XIX столітті, відокремившись від широкого спектру архітектурних дисциплін завдяки становленню індустріальної технологічної епохи [1-3]. Багато дослідників її основою вважають садово-паркове мистецтво, що відоме ще зі стародавніх часів, а сьогодні увійшло до складу ландшафтної архітектури як окремий тип складових елементів ландшафтної діяльності [4-6].

Сучасне місто розвивається не лише як місце проживання, але й як простір для комунікації, творчості та відпочинку [7-9]. Формування якісних громадських просторів є важливою умовою підвищення рівня життя населення та покращення естетичного вигляду урбанізованого середовища. В цьому контексті ландшафтний дизайн виступає ключовим інструментом інтеграції природних і штучних компонентів простору, створюючи гармонійне середовище для людини [10-12].

Метою роботи є дослідження ролі ландшафтного дизайну у формуванні громадських просторів та визначення його впливу на соціально-психологічний комфорт мешканців і сталий розвиток міського середовища.

Результати дослідження

Ландшафтний дизайн виконує низку важливих функцій у міських громадських просторах: естетичну, рекреаційну, екологічну, комунікативну та культурну. Правильно організований простір сприяє створенню комфортних умов для дозвілля, підвищенню безпеки та привабливості територій, а також формуванню позитивного іміджу міста [13-15].

Розвиток урбанізації на основі промислової революції, зумовивши принципові структурні зміни як самих міст, так і розселення взагалі, та проявившись у формування міських просторів різних ієрархічних рівнів, не міг не вплинути на характер об’єктів ландшафтного проєктування – ландшафтних просторів.

Виразність простору, його неповторність, композиція створюються за допомогою засобів ландшафтного дизайну, що в останні десятиліття зазнали бурхливого розвитку як за кордоном, так і в Україні. На зміну типовому озелененню та благоустрою, що багато десятиліть зумовлювали характер сере-

довища радянських міст, прийшли нові можливості формування ексклюзивних ландшафтних просторів в умовах формування нового ландшафтного мислення, ринкових відносин та новітніх технологій.

Традиційно основними елементами ландшафтного дизайну, що служать для організації міських ландшафтних просторів, виступають малі архітектурні форми – декоративні (формальні) та утилітарні (функціональні), озеленення – садові композиції, клумби. Останнім часом окремо виділяють топіарне мистецтво, що стає досить популярним. Розвивається озеленення вулиць, доріг, інженерних комунікацій.

Основні принципи ландшафтного проєктування громадських просторів:

• Функціональне зонування — поділ території на активні (ігрові, спортивні) та пасивні (зони відпочинку, споглядання природи) ділянки.

• Гармонійне поєднання природних і архітектурних елементів — поєднання зелених насаджень, водних об’єктів, малих архітектурних форм, освітлення та мощення.

• Екологічність — використання місцевих матеріалів і рослин, впровадження систем збору дощової води, енергоефективних технологій.

• Доступність і безбар’єрність — створення умов для вільного пересування всіх категорій населення, включаючи людей з інвалідністю.

• Ідентичність місця — врахування історичних, культурних і природних особливостей території, що формує відчуття приналежності до міста.

Прикладом ефективного використання ландшафтного дизайну є облаштування парків і скверів у Києві, Львові, Вінниці, де поєднуються сучасні архітектурні рішення з природними елементами, а також інтерактивними зонами для дітей і молоді рисунок 1 і 2.



Рис. 1. Приклад облаштування громадського простору м. Київ





Рис. 2. Приклад облаштування громадського простору м. Вінниця

На рис.1 наведено приклад облаштування громадського простору в Шевченківському та Оболонському районі Києва, біля станцій метро "Шулявська" та "Героїв Дніпра"

В європейських містах (наприклад, Копенгаген, Відень, Варшава) громадські простори формуються з урахуванням принципів сталого розвитку: мінімізація асфальтованих покриттів, збільшення площ озеленення, застосування систем природного дренажу та біоархітектурних рішень.

Найбільш яскравими творами цього напрямку безумовно є роботи американського архітектора Чарльза Дженкса (Charles Jencks) [2-4], що можна по праву вважати справжніми шедеврами сучасного мистецтва. Серед його останніх робіт виділяється проєкт парку Crawick Multiverse на півдні Шотландії. Проєкт Crawick Multiverse - приклад, як можна перетворити покинуту шахту на об'єкт паломництва туристів з усього світу наведено на рисунку 3. У цьому покинутому місці він влаштував парк, присвячений ідеї Всесвіту. Застарілі терикони перетворилися на хитромудрі зелені кургани, що уособлюють собою Чумацький шлях, а вугільні котловани — на штучні водоймища.



Рис. 3. Парк Crawick Multiverse на півдні Шотландії

Ландшафтний дизайн має величезне значення для соціального життя міст. Парки, сквери, дитячі майданчики, спортивні зони та інші громадські простори стають осередками відпочинку, спілкування та культурних подій. Такі місця сприяють об’єднанню громад, зміцнюючи соціальні зв’язки між мешканцями. У районах із розвиненими зеленими зонами люди частіше знайомляться, спілкуються та створюють локальні спільноти, що підвищує рівень соціальної активності. Крім того, зелені простори позитивно впливають на психологічний стан людей. Дослідження показують, що перебування в парку чи прогулянка серед дерев знижують рівень кортизолу (гормону стресу), покращують настрій і сприяють загальному відчуттю благополуччя. У великих містах, де щільна забудова, шум і швидкий ритм життя часто призводять до тривожності та депресії, доступ до зелених зон стає справжнім порятунком, так як можуть використовуватись для медитації та відпочинку.

Крім того, зелений дизайн позитивно впливає на мікроклімат міста, зменшує рівень шуму й забруднення, підвищує біорізноманіття. Дослідження свідчать, що мешканці, які мають доступ до зелених зон, рідше відчувають стрес і демонструють вищу задоволеність якістю життя.

Таким чином, ландшафтний дизайн є невід’ємною частиною формування комфортного міського простору, який поєднує естетику, функціональність та екологічну стійкість, тим самим покращує якість життя мешканців та сприяє сталому розвитку міст, вирішуючи екологічні виклики сучасності.

Висновки

Ландшафтний дизайн є важливою складовою процесу формування якісних громадських просторів, оскільки поєднує естетичні, функціональні та екологічні аспекти міського середовища. Гармонійне використання природних і архітектурних елементів сприяє створенню комфортного простору для відпочинку, спілкування та культурного розвитку мешканців. Розвиток ландшафтного дизайну в українських містах підвищує рівень соціальної взаємодії, формує позитивний імідж територій і сприяє сталому розвитку урбанізованих територій. Подальше впровадження принципів екологічності, доступності та ідентичності місця має стати основою сучасного підходу до проєктування громадських просторів в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковальський В. П., Постолатій М. О., Вознюк І. М. Дизайн міського середовища // Стратегія розвитку міст: молодь і майбутнє (інноваційний ліфт). – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – С. 317–322.

2. Ладигіна І. В., Дубіна Н. Г. Тенденції формування ландшафтної архітектури в сучасних умовах. Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2018. Т. 91. №1. с. 21-28.
3. 3. Вітюк І. В., Ковальський В. П. Закономірності та особливості формування садово-паркових об'єктів // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ. – Вінниця, 2017.
4. 5. Lynch K. The Image of the City. – Cambridge: MIT Press, 1960.
5. 6. Трофименко К. О., Ковальський В. П. Містобудівна концепція Вінниці до 2040 року // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ. – Вінниця, 2019.
6. 7. Процик Н. В. Формування громадських просторів засобами ландшафтного дизайну // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. – 2022. – №12. – С. 45–49.
7. Варчук, Р. В. Модернізація роботи культурно-побутових закладів у ході джентрифікації міста [Електронний ресурс] / Р. В. Варчук, В. П. Ковальський // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. – Електрон. текст. дані. – 2019. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2019/paper/view/7584.
8. Глазков Д. В., Ковальський О. В., Ковальський В. П. Вплив ревіталізації на розвиток міського середовища // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 11-20 травня 2024 р. Електрон. текст. дані. 2024. URL: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/21764.
9. Вітюк І. В. Варіанти моделювання ландшафтно-архітектурної та просторової структури рекреаційно-розважальних парків / І. В. Вітюк, В. П. Ковальський // Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали міжнар. наук.-прак. конф., 5-7 квітня 2017 р. - Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2017. - С. 144. - ISBN 978-966-284-110-7.
10. Погосян С. К. Актуальні методи формування урбанізованого архітектурно-містобудівного середовища [Електронний ресурс] / С. К. Погосян, М. М. Марчук, В. П. Ковальський // Матеріали LII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 21-23 червня 2023 р. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2023/paper/view/17598.
11. Kalafat K. Technical research and development [Text]: collective monograph / Kalafat K., Vakhitova L., Drizhd V., etc. – International Science Group. – Boston, : Primedia eLaunch 2021. – 616 p
12. Ковальський В. П. Малі архітектурні форми, їх переваги та недоліки(на прикладі міста Вінниця) [Текст] / В. П. Ковальський, К. Пиндик // Вісник науково-методичних досліджень. - Вінниця : ВГПК, 2015. – No 4. - С. 113–118.
13. Вітюк І. В. Варіанти моделювання ландшафтно-архітектурної та просторової структури рекреаційно-розважальних парків [Текст] / І. В. Вітюк, В. П. Ковальський // Прикладні науковотехнічні дослідження : матеріали міжнар. наук.-прак. конф., 5-7 квітня 2017 р. - ІваноФранківськ : Симфонія форте, 2017. - С. 144. - ISBN 978-966-284-110-7
14. Абрамович В.С. Застосування адаптивної архітектури при ревіталізації будівель і міських просторів / В. С. Абрамович, В. П. Ковальський, А. В. Бондар // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології в будівництві, Вінниця", 10-12 листопада 2020 р. – Електрон. текст. дані. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/viewFile/10868.

Вознюк Ігор Михайлович **–** викладач ДПТНЗ «Хмільницький аграрний центр ПТО», м Хмільник.

Ковальчук Вероніка Вікторівна **–**студентка групи БМ-23б, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Ковальський Віктор Павлович **–**кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kovalskiy@vntu.edu.ua

Voznyuk Igor M. – teacher of State Vocational and Technical Educational Establishment " Khmilnyk Center of Vocational and Technical Education", Khmilnyk.

Kovalchuk Veronika V. – *student of BM-23b group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.*

Kovalskyi Viktor P. **–** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kovalskiy@vntu.edu.ua

УДК 72.03

Є. В. Удуденко[1]
В. П. Очеретний[1]

КЛАСИФІКАЦІЯ ГРОМАДСЬКИХ ПРОСТОРІВ У СУЧАСНОМУ МІСТОБУДІВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

[1]Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено сутність, типологію та роль громадських просторів як ключових складових архітектурно-планувальної структури сучасного міста. Проаналізовано комплексну класифікацію громадських просторів за розміром, функціональним наповненням та формою власності, а також визначено важливість міських парків як осередків екологічної стійкості. Виявлено головну тенденцію розвитку — перехід до гуманістичної моделі, що надає пріоритет інклюзивності, багатофункціональності та сталому розвитку міського середовища.

Ключові слова: *громадські простори; містобудівне середовище; класифікація; сталий розвиток.*

Abstract

The paper examines the essence, typology, and role of public spaces as key components of the architectural and planning structure of a modern city. It analyzes a comprehensive classification of public spaces by size, functional content, and form of ownership, and determines the importance of urban parks as centers of environmental sustainability. The main development trend has been identified—the transition to a humanistic model that prioritizes inclusiveness, multifunctionality, and sustainable development of the urban environment.

Keywords: *public spaces; urban environment; classification; sustainable development..*

Вступ

Громадські простори є однією з ключових складових архітектурно-планувальної структури сучасного міста, виступаючи осередками для комунікації, культурного життя, дозвілля та соціальної інтеграції. Від античних агор до сучасних парків і площ, вони завжди виконували важливу роль місць зустрічей і громадської активності. У контексті сучасних викликів урбанізації — перенаселення, транспортна перевантаженість, дефіцит зелених зон та соціальна ізоляція — якість громадських просторів набуває особливого значення. Вони безпосередньо впливають на рівень комфорту, безпеки, доступності та ідентичності міста, а також розглядаються як важливі елементи екологічної інфраструктури, що покращують мікроклімат і створюють середовище для психологічного відпочинку. Таким чином, громадські простори є не просто функціональними елементами, а потужними інструментами сталого розвитку та соціальної взаємодії.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю систематизації знань про роль і місце громадських просторів у формуванні комфортного, безпечного та екологічно збалансованого міського середовища. В умовах глобалізації та прискорення темпів урбанізації їхня правильна класифікація, функціональне призначення та організація є критично важливими для комплексного планування, що орієнтоване на людину. Розуміння типології та принципів організації цих просторів дає змогу розв'язувати соціальні проблеми, стимулювати розвиток бізнесу та креативних індустрій, а також формувати позитивний імідж міста. Тема дослідження — «Класифікація громадських просторів у сучасному містобудівному середовищі» — охоплює громадські простори як складову, що визначає соціальну, культурну та екологічну якість урбанізованого середовища.

Мета дослідження полягає у вивченні сутності, типології та ролі громадських просторів у структурі сучасного міста, а також у визначенні їхнього впливу на формування комфортного, безпечного та екологічно збалансованого середовища. Для досягнення цієї мети у роботі буде розглянуто поняття та історичний розвиток громадських просторів, проаналізовано їх значення в контексті сучасної урбаністики та взаємозв’язок із якістю життя. Крім того, буде досліджена класифікація громадських просторів за функціональним призначенням, масштабом, типом

середовища та режимом використання, проаналізовано український і світовий досвід їхньої організації та виявлено основні тенденції розвитку — від принципів інклюзивності до використання smart-технологій та екологічно сталих рішень. Особливу увагу приділено аналізу практичних прикладів організації громадських просторів у містах України, що демонструють ефективні підходи до планування.

Результати досліджень

Громадський простір – місце, що знаходиться у власності територіальної громади або у вільному доступі, використовується з метою проведення комунікацій, дозвілля, рекреації, проведення масових заходів тощо кожним членом громади та не містить комерційної основи для використання [1].

Історія формування громадських просторів нерозривно пов'язана з еволюцією міст і суспільства, відображаючи його політичні, соціальні та культурні особливості. Від агори (символ демократії) у Стародавній Греції та форуму (осередок влади) у Римі, через сакральний зміст Середньовіччя та гармонійні площі Відродження, простір завжди був показником рівня розвитку цивілізації. У XIX столітті, з появою індустріалізації, виникають нові типи просторів — парки та бульвари (ідея «міста-саду»), тоді як у XX столітті функціоналізм модернізму та використання площ тоталітарними режимами змістили акценти. Сучасний етап розвитку, зумовлений ідеями нового урбанізму, повернув фокус на людину, спільноту та інклюзивність забезпечуючи створення відкритих, доступних і комфортних середовищ для активного суспільного життя [2].

У сучасному місті громадський простір є ключовою складовою урбаністичного середовища і виступає як соціальний простір, де реалізуються комунікаційні, культурні та громадянські функції. Сучасна урбаністика розглядає його як індикатор якості життя та демократичності суспільства, оскільки він створює відчуття спільноти, стимулює діалог, творчість і забезпечує «право на місто» для кожного мешканця. Основною вимогою до сучасних громадських просторів є інклюзивність і доступність для всіх груп населення, незалежно від їхнього статусу чи фізичних можливостей. Незважаючи на те, що в Україні їхнє формування довгий час гальмувалося застарілими підходами, останнім часом міста активно впроваджують сучасні урбаністичні практики, поєднуючи естетику, комфорт і суспільну активність у пішохідних зонах, набережних та культурних кластерах.

Якість життя у сучасному місті безпосередньо залежить від стану та функціональності громадських просторів, які є не лише архітектурними елементами, а й важливими соціальними структурами. Добре спроектовані простори створюють умови для відпочинку, культурного розвитку та комунікації, підвищуючи відчуття комфорту та безпеки, стимулюючи фізичну активність і знижуючи рівень стресу. У контексті сучасної урбаністики громадський простір виступає інструментом підвищення якості життя, показником соціальної стабільності та рівня демократії, забезпечуючи баланс між природним і штучним середовищем. Таким чином, розвиток громадських просторів, що орієнтований на потреби людини, є критично важливим для забезпечення соціальної згуртованості та сталого розвитку міста [3].

Міські простори досить різноманітні за своїми характеристиками і критеріями диференціації. Усі вони мають певні структуроформуючі елементи, специфічні прийоми архітектурно-просторової організації і відповідну соціальну приналежність.

З урахуванням соціальної приналежності виділяють такі типи міських

просторів :

– приватний – простір, що знаходиться під повним контролем мешканця, недоступний для фізичного і візуального проникнення сторонніх;

– напівприватний – простір, що знаходиться під контролем мешканця, але візуально або фізично доступне для стороннього проникнення.

– напівгромадське – простори, контрольовані різними групами мешканців, доступ до яких відкритий. Це можуть бути університетські сквери, малі сади біля громадських будівель та ін.

– громадські – простори, доступ до яких мають усі, звичайно це просторі площі та парки. Усі ці типи просторів займають певну площу від (0,5 до 15 га) і розподіляються на великі, середні й малі. За особливостями візуального зв'язку із середовищем вони можуть бути замкненими, напівзамкненими й відкритими.

За функціональним призначенням вони бувають багатофункціональні і поліфункціональні.

За стилем архітектурно-ландшафтної організації вони можуть бути регулярні, ландшафтні та

змішані.

За характером рельєфу – площинні, з незначним перепадом рельєфу і з високим перепадом рельєфу.

За характером психофізіологічної дії на людину – урочисті (парадні), інтимні (затишні), ділові (робітничі) простори. У реальному міському середовищі ці типи часто поєднуються, створюючи різноманітні комбінації вражень і функцій. Міські простори призначені для реалізації основних процесів життєдіяльності людини, тому їх класифікація базується на функціональному призначенні. Виділяють п’ять основних типів: громадські простори, комунікаційні, комунікаційно-локальні, малі рекреаційні території та дворові простори з житловою функцією [4].

Найбільш поширеним типом громадського простору є парки. Це самостійні архітектурно-організаційні комплекси площею не менше 2 га, які виконуються санітарно-гігієнічну функцію і призначені для короткотривалого відпочинку населення [5].

Система класифікації міських парків має ієрархічну структуру, що безпосередньо відображає їхнє соціально-економічне значення для громади і ґрунтується на трьох ключових критеріях. Перший, за розміром та радіусом обслуговування, поділяє зелені зони на: національні/регіональні парки (понад 500 га, екологічне ядро), міські/районні парки (10–500 га, центри дозвілля та соціалізації), мікрорайонні парки (1–10 га, щоденний відпочинок і формування місцевої спільноти) та сквери/бульвари (до 1 га, естетика та релаксація). Другий критерій, за функціональним наповненням, диференціює парки на культурно-історичні, спортивно-рекреаційні, природно-ландшафтні та тематичні/спеціалізовані, визначаючи їхній вплив відповідно на культурну ідентичність, фізичне здоров'я та екологічну стійкість. Третій критерій, за формою власності та управлінням (публічні, приватні з громадським доступом або закриті), визначає ступінь їхньої універсальної доступності та некомерційності. Поєднання цих критеріїв дозволяє провести комплексну оцінку взаємозв'язку між фізичним простором парку та його ключовою роллю у формуванні якісного та стійкого громадського середовища [6].

Міські парки є критично важливими осередками природи, що забезпечують екологічну рівновагу у переважно штучних міських системах, сприяючи їхній автономії та сталому розвитку. Їхня ключова роль полягає у підвищенні екологічної стійкості міського простору шляхом відтворення основних природних компонентів та регуляції мікроклімату. Парки виконують життєво важливі функції: очищення повітря та його циркуляцію через транспірацію, регуляцію ґрунтового стоку (що зменшує збитки від стихійних лих), а також нівелювання впливу забруднюючих домішок на здоров'я населення. Стратегічне розміщення озеленених територій у містобудівних планах, зокрема між промисловими та житловими зонами, дозволяє суттєво покращити якість простору та протидіяти ефекту міського «острову тепла». Для досягнення максимальної екологічної ефективності, організаційно-економічне забезпечення парків має бути сфокусоване на посиленні їхніх природних властивостей, зокрема через підбір рослинності з високими коефіцієнтами адсорбції та продукування кисню [7].

Міські парки — це не лише естетика та екологія, а й критично важливі архітектурно-організаційні комплекси для формування здорового, згуртованого та стійкого суспільства. Вони є демократичними публічними просторами, що сприяють соціальній взаємодії, інклюзивності, зміцненню місцевої ідентичності та міжгенераційному спілкуванню. Парки також виконують оздоровчу, психоемоційну та освітню функції, мотивуючи до фізичної активності. Ефективне планування та розвиток парків — ключове стратегічне завдання для забезпечення високої якості життя та сталого розвитку міст.

У таблиці 1 зображено порівняльний аналіз громадських просторів в містах України з урахуванням усіх критеріїв та сучасних тенденцій.

Критерій	Площа Ринок, Львів	ВДНГ (Експоцентр), Київ	Парк ім. Леонтовича, Вінниця
Тип простору/Розмір	Історичний центр/Площа (≈1,9 га)	Великий виставковий комплекс/Лісопарк (≈286 га)	Комплексний Міський Парк (≈40 га)
Історичний контекст	Закладена у XIV ст. (Магдебурзьке право)	Створений у середині XX ст. (парадна забудова)	Закладений у 1936 р. (на місці саду/спортивного

			поля)
Ключове планувальне рішення	Регулярне, прямокутне, з Ратушею в центрі	Чітка Осьова симетрія (Центральна Алея)	Осьова організація навколо Головної Алеї
Домінуюча сучасна функція	Культурно-туристичний магніт, соціально-комунікативне ядро	Багатоядерний, цілорічний рекреаційно-освітній центр	Культурно-Історичний та Спортивно-Рекреаційний
Ключова особливість	Пріоритет пішохідної зони (бруківка), Активна комерційна периметральна інфраструктура (кам'яниці)	Баланс між Парадною/Ансамблевою та Природно-ландшафтною зонами	Чітке Функціональне зонування (Культурна, Активна, Тиха)
Доступність/Інклюзивність	Пішохідний пріоритет, загальнодоступний	Безоплатний вхід, висока фізична та соціальна доступність	Безоплатний вхід, близькість до історичного центру та транспорту
Принцип життєздатності	Збереження архітектурної цілісності та адаптація до рекреації	Ревіталізація з монофункціонального до цілорічної багатофункціональності	Мультисезонність та баланс між різними видами відпочинку

Таб. 1 - Порівняльний аналіз громадських просторів в містах України.

Розглянуті приклади у таблиці 1 демонструють, що життєздатність громадських просторів залежить від їхньої багатофункціональності та гнучкості планування. Площа Ринок є взірцем успішної інтеграції історичної спадщини з пріоритетом пішохідної доступності, що зберігає її роль соціально-комунікативного ядра. ВДНГ та Парк у Вінниці ілюструють ефективну просторову реконфігурацію великих територій через чітке функціональне зонування для забезпечення цілорічної активності. Спільним для всіх кейсів є принцип соціальної інклюзивності та високої фізичної доступності, що є ключовим для формування демократичних міських просторів. Таким чином, ефективна організація вимагає балансу між збереженням ідентичності та динамічною адаптацією до потреб сучасної громади.

Головною тенденцією розвитку громадських просторів є перехід до людиноцентричної (гуманістичної) моделі, яка визначає пріоритет комфорту, безпеки та якості життя мешканців. Це досягається через створення просторів людського масштабу з акцентом на пішохідну доступність шляхом багатофункціональності та змішаного використання зон (житло, робота, послуги, рекреація). Критично важливою тенденцією є екологічна стійкість, що передбачає інтеграцію зеленої інфраструктури (парки, зелені дахи) для управління стоками та зниження ефекту «міського острова тепла». Вирішальним фактором розвитку є повна інклюзивність та доступність, що вимагає забезпечення безбар'єрності на трьох рівнях: фізичному (пандуси, тактильна навігація), інформаційному (чіткі покажчики) та функціональному для всіх груп населення, особливо маломобільних. Таким чином, сучасні громадські простори трансформуються у цілісні, гнучкі та соціально відповідальні системи [8].

Висновки

Громадські простори є ключовою складовою архітектурно-планувальної структури сучасного міста, виконуючи роль не лише функціональних елементів, але й потужних інструментів сталого розвитку та соціальної взаємодії. Їхня якість безпосередньо впливає на рівень комфорту, безпеки та ідентичності міського середовища. Дослідження підтвердило, що ефективне планування починається з комплексної класифікації за трьома основними критеріями: розміром та радіусом обслуговування (від Національних парків до Скверів), функціональним наповненням (культурно-історичні, спортивно-рекреаційні, природно-ландшафтні) та формою власності, що визначає ступінь їхньої доступності. Ця класифікація дозволяє ієрархічно інтегрувати їх у систему міських просторів та

адекватно оцінювати їхній соціально-екологічний вплив. Крім того, міські парки визнані критично важливими осередками екологічної стійкості, які регулюють мікроклімат, очищують повітря та підтримують біорізноманіття, а також мають незамінне соціально-культурне значення як демократичні майданчики для спілкування, згуртування спільноти та покращення психоемоційного здоров'я населення.

Головна тенденція розвитку громадських просторів — це перехід до гуманістичної моделі, яка надає пріоритет комфорту, безпеці та інклюзивності. Це реалізується через створення просторів людського масштабу з акцентом на пішохідну доступність та багатофункціональне використання зон у рамках концепції «15-хвилинного міста». Український досвід, представлений прикладами Площі Ринок, ВДНГ та Парку ім. Леонтовича, демонструє успішну стратегію балансування між збереженням історичної ідентичності (як у Львові) та динамічною ревіталізацією великих територій через чітке зонування для цілорічної активності (як у Києві та Вінниці). Вирішальним фактором розвитку є повна інклюзивність та безбар'єрність на фізичному, інформаційному та функціональному рівнях. Таким чином, ефективна організація громадських просторів вимагає системного підходу, що поєднує класифікаційну точність, екологічну відповідальність та соціальну орієнтованість, забезпечуючи високу якість життя в умовах урбанізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стаття 50. Громадський простір та залучення територіальної громади до його планування. Луцька міська рада. URL: https://www.lutskrada.gov.ua/pages/stattia-50-hromadskyi-prostir-ta-zaluchennia-terytorialnoi-hromady-do-ioho-planuvannia (дата звернення: 10.11.2025).
2. Формоутворення і роль громадських просторів в процесі еволюції міст – від античності до модернізму. Олена Олійник. Містобудування та територіальне планування. 2021. Вип. 77. С. Н. А. URL: http://mtp.knuba.edu.ua/article/view/238428 (дата звернення: 12.11.2025).
3. Шадура Я.В. Міський простір, урбаністика, архітектура: випускова робота. Вінниця: ДонНу, 2021. 15 с.
4. Крижановська Н.Я. Дизайн предметно-просторового середовища: конспект лекцій. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 37 с.
5. ДБН Б.2.2-5:2011 Планування та забудова міст, селищ і функціональних територій. Благоустрій територій.
6. Панкратенкова Д. А. Типологічна класифікація парків Черкаської області. Науковий вісник Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини. 2011. Вип. 41. С. 138–142. URL: https://library.udpu.edu.ua/library_files/stud_konferenzia/2011_2/visnuk_41.pdf (дата звернення: 14.11.2025)
7. Попова О. Ю. Організаційно-економічне забезпечення розвитку міських парків на засадах сталості // Економіка: реалії часу. Науковий журнал. 2023. № 4 (68). С. 101–108.
8. Що таке урбаністика: напрямки та вплив на міський розвиток. URL:https://domrie.com.ua/shcho-take-urbanistyka/ (дата звернення: 15.11.2025)

Удуденко Єлизавета Вікторівна — студент групи БМ-23б, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ududenkoliza29@gmail.com

Очеретний Володимир Петрович – к. т. н., доцент кафедри Будівництва міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ocheretny@vntu.edu.ua

Ududenko Yelyzaveta V. - student of BM-23b group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia,

Volodymyr Ocheretnyi – Ph.D., Associate Professor of the Department of Urban Construction and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ocheretny@vntu.edu.ua

УДК 711.25+69.059

Д. В. Швидкий[1]
В. В. Швець[1]
К. В. Соколенко[2]
В. М. Соколенко[2]

СЦЕНАРНЕ ПЛАНУВАННЯ В ЗАВДАННЯХ УПРАВЛІННЯ ВБВРБС

[1]Вінницький національний технічний університет
[2]Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Анотація

Розглянуто аспекти сценарного планування розвитку територій з частково невизначеними чинниками та умовами містобудівного стану на територіях, що зазнали масштабних руйнувань внаслідок війни. Встановлено, що відновлення зруйнованих міст та регіонів має відбуватися на засадах сталого розвитку та впровадженні інноваційних підходів.

Ключові слова: планування територій, відновлення територій, руйнівання, поводження з відходами, сталий розвиток міст.

Abstract

Aspects of scenario planning for the development of territories with partially uncertain factors and urban planning conditions in territories that have suffered large-scale destruction as a result of the war are considered. It is established that the restoration of destroyed cities and regions should take place on the basis of sustainable development and the implementation of innovative approaches.

Keywords: spatial planning, territorial restoration, destruction, waste management, sustainable urban development.

Вступ

Повоєнне відновлення в Україні має невизначені контури. Деталізувати завдання відбудови складно, одначе базові принципи, підходи та напрями піддаються науковому аналізу. Завдання містобудівного розвитку в звичайних умовах визначаються стратегією регіонального розвитку і знаходять відображення у містобудівній документації. На цьому етапі мова ведеться не про проектні рішення, а про плани містобудівного розвитку населених пунктів та адміністративно-територіальних громад. Необхідність сценарного планування визначається ситуацією з частково невизначеними чинниками та умовами містобудівного стану на територіях, що зазнали масштабних руйнувань внаслідок війни. Проте базові аспекти, що формують проблему, усталені, масштабні та довготермінові. Їхній базовий перелік наступний: триває війна, що кожного дня приносить нові руйнування; масштаб руйнувань має загальнодержавний рівень та стосується практично всіх сфер діяльності – об'єкти, житлова забудова, промислові підприємства, вузли та комплекси, інфраструктурні об'єкти, територіальні утворення та зони; відтермінування вирішення проблем загострює кризові явища. Тобто принцип – «час лікує» не спрацьовує; ресурсна обмеженість. Матеріально – технічна складова, кадровий потенціал, територіальний потенціал недостатній та обмежений; зовнішній чинник – країна агресор на кордоні завжди розглядатиметься як непередбачуваний суб'єкт негативного впливу.

Завдання відновлення. Світовий досвід, аналіз досліджень повоєнного відновлення країн, що виходили з воєнних конфліктів також дозволяє формулювати базові принципи, врахування яких є запорукою успішної відбудови. Системний аналіз досвіду повоєнного відновлення свідчить про потенційні можливості, успішна реалізація яких залежить від різних чинників: участь громад, міжнародна допомога та співпраця, мінімізація корупції, вибір адекватних стратегій розвитку з обґрунтованими цілями та задачами. [1]

Затримки у відновленні, погіршення соціально – економічної ситуації в регіонах відновлення з високою вірогідністю провокує відновлення конфлікту. Про це свідчить досвід вивчення збройних конфліктів у світі в період після IIWW.

Умовно, (негативний сценарний приклад) – повернення кордону в межах АТО/ООС призведе до повторного «звільнення» Бахмуту у випадку бездіяльності або відсутності прогресу у його відбудові. «Рятувати » прийдуть міфічних пенсіонерів що «голодують на розвалинах».

Сценарії відновлення котрі можна прогнозувати, умовно негативний, базовий та позитивний. Кожен з сценаріїв має деякі спільні обмеження та умови, притаманні для будь якого варіанту: безпека

та оборона; екологічне відновлення/збереження; незмінний масштаб (великі обсяги перетворень) у моделі час-масштаб; вже можна вважати за сформовану самостійну та актуалізовану проблему – наявність та забезпеченість водними ресурсами; усталена незмінна складова – просторово-планувальна та транспортна структура регіону відновлення; формування кордону зі сходу, знищення вектору східного розвитку, відповідно коригування напрямів транскордонного співробітництва, коригування зонінгу східних областей та лівобережжя України.

Метою дослідження є розробка моделі сценарного планування в завданнях містобудівного розвитку зруйнованих територій в умовах невизначених чинників загального стану. Розробка концепту проекту управління вторинними будівельними відходами від руйнації будівель та споруд деталізованого на регіональних локаціях.

Основна частина

Фактори успіху післявоєнної відбудови. Загальна думка успішної післявоєнної відбудови полягає в тому, що вона має бути добре скоординованою на всіх ієрархічних рівнях управління та передбачуваною (прозорою). Але перенести кальку з прикладу успішного повоєнного відновлення на думку дослідників неможливо, кожна ситуація по своєму унікальна.

Ефективне довгострокове планування післявоєнної відбудови повинно розглядатися як процес соціально - економічної реабілітації, в масштабах місцевого розвитку, а не як програма надання матеріальної допомоги. Старт розвитку місцевої економіки важливіший, ніж реалізація гуманітарної допомоги для місцевих громад. Доцільно визначати ієрархію потреб громади та спрямовувати основні зусилля на вирішення найважливіших проблем. Кожен проект має бути запланований та зважений відповідно до цих пріоритетів і синхронізований з відповідною фазою відновлення.

Досвід повоєнного відновлення також містить непоодинокі приклади впровадження неефективних заходів, що у підсумку давали негативні результати. Характерними ситуаціями є недостатня координація довільний порядок дій. Практики та інструментарій відновлення не застосовуються суворо у визначеному процедурному порядку. Кошти та допомога перенаправляються, допускається нецільове, довільне використання. Очікуваний негативний сценарій виглядає наступним чином. На фазі підготовки до відновлення гуманітарна допомога має загальний характер та поглинає першу хвилю громадського ентузіазму та солідарної допомоги. Реалізація проектів допомоги відбувається безсистемно, без визначеної стратегії або генерального плану. Інструмент субсидій не спрацьовує з бюрократичних причин.

На фазі реагування (друга фаза) погіршується позитивний зворотній зв'язок, оскільки позитивний резонанс у потерпілому середовищі непомітний. Відповідно зменшується гуманітарна допомога. Регіон відновлення частково полишається наодинці, спочатку з інформаційного поля зникають новини, потім виходять центральний уряд та гуманітарні організації. Поширюється соціальна апатія, населенні відчуває регіон покинутим та відключеним від програм допомоги та відновлення. Фаза відновлення, вона ж перспективного розвитку (довгострокова перспектива) реалізується за рахунок постраждалої частини населення, на засадах локальної підприємницької діяльності. Занепадає місцева економіка, погіршується соціально – політична ситуація у системі місцевого самоврядування, наростає соціальне напруження. Фаза розвитку може перетворитися на фазу кризи повторно, що у підсумку спроможне відкотити загальну ситуацію у затяжну депресію.

Ця схема передбачає, що ефективне довгострокове планування післявоєнного відновлення має бути спрямоване на процес соціальної реабілітації, що здійснюється в контексті місцевого розвитку, а не як програма надання матеріальної допомоги.

Випереджаючий розвиток місцевої економіки та відновлення зайнятості слід вважати важливішими, ніж матеріальна допомога після завершення війни. Програми та стратегії відновлення повинні визнавати ієрархію потреб регіону та громади і спрямовувати основний ресурс на вирішення найважливіших проблем. Кожен проект та ресурсне забезпечення повинні бути заплановані у відповідності до програми відновлення враховуючи конкретну фазу, етап відбудови. Концентрувати увагу доцільно у відновлення інфраструктури та створення нових робочих місць.

Таким чином всебічне дослідження, впровадження сценарного планування зберігає високу актуальність.

Модель розробки підходів та програм післявоєнного відновлення представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

Модель розробки підходів та програм післявоєнного відновлення

	Етапи розробки програм	Мета та завдання
Блок 1	Аналіз та розробка засад теоретичних підходів до післявоєнної відбудови: забезпечення соціального розвитку об'єктів відновлення	Визначення ключових обмежень, помилкових припущень. Виокремлення застарілих та неактуальних моделей. Розробка інноваційних пропозицій
Блок 2	Аналіз кращих практичних підходів до післявоєнної реконструкції: вимірювання впливу з точки зору людського фактору	Визначити компоненти ефективних стратегій реалізації, які можна перенести на проекти відновлення регіону
Блок 3	Досвід найкращих та найгірших моделей: аналіз реалізації та порівняння відновлення міст, що постраждали від війни та досвіду IIWW	Ретельне вивчення досвіду та результатів реальних проектів, визначення ключові можливостей та недоліки на етапах їх впровадження
Блок 4	Розробка ідеальної програми відновлення та реконструкції: фази, учасники, ресурси, результати	Розробка принципів, розробка концепту ідеальної програми відновлення, якщо її розглядати без обмежень
Блок 5	Формування програм-кандидатів для майбутньої реалізації: ідентифікація, розробка та співпраця. Визначення кола учасників та сторін.	Свот аналіз трьох варіантів програм відновлення та реконструкції, які можуть бути запропоновані дляреалізації. Виокремлення консенсусних рішень

Базовим принципом післявоєнної відбудови є забезпечення соціального розвитку регіону, зон охоплених руйнуванням, окремих міст та містечок. Метою є відновлення та підвищення якості життя, міського та житлового середовища на засадах сталого розвитку та підвищення соціальних стандартів. Стрибкоподібного покращення загального стану територій, що зазнали впливу бойових дій та руйнації очікувати не доводиться, особливо для випадків катастрофічного стану [2-4]. Можна виділити декілька проміжних етапів – стабілізація та відновлення управління територіальним утворенням; відновлення базових функцій життєзабезпечення; розгортання засобів, бази відновлення, концентрація зусиль на функціях максимально швидкої віддачі та соціально значущих; узгодження та впровадження містобудівних концепцій, регламентів та програм сталого розвитку. Прогнозно графік розвитку має відповідати наведеному на рис. 1

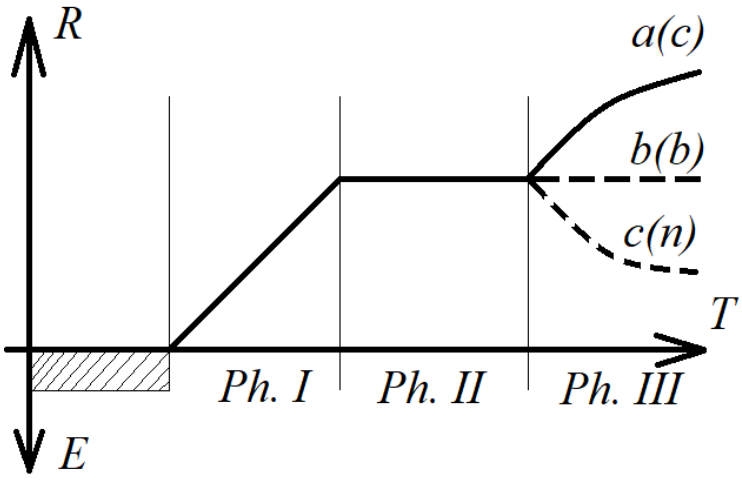


Рис.1. Реологічна модель процесу відновлення у період повоєнної відбудови регіону

Ключовими обмеженнями для регіону сходу, Луганська та Донецька області є обмеженість людського ресурсу, загальна техніко-екологічна деградація регіону, надмірне екологічне навантаження та нестача вільних, придатних та зручних територій, проблематика забезпечення водними ресурсами регіону, відсутність історичної харизми та усталеної культурної спадщини. Аналіз моделей відновлення свідчить, що тривалість процесу реконструктивного відновлення залежить від тривалості фази надзвичайної ситуації, в нашому випадку війни. Тривалість процесу відновлення (R) після війни є функцією тривалості власне надзвичайної ситуації, тобто війни (E),

$$t(R) = t(E)*k,$$

де k — це постійна величина, пов'язана з місцевими тенденціями до катастрофи, масштабами завданих збитків і ресурсами, доступними для відновлення.

Коефіцієнт k у правій частині залежності може бути розкладений на окремі складові, що враховують вагу та умови кожного чиннику. Місцеві тенденції до катастрофи $\mathbf{K_M}$ враховують стан містобудівного розвитку територій або міст. Для територій переважно сільськогосподарського використання він може бути меншим. Для урбанізованих, індустріальних міст що накопичили значні структурні перекоси, екологічні проблеми та депресивні явища, він має бути максимальним, оскільки військові руйнування тільки підсилюють масштаб катастрофи (кризові явища перетворюються на катастрофічні наслідки). Масштаб завданих збитків $\mathbf{K_v}$ також визначається рівнем урбанізації території, щільністю забудови, наявністю об'єктів інфраструктури регіонального рівня. Наприклад мостові споруди, енергетичні об'єкти та споруди, промислові об'єкти містоутворюючого значення. Ресурси доступні для відновлення $\mathbf{K_R}$ також є зведеною складовою, та враховують наявність ресурсу по базовому переліку: потенційне джерело фінансування, наявність людських ресурсів, потенціал природних сировинних ресурсів на території, територіально-просторова зручність територіального утворення у загальній системі зонінгу країни.

Отже, враховуючи те, що активна фаза війни триває четвертий рік, а початок гібридної агресії зафіксований з 2014 р., розраховувати на швидке відновлення немає підстав. Теза або припущення – ми все швидко відбудуємо - може розглядатися виключно як політичне гасло, віддалене від реалій. Тобто вже треба включати в умови планування тривалий процес відбудови, що міститиме декілька фаз (етапів) (Рис.1). Ph I. Ph II. Ph III. Перша фаза підготовка, друга та третя фази визначені як реагування та відновлення. І якщо відновлення (R) на першій фазі забезпечує швидке зростання соціально – економічного стану, фаза реагування, Ph II забезпечує підгрунтя та консолідацію ресурсної бази для відновлення, Ph III. Подальший розвиток може бути як випереджаючим, так стабільним, так і негативним. a, b, c, рис. 1.

Відновлення зруйнованих міст та регіонів має відбуватися на засадах сталого розвитку та впровадженні інноваційних підходів. Розвиток спирається на наявне ресурсне підґрунтя. Для більшої частини зони масштабних бойових дій ресурсна база втрачена, що становить суттєву проблему. В якості робочої гіпотези пропонується розглядати містобудівний потенціал, транспортну цінність територій.

Автори розділяють точку зору, що прикладів вдалих та подібних моделей відновлення, прийнятних для залучення в Україні не існує. Кожна війна, кожна конфліктна ситуація має свої відмінності. Для України це в першу чергу масштаб руйнувань, характер руйнувань, тривалість війни, тип територій, що руйнуються. Слід очікувати фази заморозки активних бойових дій, фази первинного відновлення, фази звільнення окупованих територій з відповідним включенням територіальногосподарський комплекс України та розбудовою. На перших етапах особливо актуальним буде завдання управління та поводження з ВБВРБС. Перша фаза знаменуватиме обережні поведінкові моделі відбудови. Без сталого політичного врегулювання та створення безпечного військового кордону та контролю, перспективний орієнтований на тривалі терміни виконання розвиток, на зруйновані території не прийде. Ключові завдання та ключові можливості на цьому етапі полягають у розчистці територій, утилізації та переробці ВБВРБС, формування заділу та ресурсної бази відновлення, підготовка ділянок та формалізації їх нового статусу для функціонального використання. Проблемою на першому етапі є частково невизначене цілепокладання напрямків утилізації ВБВРБС. Для утилізації та переробки ВБВРБС потрібна відповідна організаційна структура, що містить виробничу базу - техніку, транспорт, фахівців. Другим проблемним питанням є напрямки утилізації та переробки відходів та руйнувань, враховуючи той факт, що попиту на продукцію переробки не буде, його треба буде формувати.

Для Лисичансько-Сіверськодонецько–Рубіжанської агломерації розроблено концепт програми управління ВБВРБС у складі містобудівного swot-аналізу Л-С-Р агломерації, переліку проектів 1 фази розвитку. Розроблено приоритезацію проектів у загальному пулі їх реалізації. Запропоновано опис **Профілю проєкту** «Демонтаж та розбирання зруйнованих житлових та громадських будівель».

Вирішення питання поводження з вторинними будівельними відходами від руйнації будівель та споруд внаслідок бойових дій становитиме одне з перших завдань повоєнного відновлення. За будь якого варіанту полишати руїни без реагування неможливо. Таким чином розробка концепту проекту управління ВБВРБС деталізованого на конкретних регіональних локаціях є доцільною.

Модель поводження з відходами необхідно доповнити матрицею варіативних рішень, що конкретизує потенційні обсяги відходів, лінійні та площинні параметри ділянок, концепти та рекомендації відбудови. Сценарне планування у містобудівних завданнях відновлення територій масової руйнації дозволяє формувати адаптивні моделі. Виокремлюються обов'язкові, перспективні та доцільні задачі відбудови, що дозволяє пришвидшити процеси розвитку регіону. Сценарний підхід слугує основою для розробки ідеальних моделей відновлення в конкретних умовах.

Висновки

Встановлено, що відновлення зруйнованих міст та регіонів має відбуватися на засадах сталого розвитку та впровадженні інноваційних підходів. Розвиток спирається на наявне ресурсне підґрунтя. Для більшої частини зони масштабних бойових дій ресурсна база втрачена, що становить суттєву проблему. В якості робочої гіпотези пропонується розглядати містобудівний потенціал, транспортну цінність територій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Голоднов О. І., Швець В. В., Соколенко К. В. Чинники та передумови формування нових типологічних ознак регіону сходу України. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2023. Т. 35, No 2. С. 120–129. URL: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-120-129.

2. Д. В. Швидкий, В. В. Швець, К. В. Соколенко, і В. М. Соколенко, «ЗАВДАННЯ ТА ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ВТОРИННИМИ БУДІВЕЛЬНИМИ ВІДХОДАМИ ВІД РУЙНАЦІЇ МІСТ НА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ», *СучТехнБудів*, вип. 38, вип. 1, с. 121–128, Вер 2025.

3. Шуваєв А. Інструментарій залучення відходів будівництва та зносу до повторного господарського циклу в контексті їх класифікаційних ознак. Грааль науки. 2021. С. 600–605.

4. Про затвердження Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України : Постанова Каб. Міністрів України від 27.09.2022 No 1073 : станом на 29 серп. 2024 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-п#Text (дата звернення: 22.10.2024).

Швидкий Дмитро Васильович **–** аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. E-mail: Rulimpipl@gmail.com ORCID:0009-0006-8369-271X.

Швець Віталій Вікторович**–** к.т.н., доцент, завідувач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. E-mail: v.shvets@vntu.edu.ua. ORCID: 0000-0002-2748-3685.

Соколенко Костянтин Валерійович **–** PhD, старший викладач, кафедра будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, e-mail: sokolenko@snu.edu.ua ORCID:0000-0003-3334-7855

Соколенко Валерій Михайлович **–** к.т.н., доцент, кафедра будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, e-mail: sokolenko_1@snu.edu.ua ORCID:0000-0002-5073-2694

Shvydkyi Dmytro **–** PhD student at the Department of Civil Engineering, Urban Planning and Architecture, Vinnytsia National Technical University. E-mail: Rulimpipl@gmail.com ORCID:0009-0006-8369-271X.

Shvets Vitalii **–** PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University. E-mail: v.shvets@vntu.edu.ua. ORCID: 0000-0002-2748-3685.

Sokolenko Kostiantyn **–** PhD, Senior Lecturer, Department of Civil Engineering, Urbanism and Spatial Planning, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, e-mail: sokolenko@snu.edu.ua ORCID:0000-0003-3334-7855.

Sokolenko Valerii – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Urbanism and Spatial Planning, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, e-mail: sokolenko_1@snu.edu.ua ORCID:0000-0002-5073-2694.

УДК 004.9:711.4:351.862

Колесник А. В.
Швець В. В.

КОМПЛЕКСНЕ ТЕХНІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНЕ І ПРОЄКТНЕ БАЧЕННЯ ПЛАТФОРМИ DIGITALS, ЩО ДОЗВОЛЯЄ ОПТИМІЗУВАТИ СТВОРЕННЯ МІСТОБУДІВЕЛЬНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ПІД ЧАС ОСОБЛИВОГО ПРАВОВОГО РЕЖИМУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Представлено системне бачення створення та впровадження платформи Digitals як основи для цифровізації процесів розроблення містобудівельної документації в умовах особливого правового режиму. Розглянуто технічні, організаційні та проєктні аспекти інтеграції програмного комплексу Digitals у єдине інформаційне середовище містобудування, яке забезпечує безперервність планувальних процесів, надійність зберігання даних і можливість швидкого прийняття управлінських рішень у кризових обставинах.

Ключові слова: digitals, цифрові платформи, просторове планування, автоматизація процесів, управління містобудуванням, цифрова трансформація.

Abstract

A systemic vision of creating and implementing the Digitals platform as a basis for digitizing the processes of developing urban planning documentation in conditions of a special legal regime is presented. The technical, organizational, and project aspects of integrating the Digitals software complex into a unified information environment for urban planning were considered. This environment ensures the continuity of planning processes, reliable data storage, and the ability to quickly make management decisions in crisis situations.

Keywords: digital, digital platforms, spatial planning, automation of processes, urban development management, digital transformation.

Вступ

В умовах воєнного стану, надзвичайних ситуацій та інших форм особливого правового режиму постає необхідність швидкого оновлення, збереження та координації містобудівної інформації. Традиційні підходи до розроблення документації потребують значних часових і матеріальних ресурсів, що є критичним у періоди обмеженого доступу до територій, руйнування інфраструктури або втрати архівних даних [1].

Платформа Digitals — це сучасне геоінформаційне середовище, призначене для створення, редагування та інтеграції просторових даних, що використовується у сферах геодезії, землеустрою, кадастру й містобудування. Її адаптація до умов особливого правового режиму дозволяє забезпечити оперативне відновлення даних, спрощення процедур погодження та надійність цифрових архівів [2].

Основна частина

Воєнна агресія в Україні призвела до масштабних руйнувань інженерної та соціальної інфраструктури, зміни функціонального використання територій, масового переміщення населення та нагальної потреби у швидкому перегляді принципів просторового планування громад. Відсутність актуальних картографічних даних, обмежений доступ до об’єктів і слабка взаємодія між різними інформаційними системами суттєво ускладнюють діяльність фахівців з проєктування. У таких умовах зростає потреба у впровадженні цифрових платформ, що забезпечують віддалену роботу**,** інтеграцію даних із різних джерел та безперервність процесів містобудівного планування навіть під час кризових ситуацій [2].

Платформа Digitals, розроблена ТОВ **«**Аналітика» (м. Вінниця), надає широкі можливості для комплексного вирішення завдань, пов’язаних із просторовим моделюванням і створенням

містобудівної документації. На її основі можна високоточне обробляти тахеометричні зйомки, створювати та оновлювати топографічні карти і плани, накопичувати та аналізувати кадастрові бази даних, побудовувати цифрові моделі рельєфу з формуванням горизонталей, обчислювати площі та об'єми, переглядати тривимірні візуалізації територій, а також працювати з супутниковими знімками, ортофотопланами та сканованими картами. Окрім цього, Digitals забезпечує автоматизоване формування графічної та текстової документації, що значно спрощує процес підготовки містобудівних матеріалів і підвищує їхню точність [1, 3].

На відміну від більшості традиційних землевпорядних та геоінформаційних систем, платформа Digitals забезпечує повноцінну тривимірну візуалізацію картографічних даних. Будь-який створений план або карта можуть бути миттєво відображені у форматі 3D, що дозволяє детально оглядати об'єкти з різних ракурсів і перспектив. Така функціональність особливо важлива для контролю коректності висотних позначок та просторових взаємозв'язків елементів. За наявності цифрової моделі рельєфу територія відображається у вигляді реалістичної тривимірної поверхні. Крім того, у спеціальному вікні навігатора користувач може переглядати вибрані об'єкти у 3D-режимі, що полегшує аналіз і редагування складних просторових структур див. рис.1.

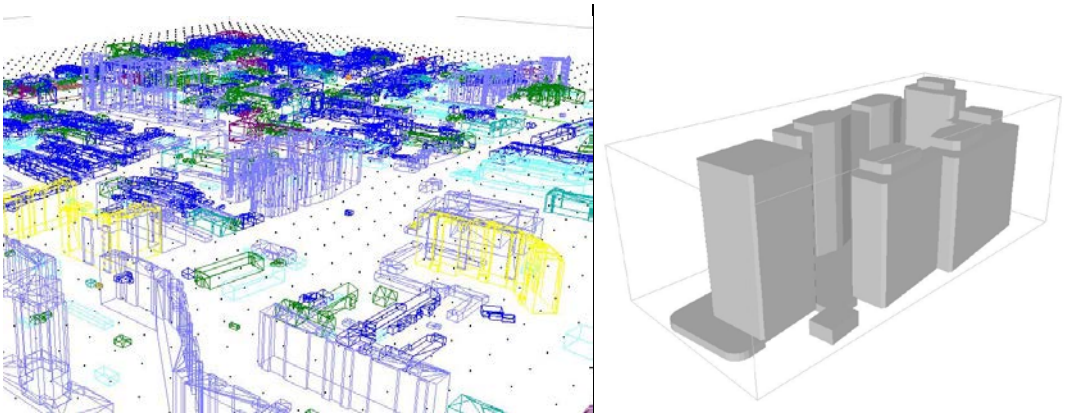


Рис.1. Цифрові моделі просторових структур в середовищі Digitals

Програмний комплекс Digitals забезпечує інтеграцію векторних карт із растровими матеріалами, зокрема результатами аерокосмічної зйомки, ортофотопланами, сканованими картами та схемами, приклади таких робіт приведені на рис.2. Система здатна опрацьовувати великі обсяги даних — одна карта може містити сотні тисяч об'єктів без втрати продуктивності. При цьому Digitals не потребує високопродуктивного обладнання і стабільно працює навіть на комп'ютерах середнього класу [4, 5].

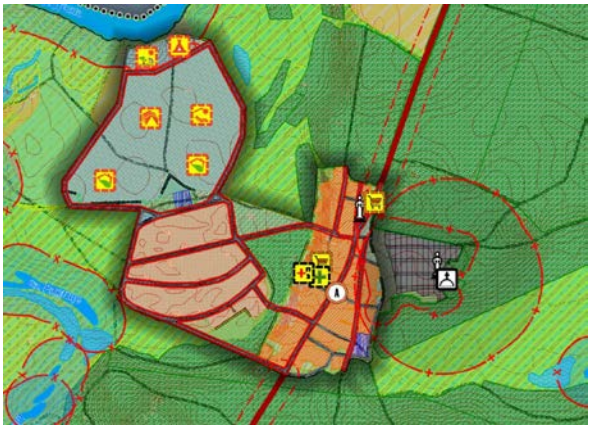


Рис.2. Приклад інтеграції векторних карт в середовищі Digitals

Платформа оснащена потужним векторним редактором, який має інтуїтивні інструменти для точного редагування об'єктів, введення кадастрової інформації через налаштовувані форми, створення текстових підписів, таблиць та вставок з офісних програм через механізм OLE.

Додатково реалізовано формули, функції, програмовані кнопки та скриптову мову, що дозволяють автоматизувати рутинні операції та налаштовувати робочі процеси під конкретні потреби користувача [3]. Вбудований контроль топології гарантує коректність просторових зв'язків — система автоматично виявляє й виправляє помилки вкладеності, перетину чи суміщення контурів, забезпечуючи високу якість просторових даних.

За наявності межі території у відомій системі координат користувач може автоматично завантажити растрову підкладку безпосередньо у робочу карту. Під час роботи растрові зображення динамічно трансформуються у потрібну картографічну проекцію, яку обрано для проєкту.

Платформа Digitals підтримує інтеграцію з публічною кадастровою картою, що дає змогу завантажувати ортофотоплани, межі земельних ділянок та виконувати пошук за кадастровими номерами див. рис.3. Завдяки цьому забезпечується точна просторово-координатна перевірка положення кадастрових обмінних файлів, меж територій та інших об'єктів, що підвищує якість і достовірність створюваної містобудівної документації [3].



Рис.3. Розробки на базі платформи Digitals для створення генерального плану міста (фрагмент робочого проєкту)

Одним із показових кейсів цифрової трансформації містобудівного планування є застосування платформи Digitals під час розроблення нового генерального плану населеного пункту, що зазнав часткової деокупації. Використання інтегрованих геоінформаційних інструментів дало можливість суттєво скоротити тривалість підготовчих робіт, підвищити оперативність ухвалення рішень та забезпечити прозорість процедур узгодження. Зокрема, завдяки функціональним можливостям системи [1]:

- упродовж двох тижнів була сформована оновлена схема функціонального зонування території;
- до складу проєктних рішень інтегровано дані щодо об'єктів критичної інфраструктури, місць дислокації тимчасових укриттів, потенційних евакуаційних маршрутів та інших елементів безпекової інфраструктури;
- реалізовано електронну взаємодію з обласним рівнем управління, що включало погодження проєктної документації та відстеження статусів розгляду у цифровому середовищі.

В умовах особливого правового режиму впровадження системи Digitals має на меті забезпечувати:

- оперативне оновлення просторової інформації про пошкодження інфраструктури, евакуаційні маршрути, зони руйнувань;
- захищений режим доступу до бази даних через сертифіковані протоколи зв'язку;
- локальні сервери автономної роботи, що дозволяють продовжувати підготовку документації без постійного підключення до глобальної мережі;
- цифрове підписання документів для юридичного підтвердження рішень, ухвалених у польових умовах;
- мобільні модулі збору даних, що інтегруються з основною системою після відновлення зв'язку.

Таким чином, Digitals виконує роль цифрового командного пункту для фахівців з планування територій, дозволяючи забезпечити безперервність роботи навіть у кризових обставинах. Разом з тим, упровадження подібних програмно-цифрових комплексів супроводжується низкою актуальних викликів. До них належать: обмежена доступність актуальних супутникових та високоточних геопросторових даних; нерівномірний рівень цифрової компетентності органів місцевого

самоврядування; необхідність системного оновлення нормативно-правової бази з урахуванням безпекових вимог та специфіки містобудівного планування в умовах воєнного стану. Зазначені фактори визначають потребу в подальшій стандартизації цифрових рішень, розвитку інституційної спроможності громад та вдосконаленні регуляторних механізмів для забезпечення сталості й ефективності процесів відновлення територій.

Висновок

Інтеграція платформи Digitals у сферу містобудування є стратегічно важливим кроком для забезпечення цифрової стійкості держави**.** У періоди дії особливого правового режиму така система стає не лише інструментом для створення документації, а й елементом національної безпеки, що гарантує доступність, точність і безперервність управління просторовими ресурсами.

Реалізація проєкту потребує поєднання технічних інновацій**,** нормативної підтримки **та** координації між усіма учасниками процесу — від місцевих рад до центральних органів виконавчої влади. У перспективі платформа Digitals може стати основою для формування єдиної цифрової екосистеми містобудування України, адаптованої до будь-яких надзвичайних обставин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Колесник А.В., Тетеря І.А. Ефективна реалізація платформи для розроблення містобудівельної документації на базі програмного забезпечення digitais в умовах воєнного стану. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження проблеми, перспективи (МН-2025)», Вінниця, 15-16 червня 2025р. Електр. Текст. дані 2025. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/25647
2. Ачкасов, А., Попович, Н., Пересадько, В., та Гордезіані, Т. (2024). Геоінформаційне забезпечення геопорталів територіальних громад: довоєнні реалії та повоєнні перспективи. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія Геологія. Географія. Екологія , (60), 124-136. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-09.
3. Федоров Д. Digitals. Використання в геодезії, картографії і землевлаштуванні (2015)./публікація ТОВ «Аналітика»/текст друкується в авторській редакції. С.354. Режим доступу: https://vinmap.net/book/digitals-book.pdf.
4. Стадніков, В., Колосюк, А., Константінова, О. і Ліхва, Н. 2023. Теоретичні засади використання програмного забезпечення DIGITALS для створення топографічних планів. SWorldJournal. 2, 21-02 (Вер 2023), 36–42. DOI: https://doi.org/10.30888/2663-5712.2023-21-02-004.
5. Карпінський Ю.О., Лященко А.А., Лазорненко Н.Ю., Кінь Д.Ю. Особливості роботи з геопросторовими даними громад для сталого розвитку їх територій. III International Scientific and Practical Conference LAND & PROPERTY DEVELOPMENT: INNOVATIONS AND TRANSFORMATIONS. May 23-24, 2024 Kyiv National University of Construction and Architecture Kyiv Ukraine 2024. DOI: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/conference-proceedings-2024.pdf#page=39.

Андрій Вікторович Колесник – асистент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, ORCID 0009-0000-8001-2527, м. Вінниця, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Швець Віталій Вікторович – к.т.н., доцент, завідувач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua. ORCID:0000-0002-2748-3685.

Kolesnik Andrii V. - assistant professor in the departments of construction, municipal infrastructure and architecture, and a full-time lecturer at the Vinnytsia National Technical University, ORCID 0009-0000-8001-2527, Vinnytsia, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Shvets Vitaliy V. – Ph.D., associate professor of urban planning and architecture, Vinnytsia National Technical University. E-mail: v.shvets@vntu.edu.ua. ORCID: 0000-0002-2748-3685.

УДК 711.5: 69.059

К. В. Соколенко[1]
К. В. Гігінеішвілі [2]
В. М. Соколенко[1]
. В. Швець[2]

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРУ ТА МАСШТАБУ ВІЙСЬКОВИХ РУЙНУВАНЬ НА СТАН ГОЛОВНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗОН МІСТ СХОДУ УКРАЇНИ

[1]Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
[2]Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено аналіз впливу масштабу та характеру руйнувань на стан головних функціональних зон міст сходу України. Запропоновано модель розробки плану функціонального використання території зруйнованих міст на засадах відновлення.

Ключові слова: планування територій, відновлення територій, руйнівання, поводження з відходами, сталий розвиток міст.

Abstract

An analysis of the impact of the scale and nature of destruction on the state of the main functional zones of cities in eastern Ukraine was conducted. A model for developing a plan for the functional use of the territory of destroyed cities on the basis of restoration was proposed.

Keywords: spatial planning, territorial restoration, destruction, waste management, sustainable urban development.

Вступ

Концепція містобудівного розвитку радянського періоду була значною мірою підпорядкована завданням планової економіки. Першочерговою метою був розвиток промисловості. Державні промислові підприємства розвивались екстенсивно – за рахунок нарощування потужностей та територій. Директивна економіка дозволяла вирішувати територіальні питання у адміністративному порядку. Інфраструктура міст підпорядковувалась під завдання промислового розвитку та отримувала підлеглий, підпорядкований стан, другорядного значення. Генеральні плани населених пунктів формувались на подібній концепції,, що призводило до виникнення проблем та протиріч містобудівного сталого розвитку. Послідовність проектування оновлення чи розробки генерального плану у традиційній постановці наведена на рис.1. Така схема є працюючою для випадку планомірного розвитку за умов, що контрольні показники містобудівної бази прогнозовані та спираються на програми фінансування розвитку містобудівних об’єктів з визначеним фінансуванням.

Основна частина

Для міст, що зазнали руйнувань залежно від масштабу деградації міського середовища, виникає ситуація зі зміною функції та форми – місто втрачає можливостей забезпечити свої основні функції на певному етапі. Відновлення міста визначає – чи спроможне воно поновити своє функціональне значення та відродити зруйнований потенціал. Фактично зберігається територіальна планувальна організація населеного пункту. В умовах скорочення містобудівного потенціалу – промисловість, демографія, сфера послуг, у якості вірогідного варіанту може бути повне чи неповне відновлення містобудівного потенціалу, включно з відповідним повним чи неповним відновленням чисельності населення у порівнянні з довоєнним періодом. [1-3]

Модель розробки плану функціонального використання території зруйнованих міст на засадах відновлення запропонована на рисунку 1.

Людський фактор виступає як основа повоєнного відновлення урбанізованих територій. Базовим принципом повоєнного відновлення урбанізованих територій залишається орієнтація на потреби населення. Містобудівне проектування в умовах відбудови повинне базуватися насамперед на демографічних показниках, зокрема — на фактичній чисельності населення та прогнозах її змін.

Актуальна демографічна ситуація має бути ключовим критерієм при прийнятті рішень щодо доцільності повної або часткової відбудови об’єктів інфраструктури. Частина довоєнної забудови, особливо масштабні об’єкти, можуть виявитися надлишковими в умовах зменшеного попиту та втрати функціонального навантаження.

Між масштабом відновлення міста та активною, дієздатною частиною його населення формується пряма залежність: наявність споживачів перетворень — одна з основних умов доцільності самої відбудови. Водночас, сам процес відновлення міської інфраструктури, повернення основних функцій міста — житлової, економічної, соціальної — стимулює повернення людей та стабілізацію демографічної ситуації.

Таким чином, людський фактор і демографічна динаміка є визначальними для перспектив відновлення міста. Населення в цій моделі набуває суб’єктності: люди стають не лише споживачами, але й активними учасниками

процесу перетворень. Їхня присутність, мотивація і залученість впливають на формування просторових рішень, визначають варіанти містобудівного розвитку та сценарії подальшого функціонування території.

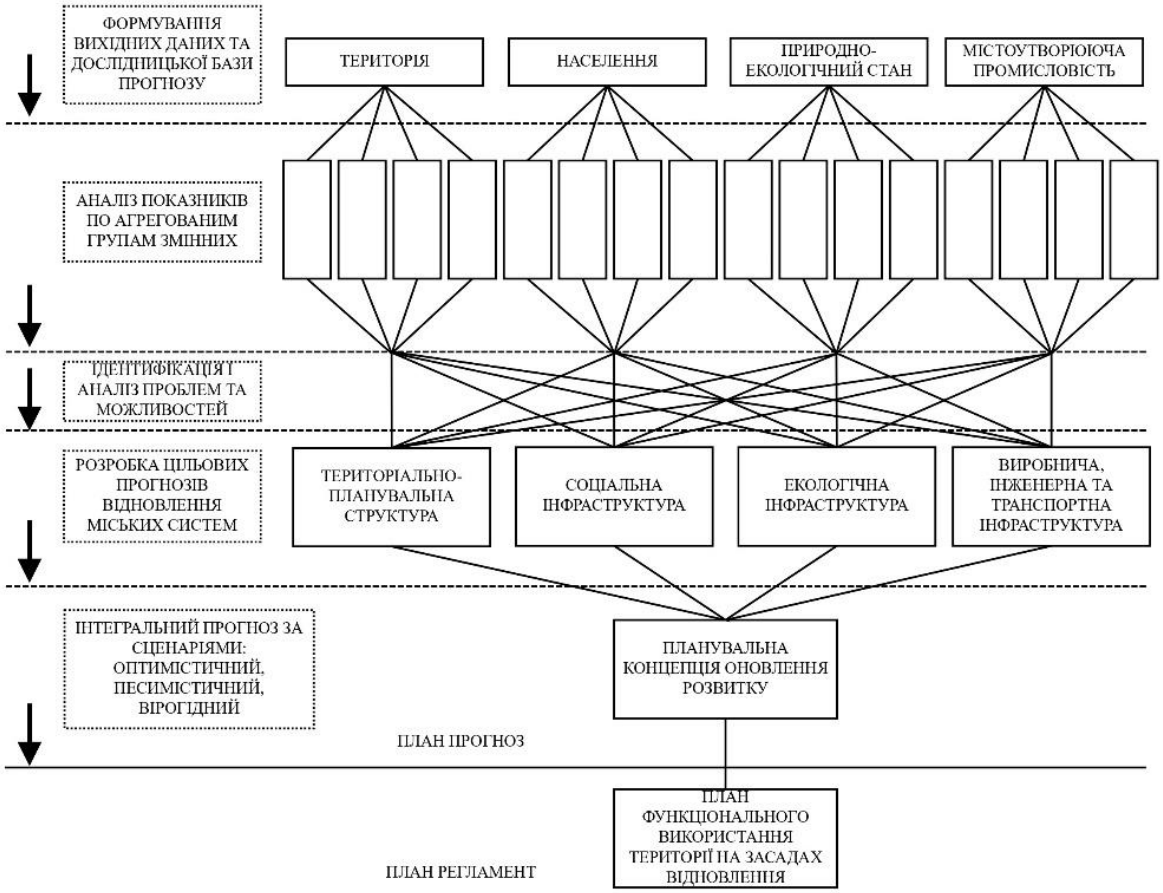


Рис.1. Модель розробки плану функціонального використання території зруйнованих міст

Проєкт Закону України «Про засади відновлення України» не містить чітких визначень або варіантів рішень щодо подальшої долі зруйнованих населених пунктів. Зокрема, в документі не передбачено можливість повної або часткової відбудови, ліквідації поселення з подальшою рекультивацією території чи перенесення населеного пункту. Також відсутні чіткі критерії, що дозволяли б класифікувати ступінь руйнації, а відповідно — й методи та принципи їх оцінювання, які є необхідними для ухвалення зважених та обґрунтованих рішень про подальший статус території.

У проєкті зазначено лише, що відновлення може здійснюватися у двох формах:

- пооб'єктне відновлення — шляхом реалізації окремих проєктів;
- комплексне відновлення — через впровадження сукупності взаємопов'язаних проєктів.

Таким чином, можна стверджувати, що законодавча база у сфері повоєнного відновлення вже частково сформована, однак її розвиток, деталізація та узгодження залишаються актуальним і відкритим процесом.

Висновки

Людський фактор і демографічна динаміка є визначальними для перспектив відновлення міста.

Законодавча база у сфері повоєнного відновлення вже частково сформована, однак її розвиток, деталізація та узгодження залишаються актуальним і відкритим процесом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про затвердження Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України : Постанова Каб. Міністрів України від 27.09.2022 No 1073 : станом на 29 серп. 2024 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-п#Text (дата звернення: 22.10.2024).

2. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на початок 2024 року. Київ : KSE Institute, 2024. 39 с. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf. (дата звернення: 16.10.2024).

3. Шуваєв А. Інструментарій залучення відходів будівництва та зносу до повторного господарського циклу в контексті їх класифікаційних ознак. Грааль науки. 2021. С. 600–605.

Соколенко Костянтин Валерійович **–** PhD, старший викладач, кафедра будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, e-mail: sokolenko@snu.edu.ua ORCID:0000-0003-3334-7855

Гігінеішвілі Карло Володимирович **–** аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. E-mail: kshvili@gmail.com ORCID:0009-0003-0464-5308.

Соколенко Валерій Михайлович **–** к.т.н., доцент, кафедра будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, e-mail: sokolenko_1@snu.edu.ua ORCID:0000-0002-5073-2694

Швець Віталій Вікторович**–** к.т.н., доцент, завідувач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. E-mail: v.shvets@vntu.edu.ua. ORCID: 0000-0002-2748-3685.

Sokolenko Kostiantyn **–** PhD, Senior Lecturer, Department of Civil Engineering, Urbanism and Spatial Planning, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, e-mail: sokolenko@snu.edu.ua ORCID:0000-0003-3334-7855.

Gigineishvili Karlo **–** PhD student at the Department of Civil Engineering, Urban Planning and Architecture, Vinnytsia National Technical University. E-mail: kshvili@gmail.com ORCID:0009-0003-0464-5308.

Sokolenko Valerii – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Urbanism and Spatial Planning, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, e-mail: sokolenko_1@snu.edu.ua ORCID:0000-0002-5073-2694.

Shvets Vitalii **–** PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University. E-mail: v.shvets@vntu.edu.ua. ORCID: 0000-0002-2748-3685.

Д. В. Швидкий[1]
В. В. Швець[1]
К. В. Соколенко[2]
В. М. Соколенко[2]

МІСТОБУДІВНИЙ АНАЛІЗ ЗАВДАНЬ ТА ПРИНЦИПІВ УПРАВЛІННЯ ВТОРИННИМИ БУДІВЕЛЬНИМИ ВІДХОДАМИ ВІД РУЙНАЦІЇ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД НА ТЕРИТОРІЯХ СУЦІЛЬНОГО РУЙНУВАННЯ

[1]Вінницький національний технічний університет
[2]Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Анотація

Показано роль управління ВБВРБС як одного із ключових завдань містобудівного планування та системи відновлення територій. Розглянуто принципи управління вторинними будівельними відходами від руйнації будівель та споруд (ВБВРБС) у системі містобудівного планування. Розроблена схема інфраструктурних зв'язків для управління переробкою ВБВРБС, яка інтегрується у містобудівну структуру як частина екологічної інфраструктури.

Ключові слова: планування територій, відновлення територій, руйнівання, поводження з відходами, сталий розвиток міст.

Abstract

The role of VBVRBS management as one of the key tasks of urban planning and the system of territorial restoration is shown. The principles of management of secondary construction waste from the destruction of buildings and structures (SCWDBS) in the urban planning system are considered. A scheme of infrastructure connections for the management of SCWDBS processing, which is integrated into the urban planning structure as part of the ecological infrastructure, is developed.

Keywords: spatial planning, territorial restoration, destruction, waste management, sustainable urban development.

Повномасштабна війна в Україні призвела до небачених масштабів руйнувань у містах і селищах, зокрема житлових кварталів, промислових об'єктів, інженерної та транспортної інфраструктури. Унаслідок цього утворилися мільйони тонн вторинних будівельних відходів від руйнації будівель та споруд (ВБВРБС) — конструкцій та фрагментів бетону, цегли, металевих конструкцій, скла, асфальту, деревини тощо. Території суцільного руйнування після масованих бойових дій характеризуються втратою повноти просторової структури міста, руйнуванням інженерної та соціальної інфраструктури, деградацією ґрунтових і транспортних систем. Відновлення таких територій вимагає комплексного містобудівного підходу, який поєднує технічні, соціальні, економічні та екологічні аспекти. [1-3]

З огляду на величезні обсяги цих матеріалів, управління ВБВРБС стає одним із ключових завдань містобудівного планування та системи відновлення територій. Його ефективна організація не лише зменшує екологічне навантаження, а й створює базу для формування циркулярної економіки у будівельній галузі. Містобудівний аналіз завдань і принципів управління процесом утилізації ВБВРБС є базовим інструментом для формування стратегій реконструкції та відповідної інституційної організації.

Предмет аналізу виступають просторово-функціональні, конструктивно-технічні та соціально-економічні умови і обмеження на територіях суцільного руйнування, що визначають пріоритети, методи і інструменти відновлення.

Основні цілі аналізу полягають у наступному:

1. Визначити пріоритетні території та об'єкти для першочергового відновлення.
2. Розробити просторові сценарії відтворення міської структури (від консервації до повної реконструкції).
3. Сформувати методику просторового планування, інфраструктурного відновлення та управління відходами руйнації.

4. Розробити принципи інтегрованого управління інституціями, ресурсами та ризиками у процесі утилізації ВБВРБС.

Ключові завдання управління ВБВРБС на територіях суцільного руйнування в контексті формування стратегій реконструкції та відновлення передбачають;

Інвентаризацію та картографування пошкоджень — Створення цифрового кадастру руйнувань (GIS), визначення ступеня пошкоджень будівель і мереж, маркування зон ризику.

Оцінку життєздатності просторових структур — Ідентифікація стратегічно важливих осей, центрів послуг, транспортних коридорів, логістичних вузлів.

Пріоритезацію відновлювальних заходів — Визначення черговості та пріоритетів щодо завдань та об'єктів відновлення - життєзабезпечення (енергія, вода, санітарія), житло тимчасове, адміністративні заклади, медичні, освітні об'єкти, дороги, ринки.

Планування тимчасового та постійного розселення — Розвиток тимчасових укриттів/модульних житлових рішень та планування довгострокових рішень для житла.

Відновлення інженерної інфраструктури — Розподіл ресурсів на реставрацію електро-водо- газо- тепломереж, стічних і дощових систем, енергетичні автономні рішення.

Управління матеріально-технічними потоками та відходами — Організація сортування, токсикологічного аналізу, перероблення і безпечного захоронення будівельних відходів.

Соціально-економічну реабілітацію — Відновлення ринку праці, підтримка малого бізнесу, інституційна реінтеграція громади.

Юридичне та фінансове регулювання — Оформлення прав власності, компенсацій, механізмів фінансування (державні фонди, донори, приватні інвестиції).

Моніторинг і контроль якості робіт — Впровадження систем моніторингу технічного стану, фінансової прозорості і звітності.

Основні завдання управління ВБВРБС можна систематизувати за базовими напрямами.

Аналітично-дослідницький напрям - інвентаризація обсягів і морфологічного складу відходів, оцінка фізико-хімічних властивостей матеріалів, створення бази даних (цифрового кадастру) ВБВРБС.

Техніко-технологічний напрям - розроблення технологій демонтажу, сортування, дроблення, переробки відходів, визначення можливостей їх повторного використання у дорожньому, ландшафтному чи житловому будівництві на місцевому рівні, організація майданчиків мобільних установок для переробки безпосередньо на місцях руйнувань.

Екологічно-безпечний напрям - мінімізація забруднення повітря, ґрунтів і води, контроль за вмістом небезпечних речовин (азбест, важкі метали, ПХД), рекультивація земель після очищення від відходів.

Економіко-управлінський напрям - створення економічних стимулів для рециклінгу матеріалів, залучення приватного бізнесу через державно-приватне партнерство, формування нормативно-правової бази для вторинного використання ресурсів.

Містобудівні передумови формування системи управління ВБВРБС.

Руйнування, спричинені бойовими діями, характеризуються нерівномірністю та структурною складністю. На територіях суцільного руйнування об'єкти будівництва часто втрачають несучі конструкції, утворюючи хаотичні масиви уламків, що займають десятки гектарів. Такі зони потребують містобудівної інвентаризації з визначенням меж пошкоджених кварталів, обсягів і складу ВБВРБС, потенціалу вторинного використання матеріалів, ступеня забруднення навколишнього середовища.

Управління ВБВРБС є не лише технічним, а й стратегічним завданням містобудівного розвитку. Управління ВБВРБС стає складовою комплексної системи сталого відновлення урбанізованих територій. Окремо вважаємо за необхідне відзначити, що фаза відновлення має обов'язково включати початок робіт з утилізації ВБВРБС. Воно має забезпечити ефективну організацію збору, сортування та транспортування відходів, екологічно безпечну утилізацію або переробку матеріалів, створення логістичних центрів

для повторного використання ресурсів, інтеграцію процесу поводження з ВБВРБС у планувальні рішення щодо відновлення територій.

Принципи управління ВБВРБС у системі містобудівного планування дозволяють визначати пріоритети та розробляти базові моделі відновлення. Комплексність та інтеграція. Управління ВБВРБС повинно бути інтегрованим елементом просторового розвитку, взаємопов'язаним із реконструкцією, транспортною логістикою та екологічним плануванням. Територіальна диференціація. Для різних типів зруйнованих районів — житлових, промислових, історичних — застосовуються функціональний аналіз до поводження з відходами, що враховують щільність забудови, тип конструкцій і функціональне призначення території. Циркулярність і повторне використання. Основний принцип — мінімізація відходів і максимальне повернення матеріалів у цикл виробництва. Вторинний бетон, цегла, метал і дерево можуть бути використані у дорожньому покритті, формуванні насипів, створенні тимчасових споруд. [4]

Екологічна відповідальність. Система управління має гарантувати захист довкілля та здоров'я населення. Це передбачає екологічну сертифікацію технологій, контроль викидів і розроблення планів санації територій. Забезпечення безпеки та екологічної стійкості, коли оцінка ризиків (нерозірвані боєприпаси, токсичні речовини) і мінімізація екологічних ризиків мають бути інтегровані у проєктні рішення. Пріоритетність життєво важливих функцій. Першочерговими є заходи, що забезпечують безпеку та життєздатність населення: вода, енергія, охорона здоров'я, доступ до харчування, тимчасове житло та санітарні послуги. Локалізація та підтримка місцевого потенціалу. Максимальне використання місцевих ресурсів, робочої сили і технологій, щоб зменшити залежність від зовнішніх постачань, посилити економічну віднову та забезпечити соціальну згуртованість. Гнучкість та адаптивність. Планування повинно передбачати сценарії (швидке, середнє, повільне відновлення), адаптовані під різні масштаби руйнувань і варіанти доступних ресурсів. Прозорість і публічна участь. Громадськість має бути залучена до процесу планування та контролю за поводженням із ВБВРБС. Рішення формуються з урахуванням думки місцевих жителів: громадські слухання, консультації з вразливими групами, участь у прийнятті пріоритетів.

Це підвищує довіру, знижує соціальні ризики та стимулює відповідальне ставлення до ресурсів. Всі етапи — від планування до реалізації — мають супроводжуватися відкритою інформацією для громадськості, контролем за використанням коштів і механізмами зворотного зв'язку.

Містобудівна організація системи управління ВБВРБС передбачає формування просторової структури. Для ефективного управління формуються регіональні та локальні центри переробки ВБВРБС, які виконують функції прийому та сортування матеріалів, переробки та зберігання фракцій, логістичного забезпечення будівельних процесів.

Розробляється схема інфраструктурних зв'язків. Управління переробкою ВБВРБС має інтегруватися у містобудівну структуру як частина екологічної інфраструктури. Транспортні маршрути для перевезення відходів плануються з урахуванням мінімізації шуму, пилу та впливу на житлові райони.

Важливим компонентом формування супроводу, залучення громадськості та організації зворотного зв'язку є інформаційно-аналітична підтримка. Використання цифрових ГІС-платформ, BIM-технологій і супутникового моніторингу дозволяє відстежувати переміщення, обсяг і стан відходів, планувати маршрути та контролювати ефективність переробки. ГІС-кадастр руйнувань. Створення багаторівневого просторового шару з інформацією про ступінь пошкоджень, функціональне призначення об'єктів, інфраструктуру, ризики та демографічні дані. Сценарне просторове моделювання. Моделювання варіантів відновлення (консервація, часткова реконструкція, повне відновлення, перепланування) з аналізом їхніх соціально-економічних та екологічних наслідків. Просторове зонування. Визначення зон критичного відновлення (комунальні

об’єкти/енергетичні вузли), житлових пріоритетів, промислових/логістичних зон, зон утилізації й акумуляції відходів.

Технологічні та ресурсні підходи враховують фази, ресурси та інструментарій відбудови. Фазове виконання робіт у базовому варіанті передбачає етап «розмінування та забезпечення безпеки», надзвичайно-оперативний етап — відновлення критичних мереж, середньострокові інженерні роботи — реставрація інфраструктури, розчистка, довгострокова реконструкція або функціональне перепланування міського простору.

Управління матеріальними потоками та рециклінг передбачає сортування безпосередньо на джерелі, класифікація матеріалів за безпекою та придатністю, створення центрів переробки вторсировини (бетон, метал, скло, цегла).

Соціальні та економічні інструменти відновлення. Стимулювання локальної зайнятості — програми працевлаштування постраждалих, пріоритетні контракти для місцевих підрядних організацій. Фінансові механізми. — Мікрофінансування, субсидії на відновлення, державні гарантії для кредитування відновлювальних проєктів, комбіноване фінансування (державне + донорське + приватне). Соціальна підтримка. — Тимчасові послуги охорони здоров’я, психологічної реабілітації, підтримка вразливих груп.

Висновки

Містобудівний аналіз засвідчує, що управління вторинними будівельними відходами від руйнації є невід’ємною складовою процесу відновлення територій суцільного руйнування. Успішне управління ВБВРБС на територіях суцільного руйнування вимагає поєднання просторового планування, інженерних рішень, соціально-економічних заходів та чіткого інституційного регулювання.

Для забезпечення його ефективності необхідно:

1. Створити єдину державну систему обліку та моніторингу ВБВРБС. Необхідно запровадити системний GIS-кадастр руйнувань і прозору процедуру пріоритезації об’єктів;
2. Впровадити економічні стимули для підприємств з переробки відходів;
3. Інтегрувати управління ВБВРБС у містобудівні програми відновлення та просторового розвитку. Максимальна локалізація ресурсів і працевлаштування сприяють економічній стабілізації і соціальній згуртованості;
4. Забезпечити екологічну безпеку та участь громади у процесах прийняття рішень.
5. Важливо забезпечити прозорість, інклюзивність і безпеку процесу, інтегруючи думку громади та засоби контролю.
6. Рециклінг і управління відходами мають стати центральними компонентами відбудови, щоб мінімізувати екологічні та фінансові витрати.

Відповідальне та інноваційне управління ВБВРБС може перетворити проблему руйнації на ресурс розвитку, заклавши основу для екологічно сталих і стійких міст майбутнього.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Д. В. Швидкий, В. В. Швець, К. В. Соколенко, і В. М. Соколенко, «ЗАВДАННЯ ТА ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ВТОРИННИМИ БУДІВЕЛЬНИМИ ВІДХОДАМИ ВІД РУЙНАЦІЇ МІСТ НА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ», *СучТехнБудів*, вип. 38, вип. 1, с. 121–128, Вер 2025.

2. Голоднов О. І., Швець В. В., Соколенко К. В. Чинники та передумови формування нових типологічних ознак регіону сходу України. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2023. Т. 35, No 2. С. 120–129. URL: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-120-129.

3. Про затвердження Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України : Постанова Каб. Міністрів України від 27.09.2022 No 1073 : станом на 29 серп. 2024 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-п#Text (дата звернення:

22.10.2024).
4. Шуваєв А. Інструментарій залучення відходів будівництва та зносу до повторного господарського циклу в контексті їх класифікаційних ознак. Грааль науки. 2021. С. 600–605.

Швидкий Дмитро Васильович **–** аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. E-mail: Rulimpipl@gmail.com ORCID:0009-0006-8369-271X.

Швець Віталій Вікторович**–** к.т.н., доцент, завідувач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. E-mail: v.shvets@vntu.edu.ua. ORCID: 0000-0002-2748-3685.

Соколенко Костянтин Валерійович **–** PhD, старший викладач, кафедра будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, e-mail: sokolenko@snu.edu.ua ORCID:0000-0003-3334-7855

Соколенко Валерій Михайлович **–** к.т.н., доцент, кафедра будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, e-mail: sokolenko_1@snu.edu.ua ORCID:0000-0002-5073-2694

Shvydkyi Dmytro **–** PhD student at the Department of Civil Engineering, Urban Planning and Architecture, Vinnytsia National Technical University. E-mail: Rulimpipl@gmail.com ORCID:0009-0006-8369-271X.

Shvets Vitalii **–** PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University. E-mail: v.shvets@vntu.edu.ua. ORCID: 0000-0002-2748-3685.

Sokolenko Kostiantyn **–** PhD, Senior Lecturer, Department of Civil Engineering, Urbanism and Spatial Planning, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, e-mail: sokolenko@snu.edu.ua ORCID:0000-0003-3334-7855.

Sokolenko Valerii – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Urbanism and Spatial Planning, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, e-mail: sokolenko_1@snu.edu.ua ORCID:0000-0002-5073-2694.

УДК 628.9:620.9

ЛЮБИЧ В.В.

ЕНЕРГООЩАДНЕ ВУЛИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

Вінницький національний технічний університсет

Анотація

У роботі розглянуто сучасні підходи до підвищення енергоефективності систем вуличного освітлення населених пунктів. Проаналізовано технічні, організаційні та економічні аспекти переходу до світлодіодних (LED) технологій, впровадження систем автоматизованого керування освітленням та використання відновлюваних джерел енергії. Обґрунтовано доцільність комплексної модернізації мереж освітлення з метою зниження енергоспоживання та експлуатаційних витрат.

Ключові слова: *енергоефективність, вуличне освітлення, LED-технології, енергозбереження, автоматизоване керування, відновлювана енергія.*

Abstract

The paper examines modern approaches to improving the energy efficiency of street lighting systems in settlements. Technical, organizational, and economic aspects of transitioning to LED technologies, implementing automated lighting control systems, and using renewable energy sources are analyzed. The feasibility of comprehensive modernization of lighting networks aimed at reducing energy consumption and operational costs is substantiated.

Keywords: *energy efficiency, street lighting, LED technologies, energy saving, automated control, renewable energy.*

Вступ

Проблема енергоощадного освітлення вулично-дорожньої мережі є однією з ключових складових сталого розвитку населених пунктів України. Сектор освітлення споживає до 25–30 % електроенергії комунального господарства, тому його модернізація має значний потенціал економії енергоресурсів [1; 2]. Перехід до енергоефективних технологій дозволяє не лише зменшити витрати місцевих бюджетів, але й підвищити рівень безпеки, комфорту та екологічності міського середовища [3].

Метою дослідження є аналіз сучасного стану систем вуличного освітлення в Україні та обґрунтування напрямів підвищення їх енергоефективності на основі сучасних технологічних рішень. Для досягнення поставленої мети передбачено:

- дослідити нормативно-правові засади енергоефективності в комунальному господарстві [1; 4];
- визначити переваги застосування LED-світильників і систем автоматичного керування [2; 5];

- оцінити можливості використання відновлюваних джерел енергії [6; 7];
- розробити рекомендації щодо модернізації освітлювальних систем населених пунктів.

Основна частина

Система вуличного освітлення є однією з найенергоємніших складових інженерної інфраструктури населених пунктів. Її ефективність безпосередньо впливає на рівень безпеки дорожнього руху, комфорт проживання громадян, а також на витрати місцевих бюджетів [1; 2]. В Україні станом на 2025 рік понад 60 % мереж вуличного освітлення залишаються морально та фізично застарілими, що призводить до перевитрат електроенергії на 30–50 % порівняно з сучасними стандартами [2].

Поточний стан систем вуличного освітлення в Україні

Більшість комунальних мереж освітлення сформована ще у 1970–1990-х роках і побудована на натрієвих та ртутних лампах високого тиску, які мають низьку світлову віддачу (40–60 лм/Вт) та короткий термін експлуатації. Значна частина мереж має високу втрату електроенергії через зношені кабельні лінії та нераціональне керування режимами освітлення [3; 5].

Типовими проблемами є:

- неефективне розміщення світильників, що створює нерівномірність освітленості вулиць;
- відсутність систем автоматичного регулювання освітленості залежно від часу доби або інтенсивності руху;
- використання застарілих опор освітлення, не придатних для монтажу сучасних LED-модулів;
- недостатній рівень технічного обслуговування та енергетичного моніторингу [2; 3].

Аналіз моніторингових звітів Державного агентства енергоефективності показує, що понад 38 % опор вуличного освітлення мають термін експлуатації понад 40 років**,** а до 25 % управлінських щитів не відповідають сучасним вимогам безпечної експлуатації [11].

У 2024 році в рамках державного аудиту встановлено, що в малих громадах Полтавської, Чернігівської та Черкаської областей рівень фактичної освітленості вулиць у нічний час був на 30–45 % нижчим від нормативних вимог ДБН В.2.5-28:2018, що додатково впливає на рівень ДТП у темний час доби [12].

Додатково виявлено, що мережі освітлення в сільських громадах у середньому працюють на 10–20 % довше, ніж у містах, оскільки вмикаються завчасно через відсутність сучасних датчиків освітленості (фотореле). Це призводить до зайвого споживання електроенергії — близько 50–70 тис. кВт·год на одну громаду щорічно [11].

Технологічні засади енергоощадного освітлення

Одним із найефективніших напрямів модернізації систем вуличного освітлення є перехід на світлодіодні (LED) технології. LED-світильники забезпечують у середньому 60–70 % економії електроенергії та мають термін служби до 100 000 годин, що у 5–7 разів перевищує показники традиційних ламп [5; 6].

Крім того, LED-світильники характеризуються:

- високою світловою ефективністю (до 130–150 лм/Вт);
- стабільністю світлового потоку при зміні температури;

- можливістю точного керування потужністю та спектром освітлення;
- відсутністю шкідливих речовин (ртуті), що робить їх екологічно безпечними.

Для досягнення максимального ефекту енергозбереження рекомендується впроваджувати інтелектуальні системи Smart Lighting [6].

Вони дозволяють:

- автоматично регулювати яскравість освітлення відповідно до погодних умов або часу доби;
- вимірювати енергоспоживання кожного світильника;
- здійснювати дистанційне керування та діагностику несправностей;
- забезпечувати адаптивне освітлення залежно від трафіку транспортних засобів та пішоходів.

Такі системи вже активно впроваджуються у європейських містах відповідно до вимог ЄС щодо «розумних міст» [8; 9]. Українські громади, які впроваджують подібні технології (наприклад, Житомир, Вінниця, Львів), демонструють скорочення енергоспоживання освітлення на 75–80 % та зменшення витрат на технічне обслуговування на 30–40 % [2].

У 2023–2024 рр. українські міста здійснили низку успішних модернізацій. Зокрема:

У Львові заміна 3 500 натрієвих світильників на LED дозволила скоротити річне споживання електроенергії на 3,2 млн кВт·год, що еквівалентно економії 9 млн грн [13].

У Житомирі впровадження інтелектуальної системи Smart Lighting на 46 вулицях зменшило витрати на технічне обслуговування на 35 %, а кількість виїздів аварійних служб — на 27 % [14].

У Вінниці застосування адаптивного регулювання яскравості (димування) дало додаткову економію 15–18 % електроенергії порівняно з фіксованою потужністю LED-світильників [15].

Ці приклади підтверджують ефективність поєднання LED-світильників із телеметрією та системами керування.

Використання відновлюваних джерел енергії

В умовах енергетичних викликів, спричинених війною та руйнуванням енергетичної інфраструктури, особливого значення набуває енергетична автономність систем освітлення. Використання сонячних панелей або вітрогенераторів у поєднанні з LED-світильниками дозволяє створювати автономні системи освітлення, що не залежать від централізованих електромереж [7; 8].

Сонячні ліхтарі ефективно застосовуються для освітлення периферійних вулиць, парків, сільських територій, а також об’єктів критичної інфраструктури, де підключення до електромережі є проблематичним [7].

Досвід реалізації таких проєктів у країнах ЄС [8; 10] показує, що термін окупності систем із використанням сонячної енергії становить 5–7 років, після чого економічний ефект зростає експоненційно. Для українських умов важливим є також поєднання таких систем із акумуляторними сховищами, що забезпечує стабільну роботу в нічний час.

В умовах війни та періодичних відключень електроенергії зростає потреба у розбудові автономних систем освітлення.

У Чернівецькій області у 2023–2024 рр. встановлено понад 420 автономних сонячних ліхтарів у селах поблизу кордону для забезпечення безпеки руху — проєкт реалізований за підтримки Програми розвитку ООН. Річна економія становить приблизно 180 тис. кВт·год [14].

У м. Хмельницький у 2024 р. 115 сонячних ліхтарів було встановлено вздовж велосипедних маршрутів. Система працює повністю автономно та не потребує підключення до мережі — економія міського бюджету становить понад 1,3 млн грн за 5 років [15].

За даними досвіду Іспанії та Німеччини, використання автономних систем освітлення у сільських регіонах дозволяє скоротити витрати на експлуатацію на 80–90 %, а термін окупності становить 5–6 років завдяки зменшенню навантаження на електромережі [16].

Економічні та організаційні аспекти модернізації

За оцінками Держенергоефективності [2], повна модернізація вуличного освітлення в одному середньому місті (приблизно 50 тис. мешканців) дозволяє зекономити до 1,5–2,0 млн кВт·год електроенергії на рік, що еквівалентно 1–1,5 млн грн за поточними тарифами.

Водночас реалізація таких проєктів потребує залучення інвестиційних механізмів — енергосервісних контрактів (ESCO), грантів міжнародних організацій (UNDP, GIZ, USAID), а також державно-приватного партнерства. В Україні вже реалізовано понад 80 проєктів модернізації освітлення за участю таких механізмів [2; 4].

В Україні з 2020 по 2024 рік реалізовано понад 110 успішних проєктів модернізації вуличного освітлення за моделлю ESCO, що дозволило скоротити річні витрати на електроенергію більш ніж на 55 млн кВт·год [11; 14].

Приклади ESCO-проєктів:

- м. Славутич – модернізація освітлення 78 вулиць, економія енергії становить 72 %, термін контракту — 7 років [12].
- м. Краматорськ (до 2022 р.) — заміна 1 200 світильників, зменшення споживання електроенергії на 1,6 млн кВт·год щорічно [11].
- м. Дубно — модернізація за кошти USAID дозволила підвищити рівень освітленості центральних вулиць на 55 %, при цьому витрати зменшилися на 68 % [14].

Згідно з аналітичними даними Європейської асоціації муніципалітетів, перехід на енергоефективне освітлення дозволяє зменшити загальні комунальні витрати міста на 8–12 %, що є суттєвим показником для громад із обмеженим бюджетом [17].

Висновки: Впровадження енергоощадних систем вуличного освітлення є важливим напрямом розвитку інфраструктури населених пунктів України. Перехід на LED-технології, автоматизація керування та використання відновлюваних джерел енергії забезпечують істотне зниження енергоспоживання, експлуатаційних витрат і негативного впливу на довкілля. Подальше вдосконалення нормативної бази та фінансових механізмів підтримки енергоефективних проєктів сприятиме модернізації освітлювальних систем і сталому розвитку територіальних громад [4; 9; 10].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про енергетичну ефективність» від 21.10.2021 № 1818-IX.
2. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Аналітичний звіт про стан енергоефективності у сфері комунального господарства України. – Київ, 2023.

3. Соколенко В. М. Енергоефективні технології освітлення міських територій // Науковий вісник будівництва. – 2021. – Т. 103, № 3.
4. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – Київ : Мінрегіонбуд, 2018.
5. Кравчук І. О. Світлодіодні системи вуличного освітлення // Світлотехніка та електроенергетика. – 2020. – № 2.
6. Лисенко П. В. Автоматизовані системи керування вуличним освітленням // Енергетика та автоматика. – 2022. – № 3.
7. Ivanenko D., Melnyk O. (2023). Renewable Energy Solutions for Public Lighting in Small Communities. Energy and Environment Review, 15(2).
8. European Commission. EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and Traffic Signals. – Brussels, 2021.
9. International Energy Agency (IEA). Energy Efficiency 2023: Lighting Systems Report. – Paris, 2023.
10. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Guidelines on Energy Efficiency in Urban Infrastructure. – Geneva, 2022.
11. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Аналітичний звіт про стан систем вуличного освітлення. – Київ, 2024. – 54 с.
12. Міністерство розвитку громад України. Оцінка технічного стану мереж зовнішнього освітлення у громадах. – Київ, 2023. – 62 с.
13. Львівська міська рада. Звіт про модернізацію системи вуличного освітлення за 2023 рік. – Львів, 2024. – 32 с.
14. UNDP Ukraine. Community Energy Efficiency Projects Report 2024. – Kyiv, 2024. – 58 p.
15. Вінницька міська рада. Програма модернізації зовнішнього освітлення «Світло міста». – Вінниця, 2024. – 40 с.
16. European Renewable Energy Council. Solar Street Lighting Efficiency Study. – Brussels, 2023. – 73 p.
17. Council of European Municipalities and Regions (CEMR). Urban Infrastructure Energy Saving Review. – Paris, 2024.– 91p

Любич Володимир Володимирович – викладач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Lyubich Volodymyr V. – lecturer at the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

УДК 72.05

Є. В. Совінський[1]

ПРОБЛЕМА ВТРАТИ ОБРАЗУ ОБЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ У НАСЛІДОК РЕКОНСТРУКЦІЇ

[1]Вінницький національний технічний університет

Анотація

У даній роботі проаналізовано історичні ареали міст, які є складними багатошаровими системами, де автентичність формується через поєднання матеріальних та культурних складових. Порушення балансу під час фізичних, функціональних чи соціокультурних втручань призводить до втрати образу об'єктів культурної спадщини. Дослідження підкреслює необхідність комплексного підходу, що забезпечує збереження цілісності та ідентичності історичного середовища.

Ключові слова: автентичність, культурна спадщина, реконструкція, історичне середовище.

Abstract

In this work, historical urban areas are analyzed as complex multilayered systems in which authenticity is formed through the combination of material and cultural components. Disruption of the balance during physical, functional, or sociocultural interventions leads to the loss of the original image of cultural heritage objects. The study emphasizes the need for a comprehensive approach that ensures the preservation of the integrity and identity of the historical environment.

Keywords: authenticity, cultural heritage, reconstruction, historical environment.

Вступ

Історичний ареал будь-якого міста України – це цілісний комплекс будівель, просторових містобудівних структур, археологічного культурного шару та свідчень історичних подій, а також ландшафтних елементів. Цілісність цих елементів складає основу для культурної ідентичності міста. Об'єкти спадщини виступають матеріальними свідками історії, акумулюючи нашарування та сенси у своїх композиційно-просторових структурах. Саме тому завдання архітектора полягає не лише у проєктуванні їх заради подальшого функціонування, а й у проведенні досліджень задля відновлення цінності традиційного характеру середовища [1]. Образ пам'ятки не є лише її зовнішньою формою, а сукупністю автентичних матеріалів, історичної достовірності та культурних нашарувань.

Результати дослідження

Баланс між матеріальною автентичністю і достовірністю розглядає пам'ятку як живий, багатошаровий маркер історії, а не як статичний об'єкт, який можна ідеально "відтворити". Втрата образу настає тоді, коли порушується будь-яка з цих складових, що є прямим наслідком ігнорування принципів комплексного підходу під час проведення будь-яких із реконструкційних заходів [2]. Проте, незважаючи на розроблену законодавчу базу у сфері охорони культурної спадщини, на практиці існує гостра проблематика втрати автентичного образу об'єктів.

Щодо причин втрати автентичного образу пам'ятки, то ця проблема корениться у порушенні балансу між трьома категоріями втручань:

1. На фізичному рівні, при здійсненні втручання в об'єкт, є ігнорування критерію автентичності та історичної достовірності. Що проявляється при: Недостатній глибині науково-дослідного процесу: роботи плануються без ретельного збору архівних даних, обмірів та історичних аналогів, що призводить до суб'єктивного відтворення втрачених елементів. Надмірному втручанні та заміщенні, як прагненні до ідеального, "нового" вигляду, що часто призводить до суцільної необґрунтованої заміни оригінальних елементів або маскування культурних нашарувань, що руйнує ідентичність об'єкта як

визначного свідка історії. Внаслідок такого підходу, об'єкт може виглядати естетично привабливо, але втрачає свою автентичність, перетворюючись на стилізовану імітацію.

2. Дизбаланс функціонального пристосування. Наповнення функцією є необхідним для забезпечення життєздатності пам'ятки (через пристосування), але часто стає причиною втрати суті у самому образі. Агресивне пристосування до нових, особливо комерційних, потреб часто вимагає радикальної зміни композиційно-планувальної структури (наприклад, знесення внутрішніх стін, додавання нових об'ємів, прорізів, що порушують об'ємно-просторові складові, заміну оздоблення). Таке втручання, реалізоване без належної чутливості, руйнує внутрішню логіку та естетичну гармонію об'єкта. Конфлікт функціонального наповнення: Якщо нова функція (наприклад, розважальний центр) повністю дисонує з історичним призначенням та символічним змістом будівлі, це призводить до втрати її сенсів і змістів, навіть якщо фізична форма збережена.

3. Недооцінка категорії соціально-культурних процесів. Її ігнорування веде до втрати "духу місця", цілісності та традиційного характеру середовища. Відсутність менеджменту спадщини: Несистемний підхід до управління змінами, відсутність рівноцінної інтеграції інтересів у сфері історичної цінності всіх стейкхолдерів — власника, громади, бізнесу. Соціальне викривлення: методи, спрямовані виключно на підвищення економічної цінності (валоризація), можуть призвести до витіснення автентичної соціальної тканини (мешканців, малих підприємств) та заміни її на однорідну, комерційну функцію. Втрачається соціокультурний контекст, і пам'ятка перетворюється на відчужений, «музейний» експонат без життєвого наповнення.

Проблематика втрати образу об'єктів культурної спадщини є прямим викликом ефективності управління історичним середовищем. Втрата автентичного образу об'єкта має глибокі наслідки для всього історичного середовища. Об'єкти перестають бути достовірними історичними джерелами, перетворюючись на артефакти власної реконструкції. Це знижує освітню та культурну цінність усього міста. Об'єкт, який втратив образ, випадає з культурного ландшафту, порушуючи гармонію міської тканини. Місто починає сприйматися як набір ізольованих, штучно відреставрованих фасадів, а не як єдине, традиційно сформоване середовище [3]. Втрата автентичних сенсів веде до десакралізації пам'ятки та її відчуження від місцевої громади. Об'єкт втрачає свою функцію культурного маркера, що негативно позначається на культурній ідентичності громади. Успішна практика відновлення можлива лише за умови суворого дотримання критеріїв (Автентичність, Історична достовірність, Цілісність середовища, Функціональна адаптація), які слугують етичною та методологічною основою і виконують роль запобіжників на всіх етапах проєктування та реалізації проєктів на об'єктах культурної спадщини. Комплексна реконструкція має бути виключно мультидисциплінарним стратегічним процесом, де рішення приймаються на перетині історичних, інженерних, архітектурних та соціокультурних досліджень. Лише такий підхід дозволить запобігти втраті образу та забезпечити гармонійне оновлення історичного середовища, зберігаючи його як автентичний, життєздатний та цілісний елемент міської тканини.

Приклади врахування критеріїв автентичності при здійснені реконструкції:





Рис. 1. Проведення робіт з консервації покрівлі над поєзуїтським кляштором м. Вінниці (ліворуч – Фото до консервації 1895 р.., праворуч – після консервації 1910р.,)

Приклади врахування критеріїв автентичності при здійснені реставрації:

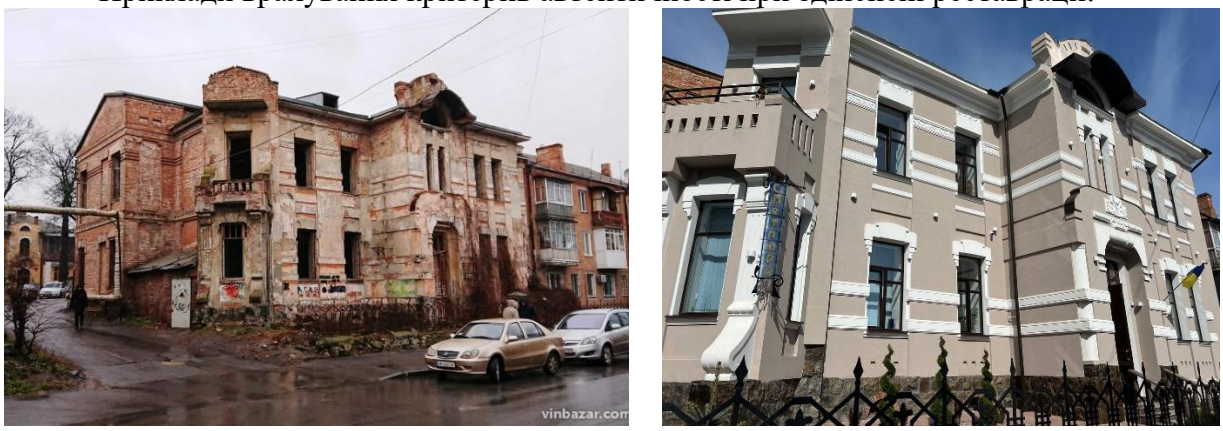


Рис. 2. Здійснена у 2024 реставрація памятки архітектури будівля пошти м. Вінниці (ліворуч – фасад 2012-х р.., праворуч – після реставрації 2023 р.)

Приклади ігнорування критеріїв автентичності при здійснені реконструкції:



Рис. 3. Здійснений у 2013 проект реконструкції обласного краєзнавчого музею м. Вінниці (ліворуч – фасад 1970-х р.., праворуч – після реконструкції 2013 р.)

Приклади ігнорування критеріїв автентичності при здійснені регенерації:

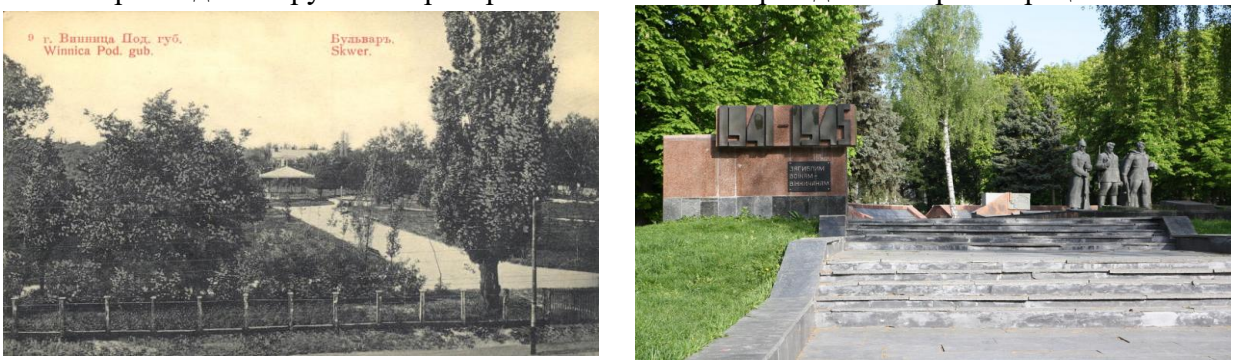


Рис. 4. Здійснений у 1971 проект регенерації міського саду м. Вінниці (ліворуч – міський сад близько 1900 р.., праворуч – після регенерації Меморіал Слави до 2022р.,)

Висновок

Збереження автентичності історичних ареалів потребує комплексного та чутливого підходу, що враховує матеріальні, функціональні та соціокультурні аспекти втручання. Ігнорування будь-якої зі складових призводить до втрати цінності пам’яток та руйнування цілісності міського середовища. Ефективна реконструкція можлива лише за умови міждисциплінарної взаємодії та дотримання принципів історичної достовірності й цілісності простору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бевз, М. (2019) *Охорона культурної спадщини: теорія і практика збереження автентичності історичного середовища*. Львів: Видавництво ЛНУ.
2. Дяченко, В. (2016) ‘Проблеми реконструкції та ревіталізації історичних архітектурних комплексів’, *Архітектура і сучасність*, 24(1), pp. 45–52.
3. Ковальчук, О. (2020) *Архітектурна спадщина України: підходи до збереження та адаптації*. Київ: Наукова думка.

Совінський Євген Васильович **–** асистент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sovinskyi@vntu.edu.ua

Sovinskyi Yevhen Vasylovych **–** assistant at the department of construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: sovinskyi@vntu.edu.ua

УДК 691

В. О. Тимошенко
В. П. Ковальський

НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ФОСФОГІПСУ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У даній роботі запропоновано розглянути нормативно-правові аспекти використання фосфогіпсу в Україні та світі.

Ключові слова: фосфогіпс, суха будівельна суміш, відходи хімічної промисловості, екологічність, циркулярна економіка.

Abstract

This report proposes to consider the regulatory and legal aspects of the use of phosphogypsum in Ukraine and the world.

Keywords: phosphogypsum, dry building mix, chemical industry waste, environmental friendliness, circular economy.

Вступ

Фосфогіпс — це сполука фосфору з гіпсом, побічний продукт хімічної промисловості, що утворюється в процесі виробництва фосфорної кислоти та фосфатних добрив. Його основним компонентом є дигідрат сульфату кальцію ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), але в ньому також присутні домішки фторидів, важких металів та радіоактивних елементів [1-3]. Щороку у світі утворюються мільйони тон цього матеріалу, значна частина якого накопичується на спеціальних полігонах, створюючи екологічні проблеми [4-6]. Проте його хімічний склад і фізичні властивості відкривають можливості для застосування у будівництві, зокрема у виробництві сухих будівельних сумішей, гіпсокартону, цементу та інших матеріалів [7-9].

Більшість фосфогіпсу зберігається на спеціальних звалищах, в результаті його щорічного утворення понад 300 мільйонів тон. Така значна кількість фосфогіпсу створює екологічні проблеми, зокрема забруднення ґрунтів, водних ресурсів та повітря [10-13]. Незважаючи на ці ризики, фосфогіпс має значний потенціал для повторного використання, особливо в будівельній галузі [14-16].

Мета моєї доповіді — розглянути нормативно-правові аспекти фосфогіпсу, його правовий статус в Україні та світі. Показати, як різні країни регулюють обіг фосфогіпсу, які обмеження діють, і які підходи можуть бути корисні для України.

Результати дослідження

Розглянемо регуляторний статус фосфогіпсу.

Фосфогіпс вважається відходом якщо не проходить очистку або не відповідає нормам радіаційної та хімічної безпеки; підпадає під норми про поводження з відходами; потрібна утилізація, паспорти безпеки, контроль зберігання; використання сильно обмежене [17-19].

Продукт (сировина), якщо провести очищення або підтвердження якості; в Європейському Союзі діє поняття End-of-Waste Status (матеріал перестає бути відходом, якщо відповідає стандартам).

Отже, правовий статус визначає можливість повторного використання.

В Європейському Союзі діє загальний підхід циркулярної економіки, щоб мінімізувати відходи. Країни Євросоюзу дозволяють використання фосфогіпсу при виробництві будівельних матеріалів за умови дотримання EN 13279, EN 197-1, EN 15804.

В США EPA (Environmental Protection Agency) класифікує фосфогіпс як TENORM – технологічно вдосконалений природний радіоактивний матеріал. TENORM визначається, як «природні радіоактивні матеріали, які були сконцентровані або потрапили в доступне середовище в результаті діяльності людини, такої як виробництво, видобуток корисних копалин або обробка води». Таку класифікацію присвоїли фосфогіпсу через наявність в ньому Ra-226 [20-22]. Фосфогіпс заборонено використовувати у житловому будівництві. Дозволено лише у дорожньому будівництві та за індивідуальним дозволом.

Китай має один із найліберальніших підходів і розглядає фосфогіпс як цінний вторинний ресурс. В Китаї є національні стандарти на вироби з фосфогіпсу: гіпсові плити, цементні модифікатори, дорожні матеріали. Уряд підтримує утилізацію через програми субсидій і державні науково-дослідні інститути.

Індія дозволяє широке використання у цементній та будівельній промисловості. Норми BIS регулюють домішки та радіаційну безпеку.

Бразилія використовує фосфогіпс у сільському господарстві та частково в будівництві. Державна агенція ядерної енергії (CNEN) визначає фосфогіпс як NORM (naturally occurring radioactive material) і встановлює ліміти для ґрунтоорієнтованого використання.

Порівняємо основні параметри регулювання фосфогіпсу в кожній країні (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця основних параметрів регулювання фосфогіпсу в кожній країні

Країна	Класифікація	Радіоактивні межі (Ra-226)	ГДК важких металів	Дозволене використання	End-of-waste
Україна	Відходи виробництва. Зберігається у відвалах	Немає власних норм	За загальними санітарними нормами	Використовується в основному як меліорант для ґрунтів	ЗУ «Про управління відходами» запроваджує поняття EoW (End of Waste)
ЄС	Відходи (WFD 2008/98)	Інтенсивність будівельних матеріалів Ra<=300 Бк/кг	Загальні директиви на ґрунти/добрива; у разі добрив – дуже низькі рівні Cd, Pb тощо	Обмежено: як добавка до цементу, шляхових матеріалів, ґрунтів (за умовою безпеки)	EOW-критерії не розроблені; PG лишається відходом
США	Радіоактивні відходи (TENORM)	Для агровикористання: ≤10 pCi/g (~370 Бк/кг); Будівельні блоки: радіофлюкс <40 кБк/м²	EPA звертає увагу на важкі метали; конкретних галузевих лімітів на фосфогіпс немає	Агровикористання (досліди, меліоранти) та R&D дозволені; будівництво доріг – під суворим контролем	EoW-процедури немає; кожне вивільнення PG схвалюється EPA
Китай	Класу відходу; новий стандарт HJ 1415-2025 регламентує утилізацію	Очікується встановлення по HJ 1415: наприклад, будматеріали (радіація) – 400 Бк/кг	За чинним: ґрунтові ГДК (напр., Hg ≤1,5 мг/кг; Cd ≤0,3) для безпеки експлуатації	Активно використовують: у цементі, блоках, дор. підсипках, агролікуванні (за техн. нормами)	Немає формального EoW; «очищений» фосфогіпс все ще визнається субстанцією відходу
Індія	Побічний продукт добувної пром-сті; не вважається небезпечним	Ra-226 ≤1 Бк/г для продажу у будматеріалах (достатньо <10 pCi/g); Агро: обмежень за радіацією – немає	Стандарти IS (для агродобрив і цементу): встановлено низькі ліміти металів (десятки мг/кг)	Широко у сільському господарстві (рідко як добриво визнаний) та в будівництві (панелі, цемент)	Спеціальних EoW критеріїв нема; кожне використання контролюється уповноваженими органами
Бразилія	Клас II твердих залишків (не небезпечний) за ABNT	Для агросектору – Ra-226/228 ≤1000 Бк/кг (CNEN)	Стандарти IN-27: As≤10; Cd≤20; Pb≤100; Cr≤200; Hg≤0.2 (мг/кг)	Активно: основне – як ґрунтовий кондиціонер (Cerrado), також у цементі/гіпсових виробах	Офіційно фосфогіпс – побічний продукт; «end-of-waste» не проголошено, але агровикористання за нормами дозволено

Фосфогіпс в Україні переважно є відходом виробництва і зберігається у спеціальних відвалах. В нормативних документах його не переведено в категорію вторинної сировини, хоча перехід до принципів циркулярної економіки передбачено Законом України «Про управління відходами» [23].

В Україні нема окремих норм на радіологічні показники фосфогіпсу, вміст важких металів, токсичних домішок, кислотності. Нема стандартів на очищений або модифікований фосфогіпс для будматеріалів. Промисловість не має правового підґрунтя, щоб довести безпеку продукту.

Висновки

В Україні фосфогіпс формально залишається відходом, а не вторинною сировиною. Через це будь-яке використання фосфогіпсу автоматично прирівнюється до операцій з відходами, що ускладнює впровадження технологій переробки.

Україна має найменшу частку переробки фосфогіпсу серед розглянутих країн. Найбільше використовують у Бразилії та Китаї. Україна залишається у групі держав з найбільшим рівнем складування фосфогіпсу, що створює екологічні ризики та втрату потенційної економічної вигоди.

Фосфогіпс в Україні є значним, але, наразі, нереалізованим потенціалом. Використання фосфогіпсу у зведенні будівель є прикладом циркулярної економіки, де відходи перетворюються на значущий ресурс. Це сприяє формуванню екологічно безпечних і доступних матеріалів, що відповідають актуальним потребам сталого розвитку. При правильному регулюванні він може стати важливою частиною відбудови України, переходу до циркулярної економіки, екологічного оздоровлення територій колишніх хімзаводів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ковальський В. П. Доцільність використання фосфогіпсу для приготування сухих будівельних сумішей / В. П. Ковальський, С. Ю. Зузяк // Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали II міжнар. наук.-практ. конф., 3-5 квітня 2018 р. – Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2018. – С. 156.
2. Яхненко О. М. Екологічно безпечна утилізація фосфогіпсу у технологіях захисту атмосферного повітря : автореф. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Суми, 2017. 248 с.
3. Використання відходів промисловості для виробництва ефективних будівельних матеріалів / В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, М. П. Машницький, А. Ф. Діденко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2010. - № 2. - С. 53-55.
4. Стаднійчук М. Ю. В'яжучі з використанням промислових техногенних відходів / М. Ю. Стаднійчук, О. В. Березюк // Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Еколого-енергетичні проблеми сучасності", 13 квітня 2017 р. – Одеса : ОНАХТ, 2017. – С. 11-12.
5. Ковальський В. П. В'яжуче з відходів для дорожнього будівництва / В. П. Ковальський, М. О. Постолатій, А. В. Комаринський // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології в будівництві (2018)", 13-15 листопада 2018 р. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – С. 185-189.
6. Березюк О. В. Фосфогіпсозолоцементні та металофосфатні в'яжучі з використанням відходів виробництва / М. С. Лемешев, О. В. Христич, О. В. Березюк // Сучасні екологічно безпечні та енергозберігаючі технології в природокористуванні : Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених і студентів. – Київ : КНУБА, 2011. – Ч. 1. - С. 125-128.
7. Ковальський В. П. Композиційні в'яжучі речовини на основі відходів промисловості / В. П. Ковальський, Т. Г. Шулік, В. П. Бурлаков // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. - Електрон. текст. дані. - 2018. - Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/5035/4128
8. Постолатій М. О. Радіаційна небезпека будівельних матеріалів / М. О. Постолатій, В. П. Ковальський // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів і студентів "Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених", 10 -11 травня 2019 р. – Черкаси : ЧІПБ, 2019. – С. 68-69 с.
9. В'яжуче з відходів для дорожнього будівництва / М. Ф. Друкований, В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, В. П. Чепуренко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – Т. 1. - С. 50-54.
10. Лемешев, М. С. Комплексна переробка техногенних відходів хімічної промисловості та металообробних виробництв / М. С. Лемешев, О. В. Христич, О. В. Березюк // Materialy XI Mezinarodni vedecko-prakticka konference "Aktualni vymozenosti vedy – 2015". – Praha: Education and Science, 2015. – Dil 7. – S. 60-62.

11. Ковальський В. П. Пріоритетні напрямки утилізації фосфогіпсових відходів /В. П. Ковальський // Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції "Прикладні науково-технічні дослідження", Івано-Франківськ, 5-7 квітня 2021 р. – Івано-Франківськ : Кушнір Г. М., 2021. – С. 309-310.
12. Дворкін Л.Й. Сухі Будівельні суміші з використанням фосфогіпсу /Л.Й. Дворкін, А.В. Мироненко, Т.О. Поліщук-Герасимчук // Вісник Нац. ун-ту водного господарства та природокористування. Збірник наукових праць. – Рівне, 2008. – № 2 (42). Ч. 1. – С. 230–235.
13. Bereziuk O. V. Means for measuring relative humidity of municipal solid wastes based on the microcontroller Arduino UNO R3 / O. V. Bereziuk, M. S. Lemeshev, V. V. Bohachuk, M. Duk // Proc. SPIE, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2018. – 2018. – Vol. 10808. – No. 108083G. – https://doi.org/10.1117/12.2501557.
14. Tymoshenko V., Kovalskiy V. The processing technologies are considered and the possibility of using phosphogypsum for the production of dry building mixtures is substantiated // Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 24-27 березня 2025 р. Електрон. текст. дані. 2025. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/24515.
15. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." nternational Science Group. Boston : Primedia eLaunch, 616 . (2021).
16. Ковальський В. П. Доцільність використання фосфогіпсу для приготування сухих будівельних сумішей / В. П. Ковальський, С. Ю. Зузяк // Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали ІІ міжнар. наук.-практ. конф., 3-5 квітня 2018 р. – Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2018. – С. 156.
17. Rashad A. M. Phosphogypsum as a construction material. Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 166. P. 732–743. URL: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.049 (date of access: 19.11.2024).
18. The Development of a New Phosphogypsum-Based Construction Material: A Study of the Physicochemical, Mechanical and Thermal Characteristics / H. Garbaya et al. Materials. 2021. Vol. 14, no. 23. P. 7369. URL: https://doi.org/10.3390/ma14237369 (date of access: 19.11.2024).
19. Новосад П.В, Королько С.В, Солтисік Р.А. Використання роздільського фосфогіпсу у виробництві сухих будівельних сумішей. Електронний архів Національного університету "Львівська політехніка". URL: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4708/51-276-280.pdf.
20. Христич О. В. Параметри радіоактивності будівельних матеріалів /О. В. Христич, В. П. Ковальський, В. П. Бурлаков // Матеріали ІІІ міжнародної науково-практичної конференції "Прикладні науково-технічні дослідження", 3-5 квітня 2019 р. – Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2019. – С. 184.
21. Олійник Ю. Г. Захист середовища від радіоактивного впливу шляхом змінення складу бетону / Ю. Г. Олійник, В. П. Ковальський, // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів і студентів "Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених", 13 травня 2020 р. – Черкаси : ЧІПБ, 2020. – С. 34-36.
22. Бурлаков В. П. Джерела радіоактивності / В. П. Бурлаков, В. П. Ковальський, // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів і студентів "Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених", 10 -11 травня 2019 р. – Черкаси : ЧІПБ, 2019. – С. 13-14.
23. Про управління відходами : Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX : станом на 31 жовт. 2025 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text (дата звернення: 17.11.2025).

Тимошенко Віталій Олександрович – студент групи 192-23а, Факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. E-mail: vitaliktymoshenko@gmail.com

Ковальський Віктор Павлович — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. Email: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com

Tymoshenko Vitaliy O. - student of group 192-23a, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. E-mail: vitaliktymoshenko@gmail.com

Kovalskiy Viktor P. — Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnitsa National Technical University. Email: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com

УДК 128.2

В. С. Шмогуненко
В. П. Ковальський

СУЧАСНІ ПРИНЦИПИ ПЛАНУВАННЯ КВАРТИР

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розглянуто основні сучасні принципи планування квартир, які спрямовані на підвищення комфорту, функціональності та ефективного використання житлової площі. Описано тенденції раціонального розподілу простору, застосування відкритих планувань, гнучких та трансформованих рішень, а також вплив технологічних та енергоефективних підходів на якість житла. Матеріал базується на аналізі сучасних досліджень та керівних документів у сфері архітектури та дизайну житла.

Ключові слова: планування квартир; сучасні принципи; open space; зонування; ергономіка; енергоефективність; житловий простір; архітектура.

Abstract

The main contemporary principles of apartment planning are considered, aimed at enhancing comfort, functionality, and efficient use of living space. Trends in the rational distribution of space, the use of open layouts, flexible and transformable solutions, as well as the impact of technological and energy-efficient approaches on housing quality, are described. The material is based on the analysis of modern research and guiding documents in the field of architecture and residential design.

Keywords: propane, butane, density, liquefied petroleum gas, the quantitative content of the components.

Вступ

Сучасні тенденції урбанізації та зростання вартості житла зумовлюють потребу у максимально ефективному використанні кожного квадратного метра квартири [1-3]. Планування житлового простору стає не лише питанням естетики, а насамперед — функціональності, комфорту та відповідності реальним сценаріям життя мешканців [4-6]. Сучасні планувальні рішення враховують зміни способу життя людей, розвиток технологій, підвищені вимоги до ергономіки та зручності. Саме тому в архітектурі все більше уваги приділяється створенню квартир, які можуть адаптуватися до потреб різних категорій користувачів та забезпечувати комфортне середовище для щоденного проживання [7-9].

Метою роботи є висвітлення головних принципів, які визначають підхід до проєктування квартир сьогодні, з акцентом на раціональність, комфорт, гнучкість планувальних рішень і застосування сучасних технологій.

Основні принципи сучасного планування

Одним із ключових принципів сучасного планування квартир є раціональне використання площі. Архітектори прагнуть мінімізувати площі, які не виконують практичної функції, такі як надмірно довгі коридори або темні непридатні кімнати [10-12]. Натомість планування орієнтоване на те, щоб кожен квадратний метр був корисним і працював на потреби мешканця. У невеликих квартирах це особливо важливо, оскільки продумана організація простору дозволяє забезпечити комфорт навіть на мінімальній площі [13-15].

Другим важливим аспектом є поширення відкритих просторів. Концепція open space передбачає об’єднання кухні, вітальні та їдальні в єдине приміщення без зайвих перегородок. Такий підхід створює відчуття простору, забезпечує кращу інсоляцію, полегшує комунікацію між членами сім’ї та дає можливість гнучко організовувати інтер’єр. Водночас відкрите планування потребує продуманого зонування, оскільки в одному приміщенні поєднуються різні функції.

Третім принципом є гнучкість і трансформованість простору. Сучасні квартири дедалі частіше проєктують так, щоб вони могли адаптуватися під різні потреби мешканців. Для цього використовуються мобільні або розсувні перегородки, модульні меблі, складані системи та інші трансформовані елементи. Наприклад, спальне місце може поєднуватися з робочою зоною, а одна кімната — виконувати функції і вітальні, і кабінету. Така гнучкість є відповіддю на реалії, коли у квартирах з обмеже-

ною площею необхідно розмістити кілька різних сценаріїв життя: роботу, відпочинок, навчання, побут.

Ще одним важливим сучасним принципом є функціональне зонування. Навіть у межах одного приміщення створюються окремі зони: робоча, відпочинкова, спальна, побутова. Зонування здійснюється за допомогою різних прийомів — меблів, освітлення, кольорових акцентів, фактур, декоративних перегородок. Це дозволяє організувати простір так, щоб кожна зона виконувала конкретну функцію і водночас гармонійно поєднувалася з іншими.

Важливою складовою сучасного планування є ергономіка, тобто зручність використання приміщень і меблів. Сучасні рішення передбачають оптимальні проходи між предметами інтер'єру, достатній простір для пересування, зручне розміщення меблів і техніки. Окрему роль відіграє природне освітлення — великі вікна, правильна орієнтація кімнат та використання світлих оздоблювальних матеріалів дозволяють візуально збільшити простір і зробити його комфортнішим. Система штучного освітлення також є частиною планування, адже поєднання загального, зонального та декоративного світла забезпечує правильну атмосферу та функціональність.

Висновки

Сучасні принципи планування квартир ґрунтуються на прагненні створити зручний, адаптивний і ефективний простір для людини. Основними тенденціями є раціональність використання площі, відкритість простору, гнучкість планувальних рішень та застосування технологічних інновацій. Велике значення має також ергономіка, що забезпечує комфортне пересування і правильне використання житлових зон.

Таким чином, сучасне планування квартир поєднує функціональність, технологічність та комфорт, створюючи простір, який відповідає сучасним потребам мешканців і забезпечує високий рівень якості життя.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Features of architectural and planning organization of residential building of the raised density by A. Sydorenko & O. Zhovkva. DOI:10.32782/2415-8151.2023.29-30.15.
2. Ковальський В. П. Сучасні тенденції у зведенні монолітних і цегляних житлових будинків [Текст] / В. П. Ковальський, А. В. Бондар, Г. І. Лисій // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2015. - № 1. - С.106-110.
3. Ефективність впровадження енергоощадних заходів в житлово-комунальному господарстві України [Текст] / О. М. Лівінський, В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, А. С. Бойко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – Вип. 45. – С. 115-119.
4. Principles for Achieving Legibility in Residential Spaces by S. Marković. Published in Buildings, 2025.
5. Ковальський В. П. Підвищення ефективності в житлово-комунальному господарстві [Текст] / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, М. О. Постолатій // Матеріали науково-практичної конференції "Енергія. Бізнес. Комфорт", 26 грудня 2018 р. – Одеса : ОНАХТ, 2019. – С. 2-3.
6. Табачишина М. Ю. Планувальні схеми та об'ємно-планувальні рішення висотних будівель [Електронний ресурс] / М. Ю. Табачишина, В. П. Ковальський // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. - Електрон. текст. дані. - 2018. - Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/5349.
7. Principles of Designing Optimized Dwelling Apartments in Small Scale by O. Heydaripour & S. Toomani. International Journal of Humanities and Cultural Studies, Vol 3 Issue 2, 2016.
8. Apartment Design Guide (PDF) NSW, 2015.
9. Загоруйко А. О. Аналіз об'ємно-планувальних рішень однокімнатних квартир багатоповерхових будинків у місті Вінниця [Текст] / А. О. Загоруйко, В. П. Ковальський // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології в будівництві (2018)", 13-15 листопада 2018 р. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – С. 236-239.
10. Акімов Н. А.Сучасні об'ємно-планувальні рішення при будівництві малоповерхових житлових будинків [Текст] / Н. А. Акімов, В. П. Ковальський // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології в будівництві (2018)", 13-15 листопада 2018 р. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – С. 202-204.

11. The Modern Living: 5 Key Aspects for Efficient Apartment Design (online article), 2023.
12. Ковальський В. П. Сучасні стилі архітектури [Текст] / В. П. Ковальський, М. О. Постолатій, Д. О. Войтюк // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Стратегія розвитку міст: молодь і майбутнє (інноваційний ліфт)", квітень-травень 2019 р. – Харків : Харківський національний університет міського господарства імені О.Б. Бекетова, 2019. – С. 136-138.
13. Ковальський, В. П. Соціальне та доступне житло: проблеми формування та фінансування [Електронний ресурс] / В. П. Ковальський, Р. В. Нідзельська, О. В. Слободянюк // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. – Електрон. текст. дані. – 2019. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2019/paper/view/7629.
14. Вознюк І. М. Проблема енергозбереження та шляхи її вирішення у багатоквартирних житлових будинках [Електронний ресурс] / І. М. Вознюк, В. П. Ковальський, А. В. Ковальський // Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. – Електрон. текст. дані. – 2020. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2020/paper/view/9539.
15. Гурман Я. В. Вплив об’ємно-планувальних рішень на підвищення енергоефективності при будівництві зблокованих будинків [Електронний ресурс] / Я. В. Гурман, В. П. Ковальський // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2019», м. Вінниця, 12-14 листопада 2019 р. : електронне мережне наукове видання. – Електрон. текст. дані. – 2019. – С. 127–129. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2019/paper/view/8246.

Шмогуненко Вікторія Сергіївна — студентка групи 1Б-24б, факультет будівництва і цивільної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: smogunenkoviktoria@gmail.com

Ковальський Віктор Павлович — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва , міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email:kovalskiy@vntu.edul.ua

Shmogunenko Viktoria S. — student of group 1B-24b, Faculty of Construction and Civil Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: smogunenkoviktoria@gmail.com

Kovalsky Viktor P.– PhD, Associate Professor of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, e-mail:kovalskiy@vntu.edul.ua

УДК 697.2:620.9:658.1

Колесник А. В.
Любич В. В.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ІСНУЮЧИХ ОБ'ЄКТІВ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ З ПІДВИЩЕННЯМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезі розглянуто підходи до модернізації існуючих об'єктів цивільного захисту з метою підвищення їх енергоефективності. Проаналізовано заходи з утеплення огороджувальних конструкцій, модернізації систем опалення, вентиляції та освітлення, інтеграції відновлюваних джерел енергії та систем накопичення енергії. Наведено методи оцінки економічної та енергетичної ефективності модернізації, а також приклади розрахунків економії енергії та скорочення експлуатаційних витрат. Показано, що модернізація підвищує надійність функціонування об'єктів цивільного захисту та забезпечує стійкість до кризових ситуацій.

Ключові слова: цивільний захист, модернізація, енергоефективність, укриття, енергозбереження, відновлювані джерела енергії, системи накопичення енергії.

Abstract

The paper examines approaches to modernizing existing civil protection facilities to improve their energy efficiency. Measures such as insulation of building envelopes, modernization of heating, ventilation, and lighting systems, integration of renewable energy sources, and energy storage systems are analyzed. A methodology for assessing economic and energy efficiency is provided, along with examples of energy savings and reduction of operational costs. The study demonstrates that modernization increases the reliability of civil protection facilities and ensures resilience in crisis situations.

Keywords: civil protection, modernization, energy efficiency, shelters, energy saving, renewable energy sources, energy storage systems.

Вступ

Існуючі об'єкти цивільного захисту в Україні, такі як укриття, пункти управління та об'єкти критичної інфраструктури, часто побудовані десятки років тому та не відповідають сучасним вимогам щодо енергоефективності та комфорту. В умовах зростання тарифів на енергоресурси та необхідності забезпечення безперебійного функціонування цих об'єктів у кризових ситуаціях актуальною стає їх модернізація з підвищенням енергоефективності [1, 2].

Мета модернізації — зменшення тепловтрат, скорочення споживання енергії, підвищення автономності та надійності функціонування об'єктів цивільного захисту у надзвичайних умовах.

У сучасних умовах модернізація укриттів має бути спрямована не лише на підвищення захисних властивостей конструкцій, але й на забезпечення автономності та оптимізації споживання енергоресурсів [2, 3].

Основна частина

Більшість протирадіаційних укриттів (ПРУ) та сховищ мають занижені показники теплостійкості та повітронепроникності. У багатьох випадках огороджувальні конструкції не відповідають сучасним вимогам енергоефективності.

Перебої в роботі електромереж, відсутність централізованого теплопостачання та водопостачання під час надзвичайних ситуацій потребують переходу до автономних систем.

Згідно з нормативними вимогам, у сховищах повинні створюватися мінімально необхідні параметри мікроклімату [1, 4].

Поточний стан багатьох захисних споруд характеризується такими проблемами:

- зношеність будівельних конструкцій – недостатня теплоізоляція, корозія металевих елементів, висока інфільтрація повітря;
- застарілі інженерні мережі, зокрема вентиляційні системи, електромережі, насосне обладнання;
- високие енергоспоживання через використання обладнання з низьким ККД;
- недостатня автономність: відсутність резервних систем живлення та водопостачання.

- порушення мікроклімату: нестабільна температура, відсутність сучасних засобів фільтрації та рециркуляції повітря [5].

Ці недоліки знижують ефективність використання укриттів, обмежують час безпечного перебування людей та ускладнюють експлуатацію споруд.

Підвищення енергоефективності об'єктів цивільного захисту ґрунтується на наступних принципах:

- теплоізоляція огороджувальних конструкцій: зовнішнє та внутрішнє утеплення стін, дахів та підлог дозволяє знизити втрати тепла на 30–50% [4];

- модернізація систем опалення та вентиляції: використання енергоощадних котлів, теплових насосів та рекуперацийних систем вентиляції зменшує споживання енергії та підвищує мікрокліматичний комфорт [4, 6].

- енергоефективне освітлення: впровадження LED-освітлення та систем автоматичного управління дозволяє скоротити електроспоживання до 60%.

Сонячні панелі, вітрові турбіни та гібридні системи забезпечують автономність енергопостачання об'єктів у разі аварійного відключення від централізованих мереж. Впровадження систем акумулювання енергії дозволяє покривати пікові навантаження та забезпечувати безперервну роботу об'єкта протягом 48–72 годин без зовнішнього живлення.

Економічна вигода від модернізації (E) може бути описана рівнянням:

$$E = \sum_{t=1}^{n} \frac{(C0 - Ct)}{(1+r)^t} - I;$$

де C0— базові енергетичні витрати;

Ct — витрати після модернізації в році t;

r — ставка дисконту;

I — інвестиційні витрати;

n — період розрахунку [7].

Комплексна модернізація типового укриття площею 500 м², включаючи утеплення, заміну систем опалення та встановлення PV-системи, забезпечує економію енергії до 45% та скорочення експлуатаційних витрат на 35%, з терміном окупності 6–8 років [8].

Модернізація об'єктів цивільного захисту:

- знижує експлуатаційні витрати на 20–40 %;
- підвищує безпеку та комфорт перебування;
- збільшує час автономної роботи споруди;
- сприяє збереженню життя громадян під час надзвичайних ситуацій;
- підвищує загальну стійкість міських інженерних систем.

Ці принципи відповідають підходам, визначеним у Європейській директиві про енергоефективність будівель (EPBD) та сучасних стандартах цивільної оборони [1, 9]. Сучасна модернізація передбачає інтеграцію автоматизованих систем: моніторинг параметрів мікроклімату, дистанційне керування вентиляцією і опаленням, контроль роботи генераторів і акумуляторних станцій, діагностика стану конструкцій та інженерних мереж. Це дозволяє зменшити споживання енергії шляхом оптимізації режимів роботи обладнання.

Висновки

Модернізація існуючих об'єктів цивільного захисту з підвищенням енергоефективності: забезпечує значну економію енергоресурсів; підвищує автономність і надійність функціонування в кризових умовах; сприяє покращенню мікроклімату та комфорту перебування людей; зменшує експлуатаційні витрати та підвищує загальну ефективність використання об'єктів. Комплексне оновлення конструкцій, вентиляційних систем, автономних джерел енергії та водозабезпечення дозволяє значно підвищити готовність укриттів до тривалого використання в умовах надзвичайних ситуацій. Реалізація таких заходів має стати пріоритетом державних та місцевих програм розвитку інфраструктури безпеки. Комплексний підхід до модернізації з урахуванням енергозберігаючих технологій та ВДЕ є ключовим для розвитку сучасної системи цивільного захисту України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. – Відомості Верховної Ради України, 2013, № 34–35. – С. 458.

2.Державні будівельні норми України. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. – Київ: Мінрегіон України, 2023.

3.Колесник А.В., Томчук М.А., Томчук М.М. Особливості влаштування захисних споруд в умовах військового часу. [Електронний ресурс] / А.В. Колесник, М.А. Томчук / Міжнародно науково-практична інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців. Молодь в науці: дослідження, пробле-ми, перспективи (МН-2024) (2024) Вінниця, ВНТУ.

Режим доступу: https://confere nces.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/21538.

4. Томчук М.А., Колесник А.В., Записов Д.В. Особливості влаштування систем вентиляції в захисних спорудах в умовах військового часу. VII Міжнародної науково-практичної конференції Актуальні проблеми та перспективи розвитку охорони праці, Безпеки життєдіяльності та цивільного захисту (29-30 квітня 2025 р.) м. Одеса.

Режим доступу: https://odaba.edu.ua/upload/files/Programa_konf_ohorona_pratsi2025.pdf.

5. Джеджула В.В. 2023 Особливості влаштування вентиляції в захисних спорудах цивільного захисту. Сучасні технології і конструкції в будівництві, 35, 2 (груд. 2023), 185-189 DOI:https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-185-189.

6. Колесник А. В., Записов Д. В., Терещенко О. П.. Способи підвищення надійності та комфортності укриттів для особового складу на основі досвіду військових дій» Міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту», секція: Проблеми проектування, виготовлення та експлуатації озброєння, Вінниця, 3-5 червня 2025 р. – Електрон. текст. дані. – 2025.
https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2025/paper/view/24919/20599

7.World Bank. Energy Efficiency in Residential Buildings: Long-term Economic Impact Assessment. – Washington, 2023.

8. Melnyk, O., & Didenko, S. Urban Resilience and Civil Protection in Ukrainian Cities under Wartime Conditions. – Architecture and Civil Engineering Review, 2023, 12(4), 33–42.

9.Фонд Енергоефективності. Типові рішення по термомодернізації житлових будинків. Альбом технічних рішень. ТОМ2. Архітектурно-будівельні рішення по влаштуванню фасадів, покриттів, перекриттів, підлог, влаштуванню вікон і дверей. 2020 – Київ, 2021.

Андрій Вікторович Колесник – асистент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, ORCID 0009-0000-8001-2527, м. Вінниця,
e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Любич Володимир Володимирович – асистент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Kolesnik Andrii V. - assistant professor in the departments of construction, municipal infrastructure and architecture, and a full-time lecturer at the Vinnytsia National Technical University, ORCID 0009-0000-8001-2527, Vinnytsia, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.

Lyubich Volodymyr V. – Ph.D., associate professor of urban planning and architecture, Vinnytsia National Technical University. E-mail: e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

УДК: 72.035

А. В. Балинська[1]
В. П. Очеретний[1]
О. І. Хороша[1]

АНАЛІЗ ПАЛАЦОВО-ПАРКОВИХ КОМПЛЕКСІВ ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ XVIII-XIX СТОЛІТТЯ

[1]Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі здійснено аналіз палацово-паркових комплексів Вінницької області, сформованих у XVIII-XIX століттяхі, з урахуванням стилістики, планувальних принципів, історичних передумов та сучасного стану збереження. На основі дисертаційних досліджень, наукових статей та офіційних джерел розглянуто найтиповіші риси класицистичних та неокласицистичних садиб Поділля, серед яких визначальне місце займають Немирівський палац Щербатової, садиба Грохольських у П'ятничанах, комплекси Тульчинського та інших маєтків. Показано особливості архітектурної композиції, характерних ландшафтних рішень та проблеми сучасного використання та охорони пам'яток.

Ключові слова: Вінниччина, палацово-парковий комплекс, класицизм, маєток, Поділля, архітектурна спадщина.

Abstract

The work analyzes the palace and park complexes of the Vinnytsia region, formed in the 19th century, taking into account the stylistics, planning principles, historical prerequisites, and the current state of preservation. Based on dissertation research, scientific articles, and official sources, the most typical features of classicist and neoclassicist estates of Podillia are considered, among which the Nemyriv Palace of Shcherbatova, the Grokholsky estate in Pyatnychany, the Tulchynsky complexes, and other estates occupy a decisive place. The features of architectural composition, characteristic landscape solutions, and problems of modern use and protection of monuments are shown.

Keywords: *Vinnytsia region, palace and park complex, classicism, estate, Podillia, architectural heritage.*

Вступ

Палацово-паркові комплекси Вінницької області посідають важливе місце в культурній спадщині Поділля, оскільки відображають соціально-економічні, естетичні та політичні процеси XVIII-XIX століття. Розвиток садибної архітектури в регіоні був пов'язаний із діяльністю шляхетських родів, які переймали європейські стильові тенденції та адаптували їх до місцевих традицій. Саме в цей період Поділля сформувало один із найрепрезентативніших ансамблів класицистичних садиб в Україні [1]. Значна частина цих комплексів розташовувалася в сільській місцевості, що було зумовлено аграрним характером економіки та землевласницькою структурою суспільства [1].

Особливе місце серед ансамблів займають Немирівський палац Щербатової, садиба Грохольських у П'ятничанах та менші дворянські комплекси, які зберегли фрагменти ландшафтної та архітектурної структури. Вивчення цих об'єктів дозволяє глибше зрозуміти трансформацію просторової організації, стильових особливостей та функціональних рішень упродовж XIX століття.

Результати дослідження

Аналіз палацово-паркових комплексів Вінницької області XVIII-XIX століття засвідчує, що їх архітектурна та ландшафтна структура формувалися під впливом європейської стилістики, землевласницької культури, соціального становища регіону та природних умов Поділля. Садиби цього періоду зазвичай становили цілісні ансамблі, у яких палац, парк, господарські споруди та під'їзні алеї створювали композиційну систему, побудовану на принципах симетрії, перспективності та гармонійного поєднання з навколишнім ландшафтом.

Більшість палацових резиденцій Поділля орієнтовані на класицистичну традицію, що проявляється

у використанні строгих пропорцій, ордерних елементів, колонних портиків, фронтонів та чітких осей композиції [1]. Саме цей стиль визначав зовнішній вигляд найвідоміших маєтків регіону і формував їх репрезентативний характер. Водночас у другій половині XIX століття активно проникають неокласицистичні та еклектичні тенденції, що спостерігається в палаці Щербатової в Немирові [3].

Палацові будівлі

Немирівський палац, як один із найбільш вивчених об'єктів, демонструє поєднання монументальної неокласицистичної архітектури з палацевими планувальними схемами, характерними для великих європейських резиденцій (рис.1). Основний корпус має чітку симетрію, ритм пілястр, протяжний фасад і розвинуті відкриті тераси, що підкреслюють їхній парадний характер. Значна реконструкція, здійснена Марією Щербатовою, змінила внутрішні приміщення, але залишила первісну архітектурну композицію фасадів [6].

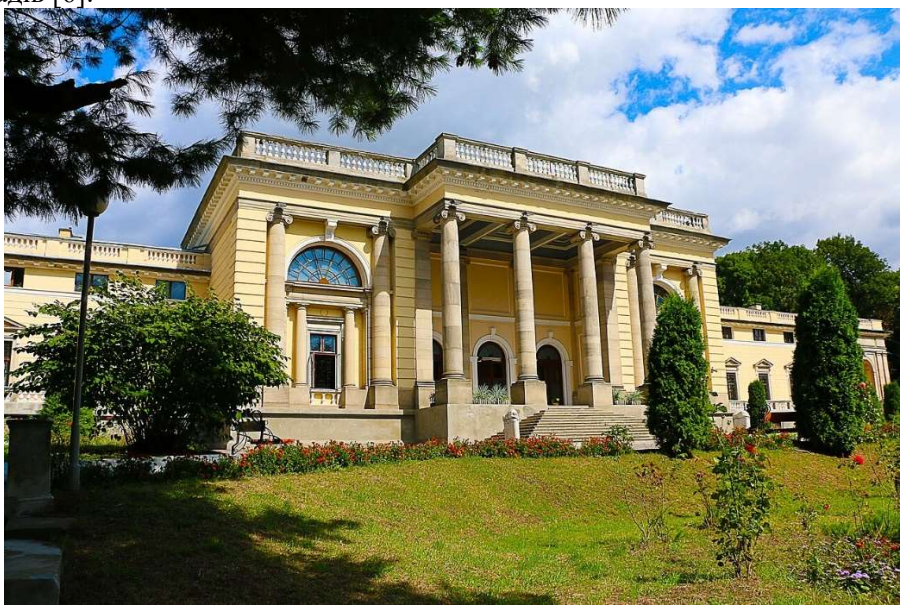


Рис.1 - Палац княгині Щербатової у Немирові (сучасний вигляд)

Палац Грохольських у П'ятничанах відомий своєю регулярною композицією. Хоча частина споруд не збереглася, за описами та архівними матеріалами музейних установ відомо, що центральний об'єм палацу доповнювали флігелі, господарські приміщення та алеї, організовані за суворою симетрією (рис.2) [5].



Рис.2 – Палац Грохольських у П'ятничанах (сучасний вигляд)

Тульчинський палац Потоцьких - один із наймасштабніших палацово-паркових комплексів Поділля, що за масштабом і архітектурними особливостями наближається до західноєвропейських королівських резиденцій. Центральний двоповерховий корпус, збудований у стилі раннього класицизму, вирізняється монументальним шестиколонним портиком коринфського ордера, суворою симетрією та чіткою геометрією фасадів. Первісний регулярний парк мав пряму під'їзну алею, партер перед головним входом і систему бічних алей, що формували видові коридори у бік навколишнього ландшафту. Значна частина паркової композиції була втрачена у XX столітті, проте збережені фрагменти підтверджують первісну геометричну структуру ансамблю (рис.3) [1].

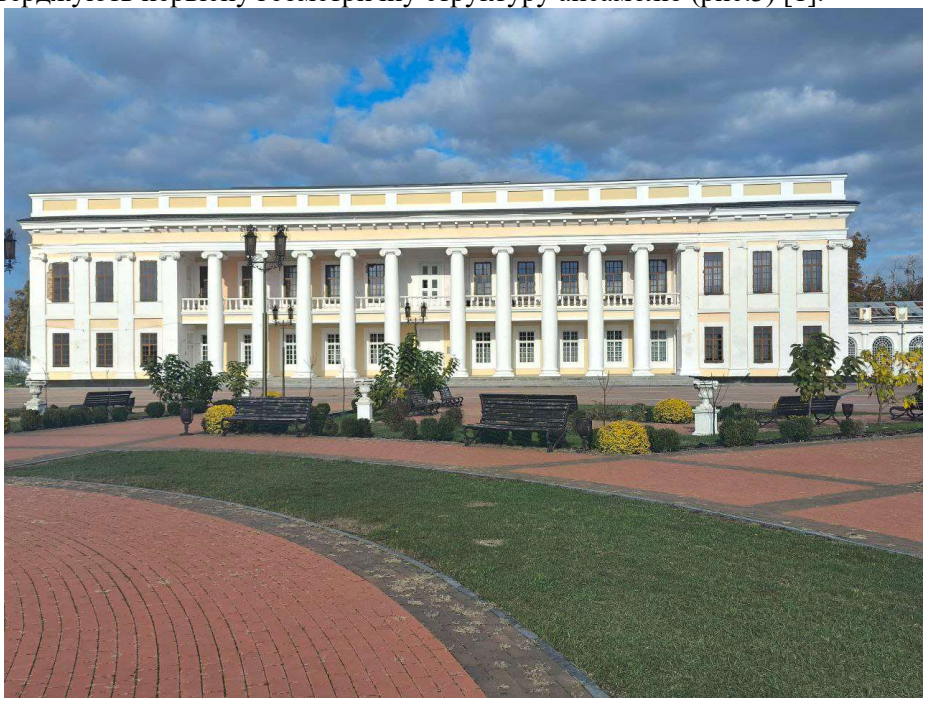


Рис.3 – Палац Потоцьких, головний корпус (сучасний вигляд)

Парки та ландшафтні рішення

Ландшафтні компоненти відігравали важливу роль у формуванні художнього образу садиби. У Немирівському парку, площа якого була доведена до 85 га, домінує ландшафтний стиль з хвилястим рельєфом, видовими точками, відкритими галявинами, каскадом озер та великою кількістю декоративних дерев і рідкісних ботанічних видів [4]. Таке планування відповідало модернізації європейських парків кінця XIX століття.

Для садиб Грохольських характерна поєднаність регулярної частини перед палацом та вільної ландшафтної у глибині парку. Такий комбінований прийом був типовим для Поділля, оскільки дозволяв одночасно демонструвати статус власників і створювати комфортний природний простір для відпочинку.

У малих садибах парки були компактні, із домінуванням фруктових і декоративних дерев, інколи з невеликими водоймами та господарськими зонами. Однак навіть у них прослідковується вплив європейських тенденцій - подовжені перспективи алеї, декоративні групи насаджень, місця для прогулянок.

Композиційні принципи та функціональне зонування

У досліджених комплексах чітко виділяються такі компоненти:

- парадна зона перед палацом;
- головна композиційна вісь;
- під'їзна алея (часто липова);
- парк (регулярний або ландшафтний);
- господарська зона на периферії;
- водойма, орієнтована на формування видового акценту;
- допоміжні будівлі (флігелі, стайні, льодовні).

Така структура була майже універсальною для подільських маєтків і відповідала функціональності садибного комплексу як резиденції, господарського центру й осередку соціального життя [1].

Сучасний стан збереження

Більшість об’єктів перебуває у стані від частково збережених до аварійних. Немирівський палац зберігся відносно добре, але зазнав значних трансформацій у XX столітті, що призвело до втрати первісних інтер’єрів [6]. Частина споруд садиби Грохольських використовується під інші потреби, парк фрагментарно реконструйований.

Дослідники наголошують, що основними проблемами є:

- відсутність системної реставрації;
- руйнування через неправильне використання;
- часткова втрата ландшафтної структури;
- обмежене фінансування;
- нестача фахових програм з ревіталізації [2].

Попри це, комплекси зберігають величезний культурний потенціал як туристичні, історичні та освітні об’єкти.

Висновки

Палацово-паркові комплекси Вінницької області XVIII-XIX століття репрезентують значний пласт культурної спадщини, який сформувався під впливом європейських стильових традицій та місцевих соціально-економічних умов. Їх архітектура відображає перевагу класицистичної композиції, гармонійне поєднання палацу та ландшафту, продумане функціональне зонування та розвинену садибну культуру.

Сучасний стан збереження таких комплексів потребує комплексного підходу, що включає реставрацію, адаптацію до сучасних потреб, розробку охоронних стратегій та ширше залучення культурно-освітніх програм. Ці об'єкти мають значний потенціал для розвитку туристичної сфери, регіональної ідентичності та освітнього простору, і їхнє збереження є важливою складовою культурної політики регіону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хороша О. І. Архітектура класицистичних палацово-паркових комплексів Вінниччини кінця XVIII - початку XX століття. Дисертація. Львівська політехніка. https://old.lpnu.ua/research/disscoun/d-3505211/horosha-oksana-ivanivna
2. Історико-архітектурне середовище Вінниччини: наукові матеріали ВНТУ. https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/31771
3. Немирівський палац. Вікіпедія. https://uk.wikipedia.org/wiki/Немирівський_палац
4. Палац Щербатової. Історичні та ботанічні відомості. https://etnosvit.com/uk/palats-hrafyni-shcherbatovoyi
5. Садиба Грохольських (П’ятничани). Вінницький обласний краєзнавчий музей. https://vinnytsia-museum.in.ua
6. Немирівський палац у XX столітті: трансформації та використання. https://vn.20minut.ua

Балинська Анастасія Володимирівна **-** студентка групи БМ-23б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nastiabalynska@gmail.com.

Очеретний Володимир Петрович - канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: ocheretny@vntu.edu.ua.

Хороша Оксана Іванівна - кандидат архітектури, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: korosha@vntu.edu.ua.

Balynska Anastasia V. - student of the BM-23b group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nastiabalynska@gmail.com.

Ocheretny Vladimir P. - PhD, Associate Professor, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: ocheretny@vntu.edu.ua

Khorosha Oksana - PhD, senior lecturer of department construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: korosha@vntu.edu.ua.

УДК 691.5:620.17

О. В. Бондар

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ І БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ У СКЛАДІ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто технологічні особливості використання відходів промисловості та будівельного лому у виробництві сухих будівельних сумішей. Проаналізовано процес переробки вторинних заповнювачів, включаючи дроблення, сортування, сушіння та механічну активацію, що наведено на технологічній схемі (рис. 1). Досліджено вплив золи-винесення та переробленого мінерального заповнювача на фізико-механічні характеристики композиційних сумішей. Показано, що введення 10–25 % золи та 20–40 % ресайклінг-заповнювача підвищує міцність на стиск на 12–18 %, знижує водопотребу на 8–12 % і покращує структуру цементної матриці, що підтверджено результатами графічних залежностей (рис. 2) та узагальненими даними (табл. 1–2). Отримані результати підтверджують технологічну та екологічну доцільність застосування вторинної сировини у виробництві сухих будівельних сумішей.

Ключові слова: сухі будівельні суміші, зола-винесення, вторинні заповнювачі, будівельний лом, механічна активація, технологія виробництва, міцність, водопотреба.

Abstracts

The paper considers the technological features of the use of industrial waste and construction scrap in the production of dry building mixtures. The process of processing secondary aggregates, including crushing, sorting, drying and mechanical activation, is analyzed, which is shown in the technological scheme (Fig. 1). The influence of fly ash and recycled mineral aggregate on the physical and mechanical characteristics of composite mixtures is studied. It is shown that the introduction of 10–25% fly ash and 20–40% recycled aggregate increases the compressive strength by 12–18%, reduces water consumption by 8–12% and improves the structure of the cement matrix, which is confirmed by the results of graphical dependencies (Fig. 2) and generalized data (Tables 1–2). The results obtained confirm the technological and environmental feasibility of using secondary raw materials in the production of dry building mixtures.

Key words: dry construction mixes, fly ash, secondary aggregates, construction scrap, mechanical activation, production technology, strength, water consumption.

Вступ

Сучасне будівництво потребує матеріалів із підвищеною технологічною та експлуатаційною ефективністю при одночасному зниженні вартості та екологічного навантаження. Значні обсяги промислових і будівельних відходів в Україні створюють актуальну потребу в розвитку технологій їх переробки та повторного використання. Особливий інтерес становлять зола-винесення, шлаки та ресайклінг-заповнювачі, які можуть частково або повністю замінювати природні компоненти сухих будівельних сумішей [1-4].

Проблематика полягає у визначенні оптимальних технологічних режимів підготовки вторинної сировини, забезпеченні стабільності показників сумішей та збереженні потрібних фізико-механічних властивостей [5-8]. Тому дослідження впливу вторинних матеріалів на технологічні процеси та структуроутворення сухих сумішей [9] є важливим для підвищення ефективності та екологічної безпеки сучасного будівництва.

Результати дослідження

Використання відходів промисловості та будівельного лому у складі сухих будівельних сумішей (СБС) є одним із ключових напрямів сучасного ресурсозберігаючого будівництва. Згідно з результатами досліджень [6-7] найбільш ефективними компонентами є зола-винесення ТЕС, доменні та металургійні шлаки, а також мінеральний пісок, отриманий шляхом ресайклінгу бетонного та цегляного бою [8].

Технологічний процес переробки вторинних заповнювачів є багатоступеневим і включає: дроблення на первинній та вторинній стадіях, сортування на фракції 0–2 та 2–5 мм, сушіння до

постійної маси при 105–110°С, механічну активацію та подальше змішування у турбоміксерах. Узагальнену технологічну схему наведено на рисунку 1.

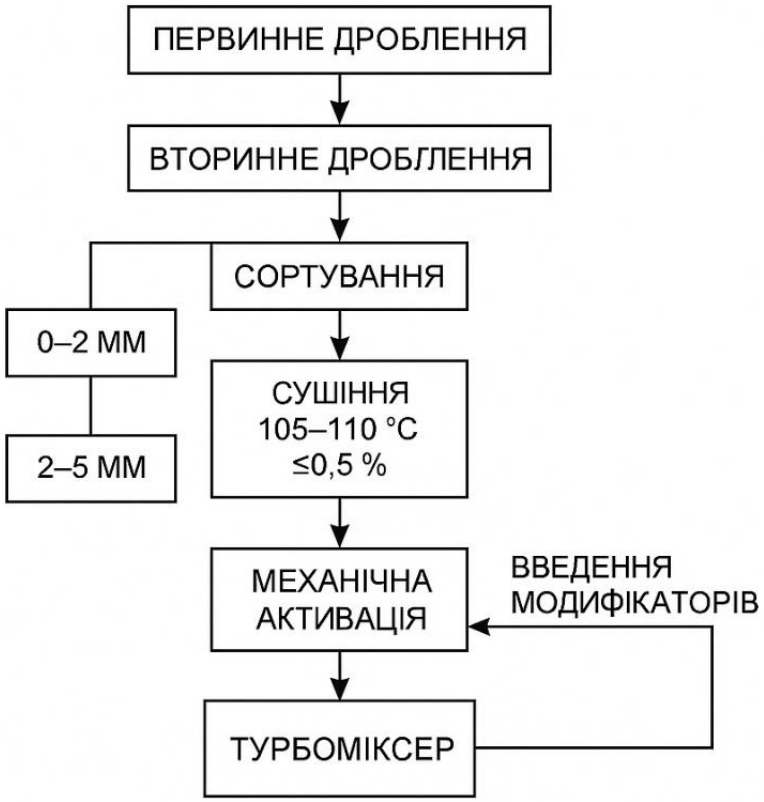


Рисунок 1 – Технологічна схема переробки вторинних мінеральних заповнювачів для використання в сухих будівельних сумішах

Попереднє фракціонування та активація вторинних компонентів дозволяє знизити водопотребу та підвищити реологічні властивості сумішей. Як показано в таблиці 1, введення ресайклінг-заповнювачів у кількості 20–40% та часткова заміна цементу золою (10–25%) забезпечують суттєве перерозподілення фракцій, що впливає на ущільнення структури цементного каменю [8].

Таблиця 1 – Компонентний склад сухих сумішей із вторинними матеріалами

Компонент	Базова суміш	Із ЗВ	Із РЦ-заповнювачем
Цемент, %	40	38	37
Зола-винесення, % (ЗВ)	–	20	10
Перероблений пісок, % (РЦ)	–	–	40
Природний пісок, %	58	40	12
Модифікатори, %	2	2	1

Ефективність модифікації підтверджується порівнянням фізико-механічних властивостей сумішей (табл. 2). Зокрема, міцність при стиску зростає на 12–18 %, що продемонстровано на побудованому графіку міцності (рис. 2), а водопотреба зменшується при введенні золи або переробленого піску (рис. 3).

Таблиця 2 – Технологічні властивості сумішей

Показник	Базова	Із ЗВ	Із РЦ-заповнювачем
Рухливість, мм	130	140	145
Водопотреба, %	100	92	88
Міцність при стиску, МПа	18.5	21.2	20.8
Усадка, мм/м	0.42	0.36	0.34

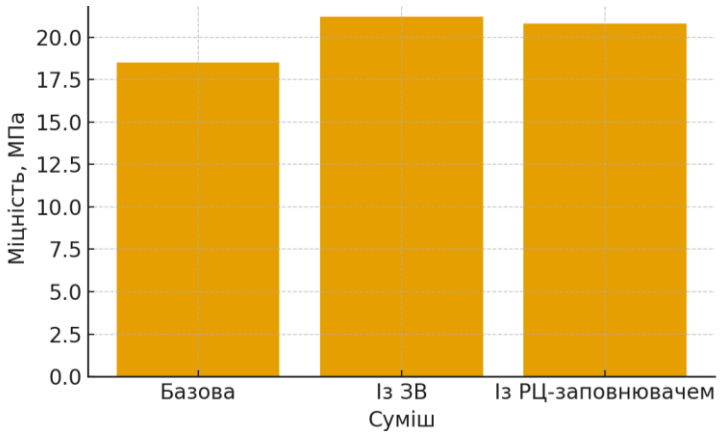


Рисунок 2 – Міцність сухих будівельних сумішей

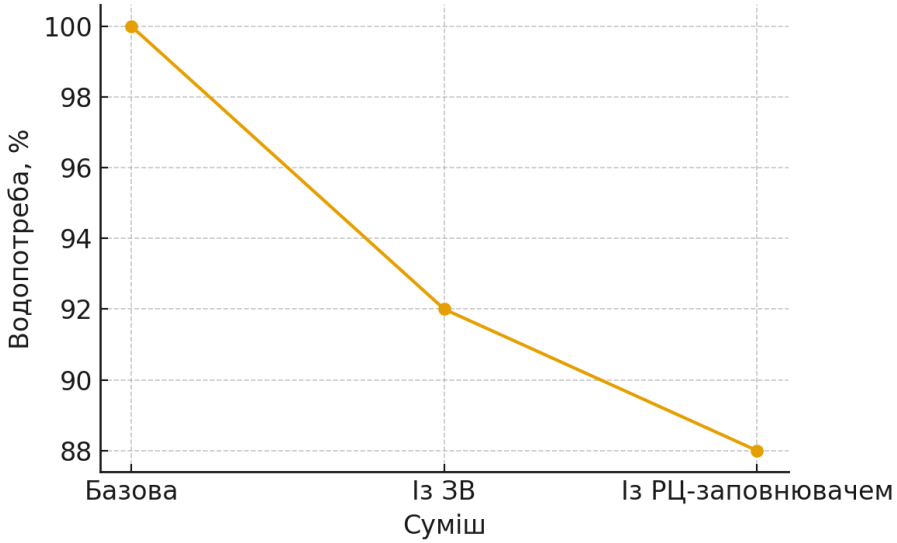


Рисунок 3 – Вплив вторинних компонентів на водопотребу сумішей

Мікроструктурні дослідження свідчать, що дрібні сферичні частинки золи виконують функцію центрів кристалізації та сприяють формуванню щільнішої матриці цементного каменю. Схематичну модель структури матриці наведено на рисунку 4.

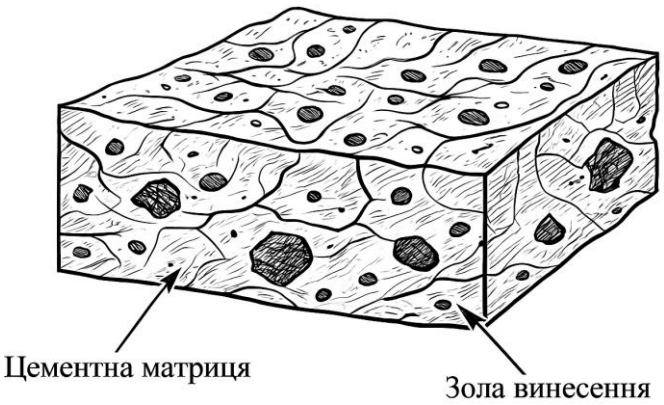


Рисунок 4 – Мікроструктура цементної матриці із частинками золи-винесення

Таким чином, результати досліджень підтверджують, що застосування відходів промисловості та будівельного лому як активних мінеральних добавок і заповнювачів забезпечує покращення технологічних і експлуатаційних характеристик сухих будівельних сумішей, а також сприяє зменшенню собівартості та екологічного навантаження на довкілля..

Висновки

1. Впровадження золи-винесення та ресайклінг-заповнювачів у склад сухих будівельних сумішей є технологічно обґрунтованим і сприяє підвищенню міцності та зменшенню водопотреби.

2. Попередня підготовка вторинних матеріалів за технологічною схемою (рис. 1) забезпечує однорідність і стабільність сумішей.

3. Результати, наведені у таблицях 1–2, підтверджують ефективність застосування 20–40 % переробленого матеріалу та 10–25 % золи.

4. Мікроструктурні дослідження (рис. 3) демонструють покращену щільність структури та рівномірність розподілу частинок.

5. Використання вторинної сировини зменшує екологічний вплив будівельної галузі та собівартість виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Л. Й. Дворкін, В. В. Житковський і В. В. Марчук, «Ефективні сухі будівельні суміші та розчини на їх основі: монографія», Київ: Каравела, 2024, 348 с.
2. Л. Й. Дворкін, К. К. Пушкарьова, О. Л. Дворкін і М. О. Кочевих, «Використання техногенних продуктів у будівництві: навчальний посібник», Рівне: НУВГП, 2009, 330 с.
3. Ю. Г. Гасан, М. А. Мохорт і М. В. Суханевич, «Будівельні матеріали з відходів паливно-енергетичної, гірничо-видобувної та збагачувальної промисловості: конспект лекцій», Київ: КНУБА, 2009, 60 с.
4. Л. Й. Дворкін і А. В. Мироненко, «Будівельні матеріали та вироби із застосуванням промислових відходів: навчальний посібник», Рівне: НУВГП, 2019, 298 с.
5. А. В. Бондар, В. П. Ковальський, В. П. Бурлаков, та Є. Р. Матвійчук, «Утилізація відходів промисловості шляхом виготовлення на їх основі сухих будівельних сумішей», *Екологічні науки: науково-практичний журнал,* No 3 (22), с. 21-24, 2018.
6. А. В. Бондар, О. В. Христич, О. В. Бондар, і І. В. Сафроненко, «Перспективи використання вторинних відходів будівельної галузі у виробництві сухих будівельних сумішей», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, No 36, 1, с. 64-70, 2024. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-1-64-70.
7. А. В. Бондар, Н. Ю. Іродова і О. В. Бондар, «Ефективність використання місцевих матеріалів та відходів промисловості для виготовлення сухих будівельних сумішей», LIV Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінниця, 24–27 березня 2025 р. URL: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/24493/2024511
8. О. В. Бондар, і О.В. Христич, «Заповнювачі для сухих будівельних сумішей з продуктів ресайклінгу будівельного лому», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, №38 (1), с. 45–50, 2025. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2025-1-45-50
9. ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови. Чинний від 2011-06-01. Вид. офіц. К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. 42 с.

Бондар Олександр Васильович **–** аспірант, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: alexbondar.phdoc@gmail.com

Науковий керівник: Христич Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: khristych@vntu.edu.ua

Bondar Oleksandr **–** postgraduate student, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: alexbondar.phdoc@gmail.com

Scientific advisor: Khristych Oleksandr **–** Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: khristych@vntu.edu.ua

УДК 625.85

М. О. Рубенко
А. В. Бондар

ЕФЕКТИВНІ СУЧАСНІ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі представлено огляд сучасних дорожньо-будівельних матеріалів, що застосовуються для улаштування конструкцій дорожнього одягу в умовах підвищених інтенсивностей руху та складних кліматичних впливів. Розглянуто властивості та переваги полімермодифікованих бітумів, фіброасфальтобетонів, високоміцних цементобетонів, а також геосинтетичних матеріалів, що забезпечують армування та стабілізацію основи. Наведено порівняльні характеристики матеріалів. Встановлено, що інноваційні домішки, наночастинки і вторинні ресурси підвищують довговічність дорожніх покриттів та сприяють їх екологічній стійкості.

Ключові слова: дорожні покриття, модифікований бітум, фіброасфальтобетон, геосинтетики, ресайклінг, цементобетон, дорожні матеріали.

Abstracts

The paper presents an overview of modern road construction materials used for the construction of road pavement structures in conditions of increased traffic intensity and complex climatic influences. The properties and advantages of polymer-modified bitumens, fiber-asphalt concretes, high-strength cement concretes, as well as geosynthetic materials that provide reinforcement and stabilization of the base are considered. Comparative characteristics of the materials are presented. It is established that innovative additives, nanoparticles and secondary resources increase the durability of road surfaces and contribute to their environmental sustainability.

Key words: road surfaces, modified bitumen, fiber-reinforced asphalt concrete, geosynthetics, recycling, cement concrete, road materials.

Вступ

Сучасні автомобільні дороги функціонують в умовах високих транспортних навантажень, значної добової нерівномірності руху та дії кліматичних факторів, що зумовлює зростання вимог до властивостей дорожньо-будівельних матеріалів. Традиційні асфальтобетонні суміші не забезпечують необхідного рівня тріщиностійкості, водостійкості та стійкості до колієутворення, особливо за інтенсивного вантажного руху.

Тому актуальним є впровадження матеріалів нового покоління: полімермодифікованих в’яжучих, дисперсно-армованих асфальтобетонів, високотехнологічних цементобетонів, композитних домішок і геосинтетиків [1-4]. Важливого значення набувають технології холодного ресайклінгу, застосування золи-виносу, шлаків, гумової крихти, а також нанодобавок, що дозволяють знизити собівартість та підвищити довговічність дорожніх конструкцій [5-12].

Результати дослідження

Сучасні дорожньо-будівельні матеріали формують основу підвищення експлуатаційної надійності автомобільних доріг, оскільки саме вони визначають тривалість міжремонтних циклів, стійкість до втомних процесів, інтенсивного транспортного навантаження та температурних впливів. Центральне місце у сучасних дорожніх технологіях займають полімермодифіковані бітумні в’яжучі [1, 4, 5], структура та властивості яких дозволяють підвищити еластичність покриття та забезпечити йому стійкість до дії високих температур.

Порівняльні характеристики звичайного та полімермодифікованого бітумів наведені у таблиці 1, з якої видно, що модифікація полімером типу СБС забезпечує зростання температури розм’якшення на 10–15 °С та зменшує глибину проникнення голки, що свідчить про підвищення структурної стабільності. Відповідно до температурної діаграми (рисунок 1) полімермодифіковане в’яжуче демонструє значно вищу відносну стабільність у діапазоні від –10 до +60 °С, що є критично важливим для умов експлуатації українських автомобільних доріг.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики бітумів

Показник	Звичайний бітум	Полімермодифікований (СБС)
Температура розм’якшення, °С	45–50	55–65
Глибина проникнення голки (0,1 мм)	50–70	30–45
Еластичність при 25 °С, %	5–10	30–50
Стійкість до колієутворення	Середня	Висока
Тріщиностійкість при –20 °С	Низька	Висока

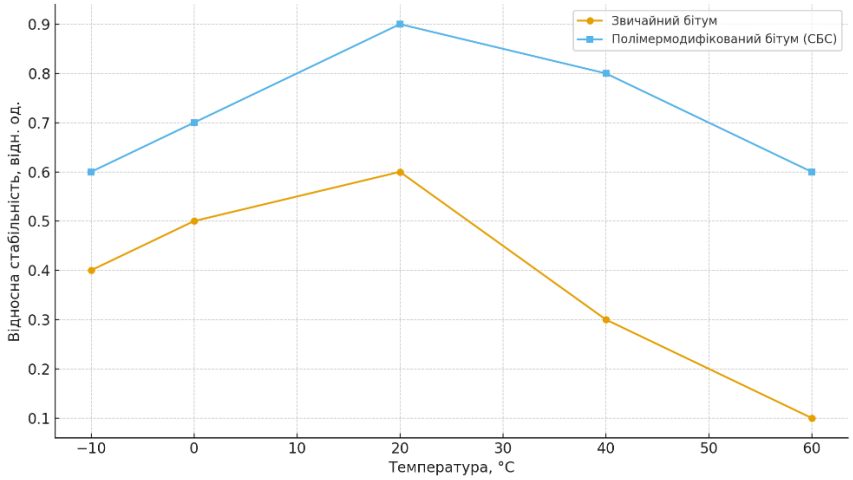


Рисунок 1 – Температурна стійкість бітумів

Водночас у складі асфальтобетонних сумішей все ширше застосовуються дисперсні армувальні волокна [2], які створюють всередині матеріалу просторовий каркас та перешкоджають розвитку мікротріщин. Описаний механізм показано на рисунку 2, де волокна виконують роль мікроармування, що з’єднує незначні дефекти структури та забезпечує рівномірний перерозподіл напружень.

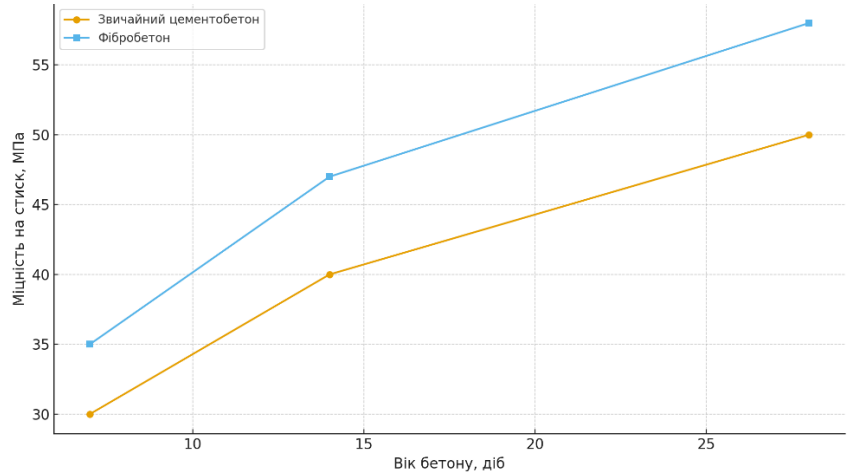


Рисунок 2 – Зростання міцності цементобетону та фібробетону

Підвищення механічних властивостей підтверджується експериментальними даними, наведеними у таблиці 2: міцність на розтяг за непрямим методом збільшується з 1,3–1,6 МПа для традиційної суміші до 1,9–2,2 МПа для сумішей, армованих базальтовими волокнами. Також суттєво зростає втомна довговічність, що відображено й на логарифмічній діаграмі втомного руйнування (рисунок 3), де видно різницю між звичайним асфальтобетоном і армованою композицією.

Таблиця 2 – Вплив волокон на властивості асфальтобетону

Властивість	Без волокон	З базальтовим волокном
Міцність при розтязі, МПа	1,3–1,6	1,9–2,2
Втомна довговічність	Низька	Підвищена у 1,5–2 рази
Схильність до тріщин	Висока	Знижена
Стійкість до колій	Середня	Підвищена

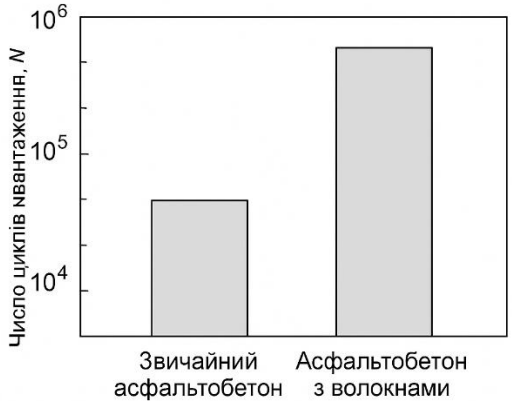


Рисунок 3 – Втомна довговічність асфальтобетону

Поряд з асфальтобетонними матеріалами активно розвиваються цементобетонні дорожні покриття, у структурі яких використовуються як традиційні цементні системи, так і фібробетонні композиції. На рисунку 4 наведено порівняння зростання міцності звичайного цементобетону та фібробетону протягом 7–28 діб [4]. Динаміка свідчить, що введення волокон не лише підвищує початкову густинність структури, але й забезпечує інтенсивніше наростання міцності в часі, що є важливим при реалізації прискорених технологій будівництва.

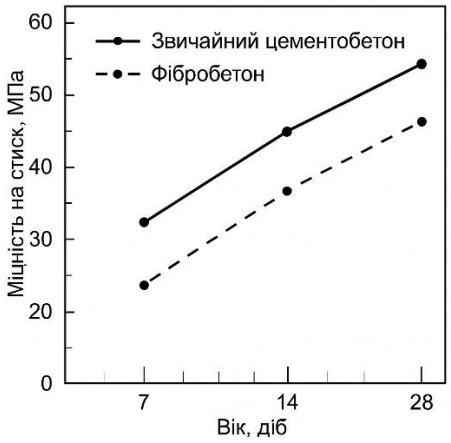


Рисунок 4 – Зростання міцності цементобетону та фібробетону

Важливою складовою сучасних дорожніх конструкцій є використання геосинтетичних матеріалів, які підвищують несучу здатність основи та зменшують нерівномірність деформацій [3, 7]. Роботу георешітки у структурі основи продемонстровано на рисунку 5, з якого видно, що георешітка виконує функцію арматурного каркаса, розподіляючи навантаження та перешкоджаючи зсувним деформаціям у шарі ЩПС або щебеневої основи. Таким чином, геосинтетики дозволяють зменшити товщину конструктивних шарів при збереженні їх механічної ефективності.

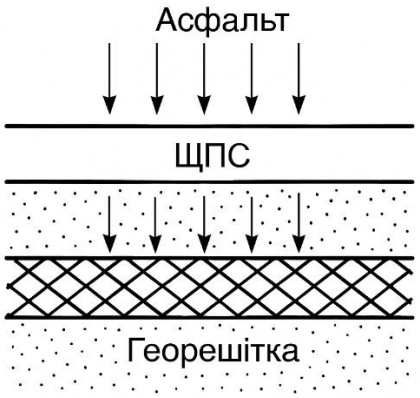


Рисунок 5 – Схема роботи георешітки в шарі основи дорожнього одягу

Значний розвиток у дорожньому будівництві отримали технології ресайклінгу [8, 11], зокрема холодного, що передбачає переробку старого асфальтобетону з подальшим змішуванням його з цементом, емульсією або піноасфальтом [9, 12]. Технологічна схема процесу наведена у рисунку 6, де показано основні етапи – фрезерування зношеного покриття, змішування із в'яжучими та укладання ресайклінг-суміші в конструкцію нової основи дорожнього одягу. Застосування цієї технології дає змогу зменшити витрати природних матеріалів, скоротити обсяг ремонту та мінімізувати вплив на довкілля.

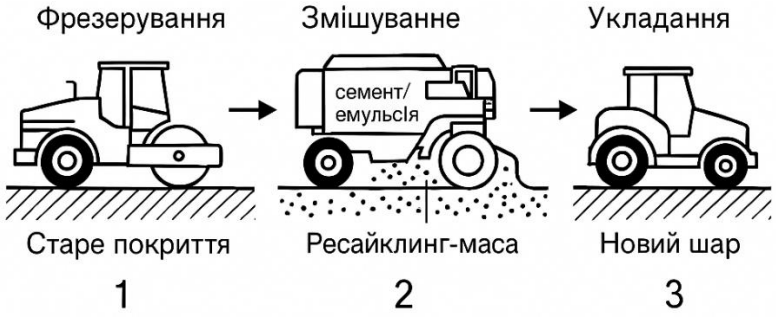


Рисунок 6 – Технологічна схема холодного ресайклінгу (Cold Recycling)

Використання золи-винесення як активного мінерального порошку в асфальтобетоні [10] забезпечує покращення адгезії, ущільнюваності та водостійкості сумішей. Це дозволяє зменшити залежність від вапнякового порошку та використовувати промислові відходи.

У сукупності використання модифікованих в'яжучих, дисперсного армування, геосинтетичних елементів та технологій ресайклінгу формує комплекс сучасних технологічних рішень, спрямованих на підвищення довговічності, екологічності та економічної ефективності дорожніх покриттів.

Висновки

1. Полімермодифіковані бітумні в'яжучі забезпечують підвищення температури розм'якшення з 45–50 °С до 55–65 °С та зменшення глибини проникнення голки до $30–45 \cdot 10^{-1}$ мм, що свідчить про зростання структурної стабільності матеріалу. Температурна стабільність у діапазоні –10…+60 °С на 25–40% вища, ніж у звичайних бітумів.

2. Фіброасфальтобетон демонструє збільшення міцності при розтязі за непрямим методом з 1,3–1,6 МПа до 1,9–2,2 МПа, а втомна довговічність зростає з 10^4 до 3×10^5 циклів. Базальтові та поліпропіленові волокна забезпечують зменшення інтенсивності розвитку мікротріщин на 30–50%.

3. Фібробетонні дорожні суміші досягають міцності 35 МПа на 7 добу, 47 МПа на 14 добу та 58 МПа на 28 добу, що на 10–15% вище за аналогічні показники звичайного цементобетону. Це дозволяє застосовувати їх у швидкісних технологіях ремонту доріг та аеродромів.

4. Георешітки у складі основи збільшують модуль пружності шару на 20–35%, зменшують вертикальні деформації на 18–25%, а також скорочують товщину щебеневого шару на 15–20% без втрати несучої здатності.

5. Технологія холодного ресайклінгу дозволяє повторно використовувати 100% фрезерованого матеріалу, стабілізованого цементом (2–4%), піноасфальтом або емульсією (3–5%). Застосування ресайклінгу знижує споживання природних матеріалів на 25–45% і забезпечує модуль пружності основи на рівні E = 600–1200 МПа.

6. Загальний аналіз матеріалів підтверджує, що інноваційні дорожньо-будівельні рішення забезпечують зростання ресурсу дорожнього одягу на 30–50%, підвищення стійкості до колієутворення в 1,5–2 рази та зниження витрат на ремонт на 20–35% за рахунок застосування композитних, модифікованих і армованих матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мироненко С. В., Ласка Р. В., Твердохліб О. Л. Асфальтобетон на модифікованому бітумі. URL: https://mx.odaba.edu.ua/bitstream/123456789/2249/1/Мироненко%20С.%20В.,%20Ласка%20Р.%20В.,%20Твердохліб%20О.%20Л.%20Асфальтобетон%20на%20модифікованому%20бітумі.pdf

2. Chen H., Xu Q., Chen S., Zhang Z. Evaluation and design of fiber-reinforced asphalt mixtures. Materials & Design, 2009; 30(7): 2595–2603. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261306908004901

3. Geosynthetic Institute. URL: https://geosynthetic-institute.org/
4. Marcin Gajewski, Renata Horodecka. Реологічні властивості дорожніх модифікованих природним асфальтом. URL: https://nidi.org.ua/files/upload/%D0%94%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B8%20%D1%96%20%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%2017_2018_93-109_%D1%83%D0%BA%D1%80.%D0%B0%D0%BD%D0%B3.pdf
5. Кіщинський С.В. Реологічні властивості асфальтобетонів, модифікованих композиційною добавкою на основі вторинного поліетилену Полідом. *Дороги і мости*. Київ, 2016. Вип. 16. С. 52-69.
6. Бєлятинський А. О., Краюшкіна К. В. Фізико-хімічна механіка дорожньо-будівельних матеріалів : навч. посібник. К. : НАУ, 2016. 244 с.
7. Кулик І. В., Фоменко О. О. Геосинтетичні матеріали у конструктивних шарах дорожнього одягу автомобільних доріг. Зб. наук. пр. 86-ї міжн. конф., ХНАДУ, 2024, с. 97. URL: https://rcf.khadi.kharkov.ua/fileadmin/user_upload/Zbirnik_conf_stud_2024.pdf
8. Самарець С. О., Федоров С. В., Костін Д. Ю. Застосування технології холодного ресайклінгу під час капітального ремонту дорожніх одягів. Зб. наук. пр. 86-ї міжн. конф., ХНАДУ, 2024, с. с. 133. URL: https://rcf.khadi.kharkov.ua/fileadmin/user_upload/Zbirnik_conf_stud_2024.pdf
9. Пащенко І. В., Ярещенко Н. В. Підвищення довговічності асфальтобетонного шару покриття дорожнього одягу під час ремонту автомобільної дороги. Зб. наук. пр. 86-ї міжн. конф., ХНАДУ, 2024, с. 115. URL: https://rcf.khadi.kharkov.ua/fileadmin/user_upload/Zbirnik_conf_stud_2024.pdf
10. Каськів В. І., Копинець І. В., Соколов О. В. Дослідження золи-винесення електрогенеруючих підприємств з метою її використання як альтернативи вапняковому мінеральному порошку для виробництва асфальтобетонних сумішей. *Дороги і мости : збірник наукових праць.* 2021. Вип. 24. С. 40–47.
11. Ілляш С. І., Мудриченко А. Я., Балашов О. І. Використання акрилової кополімерної добавки Soil Stabilization Plus для приготування сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу та щебенево-піщаних сумішей у шарах основи дорожнього одягу. *Дороги і мости : збірник наукових праць.* 2021. Вип. 24. С. 48–59.
12. Головко С. К. Дослідження способів повторного використання дорожньо-будівельних матеріалів при ремонті дорожніх одягів капітального типу. *Дороги і мости : збірник наукових праць.* 2021. Вип. 24. С. 60–68.

Рубенко Максим Олександрович – студент групи АДВ-24б, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vinitsa218@gmail.com

Бондар Альона Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

Rubenko Maksym – student of group ADV-24b, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vinitsa218@gmail.com

Bondar Alena – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

УДК 624.01

Я. М. Бевз

СЕНДВІЧ-ПАНЕЛІ — СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЛЯХ

ТОВ «ВІНТЕК БУД»

Анотація

Розглянуто енергоефективні властивості сендвіч-панелей (СП), вплив теплоізоляційних матеріалів (PIR, PUR, мінеральна вата), роль замкових з'єднань, герметичності та монтажних рішень на загальний опір теплопередачі огороджувальних конструкцій. Показано, що СП є елементом сучасного енергоефективного промислового будівництва.

Ключові слова: сендвіч-панелі, енергоефективність, теплопередача, містки холоду, PIR, мінеральна вата, герметичність, монтаж.

Abstract

This paper examines the energy-efficient properties of sandwich panels (SPs), including the influence of thermal insulation materials (PIR, PUR, mineral wool), the role of joint connections, hermeticity, and installation solutions on the overall thermal resistance of building envelope structures. It is shown that SPs are a key element in modern energy-efficient industrial and civil construction.

Keywords: Sandwich panels, energy efficiency, heat transfer, thermal bridges, PIR, mineral wool, hermeticity (airtightness), installation (assembly).

Вступ

В умовах глобальних зусиль, спрямованих на зменшення споживання енергії та пом'якшення наслідків зміни клімату, енергоефективність у будівельному секторі набула першочергового значення.

Огороджувальна конструкція будівлі — фізичний бар'єр між внутрішнім і зовнішнім середовищем — відіграє критичну роль у контролі теплопередачі, що робить вибір матеріалів для зовнішніх стін і даху вирішальним для довгострокових експлуатаційних витрат і комфорту [1-3].

Результати дослідження

Аналіз зосереджений на конкретних факторах, які визначають енергоефективні властивості СП.

Розглянемо критичний вплив різних теплоізоляційних матеріалів — таких як поліізоціанурат (PIR), поліуретан (PUR) та мінеральна вата — на загальний опір теплопередачі панелі [4].

Крім того, ми дослідимо, як конструктивні деталі, включаючи замкові з'єднання, підтримання герметичності та правильні монтажні рішення, є важливими для мінімізації містків холоду. Зрештою, розуміння цих змінних є необхідним для реалізації повного потенціалу СП у створенні високо ізольованих та енергоощадних огороджувальних конструкцій.

Таблиця 1. Порівняння теплотехнічних та експлуатаційних характеристик наповнювачів СП

Характеристика	PIR (Поліізоціанурат)	PUR (Пінополіуретан)	Мінеральна вата (МВ)
Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м·К)	0,022 (найнижчий)	0,029	0,035 - 0,040 (найвищий)
Вогнестійкість	Висока (витримує до 300 ˚С, утворює захисний обвуглений шар).	Середня (витримує до 200 ˚С	Найвища (негорючий матеріал, забезпечує межу EI 60).
Вага 1м^2/t100мм	10,5 кг	10.5кг	16,5 кг

Для того, щоб визначити, які товщини сендвіч-панелей (СП) мають бути, необхідно знати мінімально допустимий приведений опір теплопередачі R_0 для огороджувальних конструкцій

промислових будівель у першій кліматичні зоні, згідно з чинними нормативними документами [5].

Для розрахунку товщини t, мм використовується спрощена формула [6]:

$$t=R_0\times \lambda$$

Візьмемо як мінімально допустимий показник опору теплопередачі для першої кліматичної зони R_0=4,0 м^2×К/Вт

Таблиця 2. Спрощене порівняння співвідношення коефіцієнту теплопровідності та опору теплопередачі відносно товщини наповнювача сендвіч-панелей з різними наповнювачами.

Наповнювач СП	Коефіцієнт теплопровідності (λ), Вт/(м·К)	Необхідна товщина наповнювача для R_0=4,0 м^2·К/Вт	Типові товщини СП для промислових будівель
PIR (Поліізоціанурат)	0,022	Т= 4*0,022=0,088м	100мм
PUR (Пінополіуретан)	0,029	Т= 4*0,029=0,116м	120мм
Мінеральна вата (МВ)	0,037	Т= 4*0,037=0,148м	150мм

Цей графік наочно демонструє, чому PIR є найкращим вибором з погляду енергоефективності та економії матеріалу.

Високий R не є єдиною умовою енергоефективності; критично важливою є мінімальна повітропроникність для усунення конвективних втрат.

Містки холоду (thermal bridges) — це ділянки, де тепловий потік є посиленим, найчастіше це місця стиків панелей (замкові з'єднання) або кріплення [7-9]. Для точного прогнозування рівня енергоспоживання в промислових будівлях необхідний метод кількісної оцінки впливу містків холоду на загальний приведений опір теплопередачі.

Набагато важливіше, щоб панелі були герметично змонтовані, інакше виникають конвективні втрати.

Розрахуємо втрату опору з містків холоду на прикладі панелі Мінеральна Вата (МВ) 150мм:
Розрахунок Опору плоскої частини панелі Rпанелі:

$$R_{панелі} = R_{зовн.пов.} + R_0 + R_{внутр.пов.}$$

Приймаємо (ДСТУ EN ISO 6946:2019 табл. А.1.):

$R_{зовн.пов.\ стіни}$ = 0,04 м^2×К/Вт

$R_{внутр.пов.\ стіни}$ = 0,13 м^2×К/Вт

$$R_{панелі} = 0,04+4+0,13= 4,17 \text{ м}^2\times\text{К/Вт}$$

Розрахунок загального приведеного опору $R_{0заг}$ (ДСТУ Б EN ISO 10211):

$$R_{0заг} = 1\div((1\div R_{панелі})+((\text{Лін.коеф.теплопередічі}*L)\div A_{заг}))$$

Приймаємо:

$A_{заг}$ = 10м^2

L = 4 містка холоду по 2.5 м = 10м

Лін.коеф.теплопередічі (приймаємо умовно, значення повинне бути розрахункове для конкретного випадку) = 0,06 Вт/м×К

$R_{заг}$ = 1÷ ((1÷4,17) +((0,06×10) ÷10)) =3,34. Тобто втрата опору = 4,17-3,34 = 0,83 м^2×К/Вт

Це 20% втрати опору теплопередачі, які спричинено містками холоду, що не були усунені.

Висновки

1. Сендвіч-панелі є технічно обґрунтованим рішенням для зниження енергоспоживання в промислових будівлях, забезпечуючи швидкість монтажу та високий опір теплопередачі.
2. Вибір наповнювача залежить від пріоритетів: PIR забезпечує максимальний за мінімальної товщини завдяки найнижчій теплопровідності. Мінеральна вата є вибором для об'єктів, де домінує вимога пожежної безпеки (негорючість).
3. Для досягнення проектної енергоефективності критично важливим є якісний монтаж, який забезпечує: 1) мінімізацію містків холоду в тому числі через застосування ефективних замкових з'єднань та доцільним конструктивних рішень; 2) дотримання вимог до герметичності для запобігання конвективним втратам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Годз А. І. Дослідження дефектів сендвіч-панелей з моделюванням процесу теплопередачі: кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Кафедра будівельної механіки, 2024. 85 с.
2. Пятничук Т., Гоменюк Д., Заславська С. Збірник освітніх кейсів з енергоефективності та безпеки праці в повоєнному будівництві: практичний посібник. Київ: Інститут професійної освіти НАПН України, 2024. 242 с.
3. Ковальчук В. Вибір утеплювача сендвіч-панелей: мінвата або пінополіуретан. Блог компанії "Gor-Stal". 2021.URL: https://sendvich-panels.com.ua
4. Ткаченко А. Пінополіізоціанурат (PIR) проти поліуретану (PUR): вогнестійкість та теплоізоляція. Блог компанії "Стілма Груп". 2022. URL: https://stilmagroup.com/porivnyannya-sendvich-panelej-z-pir-ta-pur-uteplyuvachamy
5. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель».
6. ДСТУ EN ISO 6946:2019 «Будівельні конструкції. Тепловий опір та коефіцієнт теплопередачі».
7. ДСТУ Б EN ISO 10211:2017 «Теплові мости у будівлях».
8. ДСТУ EN 13162:2016 «Вироби теплоізоляційні для будівництва. Вироби з мінеральної вати».
9. ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».

Бевз Яна Максимівна —інженер, ТОВ «ВІНТЕК БУД», м. Вінниця, Вінницького р-ну, Вінницької обл.

Yana Maksymivna Bevz *— Engineer, VINTEK BUD LLC, Vinnitsa, Vinnitsa district, Vinnitsa region.*

УДК 625.7

О. С. Кошівський
Л. В. Кучеренко

НАПРЯМКИ ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНО - ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ УКРАЇНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Автомобільно-дорожня мережа є критичною складовою національної безпеки, економічної стійкості та гуманітарної логістики. Повномасштабне вторгнення 2022 року призвело до масових руйнувань транспортних артерій, структурних елементів (мостів, шляхопроводів), а також до зміни вантажо- та пасажиропотоків. Оцінка масштабів руйнувань та здатність мережі виконувати критичні функції — передумова планування відновлення й модернізації.

Ключові слова: *автомобільна дорога, дорожнє покриття, відновлення.*

Abstract

The road network is a critical component of national security, economic stability, and humanitarian logistics. The full-scale invasion of 2022 led to massive destruction of transportation arteries, structural elements (bridges, overpasses), and changes in freight and passenger flows. Assessing the extent of damage and the network's ability to perform critical functions is a prerequisite for planning recovery and modernization.

Keywords: *highway, road surface, restoration.*

Вступ

За оцінками аналітичних груп десятки тисяч кілометрів доріг та сотні мостових споруд було пошкоджено або зруйновано за роки війни. Такі ушкодження безпосередньо знижують доступність регіонів, уповільнюють постачання гуманітарної допомоги й матеріалів для оборони, а також підривають економічну активність у постраждалих регіонах.

Результат дослідження

Повоєнна реконструкція дорожньої інфраструктури має базуватися на принципах стійкості, адаптивності та високої технологічності. Відновлення не повинно бути «поверненням до довоєнного стану», а має формувати нову якість транспортної системи, здатної протистояти майбутнім ризикам та інтегрувати сучасні практики управління.

Ключовими інженерними напрямами відновлення є: впровадження довговічних конструкцій дорожнього одягу з використанням бітумополімерних та цементобетонних матеріалів; реконструкція мостів із застосуванням сучасних сталевих та композитних конструкцій; розроблення типових проєктних рішень для швидкого відновлення пошкоджених ділянок; застосування методів геопідсилення ґрунтів та стабілізації основи дороги у зонах підвищених георизиків. Підвищення ефективності дорожньої мережі можливе шляхом: використання цифрових моделей (BIM, CIM) у проєктуванні; створення національної платформи управління транспортними потоками та швидкого реагування на аварійні ризики.

Стійке відновлення автомобільно-дорожньої мережі передбачає використання вторинних матеріалів (щебеневих відходів, фрезерованого асфальту); зменшення вуглецевого сліду дорожніх робіт; адаптацію доріг до змін клімату: стійкість до перегріву, інтенсивних опадів, підтоплень; розвиток інфраструктури для електротранспорту та низьковикидних видів перевезень.

Відновлення має орієнтуватися на: реконструкцію ключових міжнародних транспортних коридорів); покращення військово-логістичних маршрутів та доріг подвійного призначення; забезпечення транспортної доступності деокупованих та прикордонних регіонів; формування об’їзних маршрутів і дублюючих коридорів для підвищення стійкості мережі.

Відбудова дорожньої мережі сприятиме пожвавленню економічної активності, формуванню нових індустріальних кластерів, покращенню мобільності населення та підвищенню рівня національної

безпеки. Відновлена інфраструктура стане основою для довгострокового економічного розвитку та інтеграції України до європейського простору.

Висновки

Таким чином, автомобільно-дорожня мережа України опинилася під історичним навантаженням через військові дії. Масштаб ушкоджень вимагає одночасних коротко- та довгострокових підходів. Комбінація швидкого ремонту, модернізації стандартів з орієнтацією на стійкість, масштабного міжнародного фінансування та активної цифрової інвентаризації ушкоджень може забезпечити відновлення критичних функцій мережі і сприяти економічній та соціальній відбудові країни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Державна служба статистики України. URL: https://ukrstat.gov.ua/.
2. Статистичний збірник "Транспорт України". Державна служба статистики України, 2022. За редакцією Ірини ПЕТРЕНКО.2022. –С.36-94. URL:http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12
3. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: Розпорядження Кабміна України від30 трав. 2018 р. № 430-р. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text.

Кошівський Олексій Сергійович — аспірант кафедри будівництва. міського господарства та архітектури. email: Koshivskiyo@gmail.com
Науковий керівник: Кучеренко Лілія Василівна — к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. email: liliya13liliya13@gmail.com

Oleksii Koshivskyi — postgraduate professor of the Department of Building, Urban and Architecture of the Vinnitsa National Technical University. email: Koshivskiyo@gmail.com

Kucherenko Liliya — PhD, Associate professor of the Department of Building, Urban and Architecture of the Vinnitsa National Technical University. email: liliya13liliya13@gmail.com.

УДК 711.25

Є. П. Якименко
Л. В. Кучеренко
І. М. Бабій

ОПТИМАЛЬНА ЩІЛЬНІСТЬ ЗАБУДОВИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИРОДНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Формування сприятливого мікроклімату в умовах зростання щільності міської забудови є ключовою умовою сталого розвитку міст. Порушення природної вентиляції територій спричиняє накопичення забруднювальних речовин, зниження рухливості повітря та утворення локальних «теплових островів». Тому визначення оптимальної щільності забудови стає важливим науковим завданням для транспортно-містобудівних та екологічних проєктів.

Ключові слова: *планування, забудова, вітровий режим.*

Abstract

The formation of a favorable microclimate in conditions of increasing urban density is a key condition for sustainable urban development. Disruption of natural ventilation of territories causes the accumulation of pollutants, reduced air mobility and the formation of local "heat islands". Therefore, determining the optimal building density becomes an important scientific task for transport, urban planning and environmental projects.

Keywords: *planning, development, wind regime.*

Вступ

Щільність забудови є базовим параметром, що визначає геометрію вітроканалів та можливість проникнення повітряних мас у міжквартальні простори. Надмірна компактність кварталів спричиняє зменшення швидкості повітряних потоків, збільшення турбулентності та формування застійних зон, тоді як надто розріджена забудова знижує ефект орієнтованих аераційних коридорів.

Результат дослідження

Сучасні дослідження, засновані на даних числового моделювання, аеродинамічних експериментів та геоінформаційного аналізу, свідчать, що саме узгодженість геометрії міського середовища з природними потоками повітря визначає рівень його аераційної стійкості. Щільність забудови впливає не лише на абсолютний обсяг вентиляції, але й на структуру повітряних потоків, їхню турбулентність, глибину проникнення у внутрішньоквартальні простори та здатність до формування стійких аераційних коридорів. Висока компактність забудови, якщо вона не компенсується продуманою морфологією вулично-квартальної структури, призводить до появи застійних зон, у яких відбувається накопичення теплоти та забруднювачів, тоді як занадто розріджена забудова, попри кращу вентиляцію, не забезпечує необхідної міської щільності та економічної ефективності використання території. Таким чином, оптимізація щільності має ґрунтуватися на пошуку балансу між інтенсивністю повітрообміну та стійкістю функціонально-планувальної структури.

Одним із ключових параметрів, що визначає вентиляційні можливості міського простору, є співвідношення висоти будівель до ширини вуличних коридорів. Встановлено, що оптимальні значення цього співвідношення забезпечують стабільне проникнення приземних повітряних потоків і запобігають вертикальному замиканню аеродинамічних контурів. Не менш важливими є інтервали між будівлями та загальна конфігурація кварталів, які мають формувати наскрізні вітропроникні канали, узгоджені з домінуючими напрямками вітру. Забезпечення таких повітряних «вікон» сприяє створенню багаторівневої аераційної структури, яка підтримує динамічний повітрообмін навіть у періоди низької швидкості вітру.

Важливу роль у визначенні оптимальної щільності відіграє параметрична оцінка міських морфотипів, яка базується на аналізі взаємодії щільності населення, поверховості забудови, орієнтації вулиць та характеристик основи. Сучасні цифрові методи, створюють можливість прогнозувати вплив різних конфігурацій забудови на повітряні потоки ще до початку будівництва. Такий підхід дозволяє порівнювати альтернативні сценарії планування, враховувати локальні мікрокліматичні умови та адаптувати структуру забудови до просторових особливостей території. У результаті формується міське середовище, здатне регулювати власний мікроклімат завдяки раціональному розподілу щільності та орієнтації забудови.

Висновки

Отже, оптимізація щільності забудови з урахуванням природної вентиляції повинна розглядатися як інтегральний компонент сталого міського планування. Такий підхід сприяє зниженню температурних аномалій, мінімізації концентрацій забруднювальних речовин, підвищенню енергетичної ефективності будівель і покращенню мікроклімату міського середовища. Забезпечення науково обґрунтованої щільності забудови є ключовою передумовою формування стійких, кліматично адаптивних та екологічно збалансованих міст, здатних відповідати сучасним урбаністичним і кліматичним викликам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучеренко Л. М., Якименко Є. В. Аераційний режим житлової забудови в залежності від її особливостей // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – Вінниця, 2022. – № 2(51). – С. 103–111.
2. Поліщук І. С. Екологічна оцінка впливу забудови на мікроклімат міста // Матеріали конференції Національного технічного університету. – Кропивницький, 2021. – С. 45–52.
3. Вітвицька Ю. М. Щільність забудови при проектуванні та реконструкції міст // Містобудування та територіальне планування. – Київ : КНУБА, 2020. – Вип. 75. – С. 28–34.
4. Жукова О. М., Негода Н. М. Вплив клімату урбанізованої території на основні параметри забудови // Архітектурний вісник КНУБА. – Київ : КНУБА, 2022. – № 24. – С. 118–126.

Якименко Євгеній Павлович — аспірант кафедри будівництва. міського господарства та архітектури. email: HimYakim@i.ua
Науковий керівник: Кучеренко Лілія Василівна — к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. email: liliya13liliya13@gmail.com
Бабій Ігор Миколайович — к.т.н., доцент кафедри технології будівельного виробництва. Одеської державної академію будівництва і архітектури. email: igor7617@gmail.com

Eugene Yakimenko — postgraduate professor of the Department of Building, Urban and Architecture of the Vinnitsa National Technical University. email: HimYakim@i.ua

Kucherenko Liliya — PhD, Associate professor of the Department of Building, Urban and Architecture of the Vinnitsa National Technical University. email: liliya13liliya13@gmail.com.

Ihor Babii – PhD, Associate professor of the Department of Technology of Building Production of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. email: igor7617@gmail.com

УДК 528. 42

Г. С. Ратушняк
Ю. В. Волошина

ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто актуальність та методи геодезичного моніторингу технічного стану об'єктів енергетичної інфраструктури, зокрема трубопровідних мереж, із застосуванням безпілотних літальних апаратів (БПЛА). За результатами аналізу аналітичних та експериментальних досліджень підкреслено доцільність використання БПЛА для оперативного та точного збору даних про технічний стан об'єктів енергетичної інфраструктури в умовах підвищеної безпекової напруженості та обмеженого доступу. Запропоновані підходи, що включають аерофотознімання, лазерне сканування та тепловізійний контроль, спрямовані на своєчасне виявлення деформацій, пошкоджень та ризиків аварій. Матеріали геодезичного моніторингу дозволять запропонувати заходи, що забезпечать стабільне функціонування стратегічних об'єктів та мінімізацію аварійних ситуацій.

Ключові слова: БПЛА, безпекова ситуація, геодезичний моніторинг, деформації, енергетична інфраструктура, лазерне сканування, тепловізійний контроль, технічний стан.

Abstract

The relevance and methods of geodetic monitoring of the technical condition of energy infrastructure facilities, in particular pipeline networks, using unmanned aerial vehicles (UAVs) are considered. Based on the results of the analysis of analytical and experimental studies, the feasibility of using UAVs for the prompt and accurate collection of data on the technical condition of energy infrastructure facilities in conditions of increased security tension and limited access is emphasized. Approaches are proposed, including aerial photography, laser scanning and thermal imaging, aimed at timely detection of deformations, damage and risks. Geodetic monitoring materials will allow us to propose measures that will ensure the stable functioning of strategic facilities and minimize emergency situations.

Keywords: UAV, security situation, geodetic monitoring, deformations, energy infrastructure, laser scanning, thermal imaging, technical condition.

Вступ

Надійне функціонування об'єктів енергетичної інфраструктури, до якої належать магістральні трубопровідні мережі (для транспортування газу, нафти, води), є критично важливим для забезпечення національної економічної стійкості та безпеки життєдіяльності населення [1,2,3,4,5]. В умовах безпекової напруженості, спричиненої військовими конфліктами та зростанням техногенних ризиків, ці стратегічні об'єкти постійно перебувають під загрозою пошкоджень. Це вимагає впровадження високошвидкісних та точних методів діагностики технічного стану при їх пошкодженні. Традиційні наземні геодезичні методи (нівелювання, тахеометрія) є часозатратними, вимагають прямого доступу до об'єкта та несуть підвищену небезпеку для персоналу, особливо в зонах потенційних руйнувань [2,5,6,7]. Тому геодезичний моніторинг технічного стану інфраструктури із залученням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) став одним із ключових напрямків з оцінювання ризиків аварій. Використання БПЛА дозволяє оперативно отримувати геодезичну інформацію значних територій та збирати високоточні просторові дані про технічний стан споруд енергетичної інфраструктури. Отримана геоінформація забезпечує керівні органи актуальними даними для своєчасного виявлення деформацій, прогнозування аварійних ситуацій та

прийняття ефективних рішень щодо забезпечення функціонування об’єктів критичної інфраструктури.

Результати досліджень

Геодезичний моніторинг технічного стану об’єктів енергетичної інфраструктури з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є однією з сучасних технологій, що забезпечує високу точність, оперативність та безпеку контролю в умовах підвищеної безпекової напруженості [3,4]. Такі геоінноваційні технології дозволяють проводити комплексну та безперервну діагностику технічного стану критично важливих стратегічних об'єктів, наприклад розгалужених магістральних трубопровідних систем (газ, нафта, вода). Основна перевага використання БПЛА полягає у можливості просторового дистанційного зондування значних територій та важкодоступних ділянок, де традиційні наземні геодезичні методи є неефективними або несуть пряму загрозу для життя виконавців [8,9,10].

БПЛА оснащуються комплексом різноманітних геодезичних та діагностичних сенсорів, що функціонують у різних спектральних діапазонах, забезпечуючи отримання важливої інформації про технічний стан об’єктів інфраструктури. Високоточне аерофотознімання є базовим методом, який реалізується за допомогою професійних фотокамер із високою роздільною здатністю. Результатом виконаного аерофотознімання є створення деталізованих 3D-моделей та крупномасштабних ортофотопланів. Отримані геоінформаційні матеріали дозволяють візуально та метрично оцінювати зовнішній технічний стан об'єктів, а також своєчасно фіксувати просідання ґрунту над підземними комунікаціями, виявляти зсуви ґрунту у схилових зонах, реєструвати механічні руйнування елементів конструкцій трубопровідних мереж [4].

Суттєву роль у високоточному геоінформаційному моніторингу технічного стану енергетичної інфраструктури відіграє лазерне сканування, інтегроване на борт БПЛА. Цей метод дозволяє отримати щільну «хмару точок» з міліметровою точністю, що є незамінним для геометричного контролю, а також точне вимірювання лінійних відхилень та мікродеформацій трубопроводів від їх проєктного положення.

Доповненням до просторового аналізу технічного стану елементів критичної інфраструктури є тепловізійний контроль, що здійснюється за допомогою високочутливих тепловізійних камер, встановлених на БПЛА [8]. Цей метод дозволяє виявляти термічні аномалії, які є прямим індикатором прихованих дефектів. Наприклад, над трубопроводами фіксується аномальне охолодження або нагрівання ґрунту, що сигналізує про витік газу, нафти чи гарячої води.

Отримані геодезичні дані проходять комплексну обробку та інтегруються в Геоінформаційні системи (ГІС). База геодезичних даних дозволяє здійснювати порівняльний аналіз технічного стану моделей з історичними даними або проєктними параметрами об’єктів енергетичної інфраструктури. В результаті можливо не лише визначити точні просторові координати пошкоджень, але й оцінити динаміку їхнього розвитку. Результати аналізу геоінформаційних даних формують актуальну картографічну основу та є підґрунтям розроблення проєктних рішень та оперативного планування відновлювальних робіт. При цьому забезпечується мінімізація часу реагування на аварійні ситуації та знижуються ризики масштабних техногенних та екологічних наслідків пошкодження об’єктів енергетичної інфраструктури.

Висновок

Геодезичний моніторинг споруд енергетичної інфраструктури за допомогою БПЛА є досить ефективним способом для забезпечення національної безпеки, особливо в умовах воєнного часу. Цей підхід дає змогу оперативно та високоточно діагностувати вразливі об'єкти. Комплексне використання БПЛА (аерофотознімання, лазерне сканування, тепловізія) не лише фіксує пошкодження, але й дозволяє прогнозувати ризики їх розвитку. Завдяки ГІС-аналізу геопросторових даних можна швидко планувати відновлювальні роботи. Таким чином геодезичний моніторинг є надійним елементом системи управління з мінімізації загрози масштабних катастроф та сприяє забезпеченню стійкості і безперебійності роботи життєво важливої енергетичної інфраструктури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.1.2-14:2018 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. К.: Мінрегіон України. 2018. с. 30.
2. ДБН В.1.3-2. Геодезичні роботи в будівництві. К.: Мінрегіонбуд України. 2020. 70 с.
3. Геодезичне забезпечення в умовах війни: https://meja.com.ua/geodeziya-pid-chas-vijny/ (дата звернення: 03.10.2025)
4. Моніторинг трубопроводів з використанням GNSS: https://gpsgeometer.com/blog/how-a-handheld-gnss- rtk-device-can-help-your-pipe-laying-job?srsltid=AfmBOoqn9Q7w2cbkJVLDfaNJQSgdj0KMWI9LoFoOQSiG0yLbGMMxkRsA (дата звернення: 03.10.2025)
5. Лівінський О.М. та інші. Контроль якості будівельно-монтажних робіт: курс лекцій. К.: «МП Леся». 2018. 776 с.
6. Ратушняк Г.С., Панкевич О.Д., Бікс Ю.С., Вовк Т.Ю. Геодезичне забезпечення будівництва: навчальний посібник. Ч. 2, Вінниця, ВНТУ, 2024. 90 с.
7. Ратушняк Г.С., Лялюк А.О. Геодезичний контроль гідростатичним нівелюванням якості будівельно-монтажних робіт // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. №1(36), 2024. С. 173-176.
8. Тепловізійний контроль інфраструктури: https://akvilonpro.ua/ua/energosberezhenie/teplovizionnoye-obsledovaniye-kiev/teploaudit-elektroustanovok.html
(дата звернення: 03.10.2025)
9. Волошина Ю.В., Ратушняк Г.С. Геодезичний моніторинг технічного стану трубопровідних мереж в умовах безпекової ситуації. Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці, дослідження, проблеми, перспективи», Вінниця, 2025. https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/47779/22915.pdf?sequence=3&isAllowed=y
10. Ратушняк Г.С. Геодезичний моніторинг технічного стану вежових споруд в умовах воєнного екоциду // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Том 38. № 1. 2025. с. 143-150.

Ратушняк Георгій Сергійович – професор, завідувач кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ratusnakg@gmail.com ORCID 0000- 0001-9656-5150

Волошина Юлія Володимирівна – студентка групи СМ-24б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: yulkapechalka85@gmail.com

УДК 620.197:621.644

Д. Ю. Антепа
О. Д. Панкевич

Аналіз методів антикорозійного захисту промислових трубопроводів

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проблема корозії трубопроводів є однією з основних причин зниження надійності та довговічності інженерних систем промислових будівель. У роботі розглянуто сучасні методи антикорозійного захисту трубопроводів, що забезпечують підвищення довговічності та надійності систем транспортування рідин і газів. Проведено аналіз різних способів захисту та визначений набільш доцільний для використання.

Ключові слова: трубопроводи, корозія. захист, експлуатація, витрати

Abstract

The problem of pipeline corrosion is one of the main reasons for the decrease in the reliability and durability of engineering systems of industrial buildings. The paper considers modern methods of anti-corrosion protection of pipelines, which ensure increased durability and reliability of liquid and gas transportation systems. An analysis of various methods of protection is carried out and the most appropriate one for use is determined.

Keywords: pipelines, corrosion. protection, operation, costs

Вступ

Проблема корозії промислових трубопроводів є однією з найважливіших у забезпеченні надійності та довговічності інженерних систем, оскільки корозійні процеси призводять до зниження міцності, герметичності та безпеки експлуатації обладнання. Ефективний антикорозійний захист дозволяє суттєво зменшити експлуатаційні витрати, подовжити термін служби трубопроводів і запобігти аварійним ситуаціям. Відповідно до вимог чинних будівельних норм ДСТУ Б А.2.4-30:2008, ДСТУ Б В.2.6-193:2013, ДСТУ EN 15635:2016 [1-3] проєктування, виконання та контроль антикорозійних заходів мають здійснюватися з урахуванням умов експлуатації та агресивності середовища, що підкреслює важливість системного підходу до захисту металевих трубопроводів.

На сьогодні через тривалу експлуатацію та відсутність системного обслуговування значна частина трубопроводів у промислових будівлях перебуває у незадовільному стані унаслідок корозійних процесів, що призводить до втрат енергоносіїв, погіршення санітарно-гігієнічних умов і збільшення експлуатаційних витрат підприємств. В умовах підвищених вимог до енергоефективності та безпеки об’єктів, питання вибору ефективних методів антикорозійного захисту набуває особливого значення. Оптимізація технологій захисту дозволяє продовжити термін служби трубопроводів, зменшити експлуатаційні витрати та підвищити екологічну безпеку. Данною тематикою активно цікавляться та досліджують вчені та інженери, як України, так і інших країн [6,8,9]

Мета дослідження: проаналізувати сучасні методи антикорозійного захисту промислових трубопроводів, визначити їх переваги, недоліки та області ефективного застосування з метою вибору оптимального комплексу захисних заходів для підвищення довговічності трубопровідних систем.

Результати дослідження

Корозія – це процес руйнування металів внаслідок хімічної, електрохімічної або біохімічної взаємодії їх з навколишнім середовищем [8]. Основними чинниками, що спричиняють корозію, є підвищена вологість, агресивні газові середовища, коливання температури та електрохімічні процеси у металевих елементах трубопроводів. Неефективний захист призводить не лише до зниження надійності систем, а й до аварійних ситуацій, що можуть загрожувати безпеці персоналу та зупинці технологічних процесів [2].

Для промислових трубопроводів корозія становить особливу небезпеку, адже ці системи працюють у складних експлуатаційних умовах – за підвищеної вологості, температурних перепадів, агресивних газових і хімічних середовищ. Основними чинниками, що прискорюють процес корозії, є

волога, кисень, солі, кислоти, а також електрохімічні реакції, які виникають при контакті різнорідних металів у присутності електроліту.

Внутрішні поверхні труб піддаються впливу транспортованих рідин або газів, які можуть містити агресивні домішки. Зовнішня частина трубопроводів контактує з повітрям, ґрунтом, конденсатом і промисловими викидами. Унаслідок цього навіть невеликі пошкодження захисного шару призводять до утворення вогнищ корозії.

Додатково процес прискорюють конструктивні дефекти — пори, тріщини, зварні шви, які мають підвищену електрохімічну активність. При наявності вологи між такими ділянками утворюються гальванічні пари, де один метал виступає анодом і швидко руйнується. Погодні коливання та цикли «замерзання–відтавання» створюють мікротріщини, які відкривають шлях для проникнення агресивних речовин.

Таким чином, корозійне руйнування трубопроводів є результатом взаємодії фізико-хімічних, електрохімічних і конструктивних факторів, що потребує комплексного підходу до захисту металевих поверхонь.

Антикорозійний захист – це комплекс технологічних заходів, спрямованих на запобігання або уповільнення процесу руйнування металу. Залежно від умов експлуатації трубопроводів застосовують кілька різні методи.

Методи антикорозійного захисту трубопроводів [4]:

- конструктивний захист – використання корозійностійких матеріалів (нержавіючі сталі, полімерні труби, алюмінієві або композитні сплави).
- пасивний захист – нанесення лакофарбових, епоксидних, поліуретанових, полімерних або металевих покриттів, які створюють бар’єр між металом і середовищем.
- активний захист – катодна або протекторна система, що забезпечує електрохімічний захист металу від окислення.
- технологічні заходи – контроль вологості, температури, вентиляції, правильне розташування трубопроводів у приміщеннях і захист від конденсату.
- гаряче цинкування – процес покриття сталевих елементів шаром цинку.

Порівняння методів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Аналіз методів антикорозійного захисту трубопроводів

Метод захисту	Переваги	Недоліки
Конструктивний захист	Довговічність,мінімум обслуговування	Висока початкова вартість, обмеження застосування
Пасивний захист	Універсальність,фізичний бар'єр, доступність	Вразливість до пошкоджень, потребує оновлення
Активний захист	Ефективність у складних середовищах	Вимагає джерела живлення/заміни протекторів, складність монтажу та моніторингу
Технологічні заходи	Профілактика, економічний спосіб запобігання	Обмежена сфера (тільки приміщення), недостатній для агресивного середовища
Гаряче цинкування	Найбільш ефективний та довговічний, подвійний захист (бар'єр + протектор), стійкість до механічних пошкоджень	Обмеження розміру елементів

Серед усіх методів найбільш ефективним і довговічним вважається гаряче цинкування.

Процес гарячого цинкування (рис.1) включає етапи – очищення поверхні від забруднень та іржі; кислотне травлення; флюсування (активація поверхні); занурення у розплавлений цинк; охолодження й пасивація.

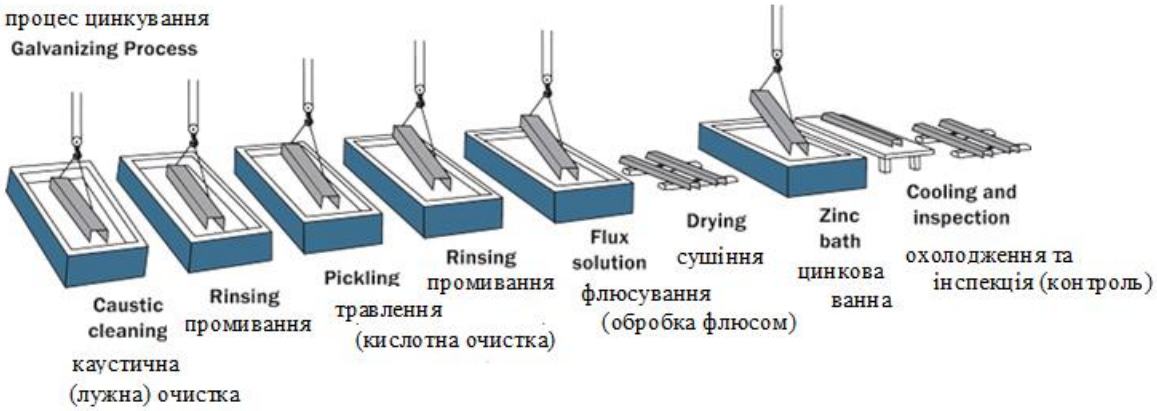


Рис.1. Процес гарячого цинкування металу [6]

Покриття, отримане цим методом, не лише ізолює метал від впливу середовища, а й забезпечує катодний захист: при пошкодженні поверхні цинк «жертвує» собою, запобігаючи корозії сталі.

Основні переваги гарячого цинкування: висока довговічність (термін служби до 50 років); стійкість до механічних пошкоджень і агресивних середовищ; рівномірне покриття навіть у важкодоступних місцях; мінімальні витрати на подальше обслуговування.

До недоліків методу належать технологічні обмеження – потреба у спеціальних ваннах певних розмірів, що зображені на рис.1, неможливість обробки змонтованих труб і вища вартість початкового процесу. Проте у довгостроковій перспективі ці витрати повністю компенсуються зниженням експлуатаційних витрат. [3]

Висновки

Антикорозійний захист трубопроводів у промислових будівлях є ключовим елементом забезпечення довговічності, надійності та безпечної експлуатації інженерних систем. Корозійні процеси, які неминуче відбуваються в металі під впливом навколишнього середовища, призводять до втрати міцності матеріалу, зниження пропускної здатності трубопроводів і зростання ризику аварійних ситуацій. Тому системний підхід до антикорозійного захисту має не лише технічне, а й економічне значення.

Залежно від умов роботи системи застосовуються різні методи – конструктивний, пасивний, активний, технологічний та гаряче цинкування, кожен з яких має свої переваги й сферу доцільного використання. Комплексне поєднання цих заходів дає змогу істотно підвищити довговічність трубопроводів, зменшити ризик аварій і витрат на ремонт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ EN 15635:2016. Експлуатування та технічне обслуговування складського устаткування. Системи складські стаціонарні сталеві. [Чинний від 2017-10-01] – 45 с. – (Національні стандарти України).
2. ДСТУ Б А.2.4-30:2008. Система проектної документації для будівництва. Антикорозійний захист технологічних апаратів, газоходів і трубопроводів. Робочі креслення
3. ДСТУ Б В.2.6-193:2013 Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування
4. Архітектура будівель і споруд. Багатоповерхові каркасні будинки : навч. посібник / [Смоляк В. В., Ковальський В. П., Козинюк Н. В. та ін.].- Вінниця : ВНТУ, 2019. – 76 с.
5. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. К.: Мінбуд України, 2009. – 37 с. – (Державні будівельні норми України).
6. Хімічна корозія та захист металів : навчальний посібник / [П. І. Стоєв, С. В. Литовченко, І. О. Гірка, В. Т. Грицина]. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. – 216 с.
7. ДСТУ EN ISO 1461:2024 Покриття, нанесені методом гарячого цинкування на вироби із чавуну та сталі. Технічні вимоги та методи випробування (EN ISO 1461:2022, IDT; ISO 1461:2022, IDT)
8. Методи захисту обладнання від корозії та захист на стадії проектування [Електронний ресурс] : підр. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / М. В. Бик, О. І. Букет, Г. С. Васильєв. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 318 с.
9. Панкевич В. В. Гуменчук А.Є. Аналіз факторів, що впливають на технічний стан сталевих трубопроводів/ Матеріали міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)» [Електронне мережне наукове видання] : збірник матеріалів. – Вінниця: ВНТУ, 2025.

10. Матеріали сучасної техніки та захист від руйнування [Електронний ресурс]: [Борисенко Ю. В]. – Київ КНУТД 2016. – 114 с.

Антепа Дар'я Юріївна — студентка групи 1Б-22б, факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії email: dashaantepa27@gmail.com
Панкевич Ольга Дмитрівна – к.т.н,, доцент кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, e-mail: pankevich@vntu.edu.ua

Antepa Daria— student of group 1B-22b, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering email: dashaantepa27@gmail.com
Olga Pankevych – Cand. Sc. (Eng.), Ass. Prof. of the Department of Engineering Systems in Construction. Vinnytsia National Technical University e-mail: pankevich@vntu.edu.ua

УДК 620.9:697

Г. С. Ратушняк
О. І. Ободянська
О. І. Кирилюк

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СТРАТЕГІЇ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬ: ІНТЕГРАЦІЯ ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ТА АВТОНОМНИХ СИСТЕМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто сучасні підходи до енергопостачання будівель із забезпеченням теплової, електричної та, за необхідності, холодильної енергії. Проаналізовано особливості централізованих та автономних систем теплопостачання, їхню ефективність та умови застосування. Показано, що зростання уваги до автономних джерел зумовлене необхідністю підвищення енергоефективності, зниження втрат під час транспортування теплоти та забезпечення гнучкості енергозабезпечення у щільній міській забудові.

Особливу увагу приділено когенераційним і тригенераційним установкам, які дозволяють досягти загального ККД 75–100 % завдяки комбінованому виробництву теплоти, електроенергії та холоду. Розглянуто використання різних типів приводів, видів палива та способів утилізації теплоти. Наведено переваги застосування паливних елементів як перспективного екологічного джерела енергії, а також особливості роботи конденсаційних котлів, що забезпечують підвищений рівень енергетичної ефективності завдяки використанню теплоти конденсації.

Доведено, що інтеграція автономних джерел теплопостачання, міні-ТЕЦ, паливних елементів та конденсаційних котлів формує основу ефективних, надійних і екологічних систем енергопостачання будівель, що відповідають сучасним вимогам сталого розвитку.

Ключові слова: централізоване теплопостачання, автономні системи, когенерація, тригенерація, міні-ТЕЦ, паливні елементи, конденсаційні котли, енергоефективність.

Abstract

Modern approaches to the energy supply of buildings with the provision of thermal, electrical and, if necessary, cooling energy are considered. The features of centralized and autonomous heat supply systems, their efficiency and application conditions are analyzed. It is shown that the increased attention to autonomous sources is due to the need to increase energy efficiency, reduce losses during heat transportation and ensure flexibility of energy supply in dense urban areas.

Particular attention is paid to cogeneration and trigeneration plants, which allow achieving an overall efficiency of 75–100% due to the combined production of heat, electricity and cold. The use of various types of drives, types of fuel and methods of heat utilization are considered. The advantages of using fuel cells as a promising ecological source of energy are presented, as well as the features of the operation of condensing boilers, which provide an increased level of energy efficiency due to the use of condensation heat.

It has been proven that the integration of autonomous heat sources, mini-CHP, fuel cells and condensing boilers forms the basis of efficient, reliable and environmentally friendly energy supply systems for buildings that meet modern requirements of sustainable development.

Keywords: district heating, autonomous systems, cogeneration, trigeneration, mini-CHP, fuel cells, condensing boilers, energy efficiency.

Вступ

Сучасні умови розвитку міст, зростання енергетичних потреб та необхідність підвищення енергоефективності будівель визначають актуальність удосконалення систем теплопостачання. Традиційні централізовані системи, незважаючи на свою масштабність та здатність забезпечувати теплом великі житлові та промислові райони, супроводжуються значними втратами теплової енергії під час транспортування та потребують значних інвестицій у модернізацію теплових мереж. Водночас стрімкий розвиток технологій децентралізованої генерації теплової та електричної енергії, а також підвищені вимоги до автономності та надійності енергозабезпечення будівель стимулюють

впровадження сучасних когенераційних і тригенераційних систем, теплових насосів, паливних елементів та конденсаційних котлів [1].

Інтеграція таких технологій дозволяє комплексно вирішувати завдання ефективного забезпечення будівель теплом, електроенергією та холодом, зменшувати споживання традиційних паливних ресурсів та мінімізувати вплив на довкілля. Дослідження сучасних підходів до організації централізованого й автономного теплопостачання, а також перспективних напрямів використання комбінованих енергосистем є ключем до формування нової енергетичної стратегії сталого розвитку в будівництві та комунальній сфері [2].

Результати дослідження

Централізоване та автономне теплопостачання

У енергопостачання будівель входить забезпечення потреб у тепловій та електричній енергії, а при необхідності – холодом. Холодопостачання зазвичай здійснюється від автономних джерел, електропостачання здебільшого централізоване, але можна використовувати і автономні джерела. Для організації забезпечення теплотою застосовуються системи централізованого та децентралізованого теплопостачання.

До автономних (децентралізованих) систем відносять системи, теплова потужність яких трохи більше 23 МВт. В даний час підвищена увага до автономних джерел теплоти пов’язана з можливістю зниження капітальних витрат на їх будівництво завдяки відсутності теплових мереж або здійсненню реконструкції об’єктів за умов щільної міської забудови та відсутності вільних потужностей у централізованих системах теплопостачання [3, 7].

Централізоване теплопостачання здійснюється з орієнтацією на покриття базового теплового навантаження з максимальною температурою теплоносія на виході з ТЕЦ, що дорівнює 110...140 °С, та з використанням пікових джерел теплоти, наближених до систем теплоспоживання.

Підвищення ефективності експлуатації ТЕЦ ґрунтується на використанні бінарних, парогазових термодинамічних циклів, а також автоматизації процесів виробництва та споживання теплоти.

Надійність та енергоефективність забезпечення будівель теплотою досягається шляхом переходу до централізовано-автономного теплопостачання.

Проблеми теплопостачання, пов’язані з втратами транспорту теплоносіїв, нині вирішуються шляхом застосування автономних джерел. Як джерело теплоти для окремих будівель та споруд використовуються газові котельні. Однак одночасно з теплотою об’єктам необхідне електропостачання. Комплексно автономне тепло та електропостачання забезпечують міні ТЕЦ на базі поршневих двигунів внутрішнього згоряння, газотурбінних двигунів, паливних елементів тощо [4, 5].

Системи когенерації та тригенерації

Ефективним вирішенням проблеми постачання будівлі одночасно теплотою, електроенергією та холодом є системи когенерації та тригенерації. Якщо для постачання будівлі необхідна в основному електроенергія та теплота, то перевага надається використанню когенерації – комбінованого виробництва теплоти та електроенергії. Тригенерація – комбіноване виробництво теплоти, електроенергії та холоду – здійснюється в тому випадку, коли існує необхідність у холодильній енергії для кондиціонування повітря або технологічних процесів. Тригенераційні та когенераційні установки використовуються при створенні міні ТЕЦ.

Когенераційна енергоустановка створюється на базі двигунів, в яких відбувається перетворення енергії палива в механічну енергію генератора, який перетворює її на електричну, а також теплообмінників для збору теплової енергії, що виділяється в процесі отримання механічної енергії та передачі її теплоносію системи теплопостачання. Приводом електрогенераторів в когенераторах є дизельні, газопоршневі, двопаливні поршневі двигуни внутрішнього згоряння, газові турбіни, парові турбіни з протитиском або конденсаційного типу [1, 6].

У міні ТЕЦ використовується паливо різних видів: природний газ, бензин, дизельне паливо, пропан, бутан та ін. Малі автономні джерела контейнерного типу розраховані на спалювання в основному палива одного виду – мережевого природного газу, але може використовуватися біогаз, газ, що отримується від переробки сміття, стічних вод та ін.

Конфігурація когенераційних установок визначається фактичними тепловими та електричними навантаженнями споживачів. Застосування газопоршневих машин рекомендується на об’єктах, де довготривале навантаження становить щонайменше 30…50 % одиничної потужності агрегату чи працюють паралельно з електричними мережами, тобто поставляють електроенергію у мережі.

Мікротурбінна установка може працювати протягом тривалого часу за низьких навантажень, у тому числі в режимі холостого ходу. Їх застосування можливе на об'єктах з великою циклічністю навантажень (зима – літо, день – ніч та ін.).

У газопоршневих установках теплова енергія потреби теплопостачання відбирається у системах охолодження з допомогою рідких теплоносіїв. У мікротурбінах утилізується теплота вихлопних газів. Залишивши турбіну, гази надходять у котел-утилізатор, де віддають теплоту мережевій воді, нагріваючи її до необхідної температури. У когенераторах із газопоршневими двигунами перетворення енергії природного газу забезпечує ККД понад 40 %, а з урахуванням вироблення електроенергії – близько 90 % [2, 6].

Мікротурбіни дозволяють створювати міні ТЕЦ, ефективність роботи яких при спільному виробництві теплоти та електроенергії навіть за умов неповного навантаження сягає 75 % і більше.

Теплова частина тригенератора є теплообмінниками з рекуперацією теплоти, для живлення яких використовуються вихлопні гази двигуна, як правило, оснащеного газовою турбіною. Фізична теплота вихлопних газів двигуна через котел утилізатор використовується для отримання теплоти. Двигун віссю з'єднаний із генератором змінного струму, що забезпечує виробництво електричної енергії.

Для кондиціонування приміщень застосовується холодильна машина (чилер) абсорбційного або парокомпресійного типу, яка взимку працює за циклом теплового насоса, а влітку – холодильної машини. Для охолодження конденсаційної води в холодильній машині передбачена випарна башта (градирня).

У системах тригенерації найпоширеніші абсорбційні установки – чилери, перевагами яких є низьке споживання електроенергії, майже повну відсутність рухомих частин, тобто низький рівень шуму та вібрації, і використання води як компонент холодоагенту. Абсорбційні установки працюють на тепловій енергії, що утилізується на станції тригенерації (відпрацьовані гази, гаряча вода, пара). Привід компресора парокомпресійних машин здійснюється від електрогенераторів міні-ТЕЦ [8].

При організації теплопостачання будівель від когенераційних і тригенераційних установок загальна ефективність використання палива, віднесена до всієї економії виробництва теплоти, може досягати 90...100 %, оскільки одне й те паливо використовується отримання одночасно електроенергії і холоду.

Перспективними об'єктами для систем тригенерації є, наприклад, лікарняні комплекси. Вони працюють 365 днів на рік, є найбільшими споживачами електроенергії (використання медичної апаратури, оснащення операційних та ін.), теплоти (опалення, пара для стерилізації інструменту) та холоду (для кондиціювання повітря). На таких об'єктах комбіновані системи подвійної та потрійної дії працюють у постійному режимі. Системи когенерації та тригенерації знаходять широке застосування в енергопостачанні будівель торгових центрів, готельних та житлових комплексів, промислових підприємств [1, 2, 5, 8].

Паливні елементи

Перспективним напрямом підвищення енергоефективності та екологічності будівель є використання водневої енергетики, зокрема паливних елементів. Паливний елемент – електрохімічний генератор, що виробляє електроенергію з водню та кисню внаслідок електрохімічної реакції без горіння. У цьому єдиним продуктом електрохімічної реакції є вода. Привабливість паливних елементів зумовлена високим коефіцієнтом перетворення хімічної енергії на електричну (50…70 %). Основна відмінність реакції в паливному елементі від реакції окислення при горінні полягає в тому, що процеси протікають термодинамічно оборотно: різниця енергій електронів у вихідних речовин і продуктів реакції перетворюється безпосередньо на електричну енергію, а не переходить в енергію хаотичного теплового руху атомів і молекул при горінні.

У паливних елементах дуже високий коефіцієнт перетворення, недосяжний теплоенергетичних установках звичайного типу. Найбільшого поширення набули воднево-кисневі паливні елементи з лужним та кислим електролітами. Ці елементи можна розділити на дві основні групи: перша група – з вільним (рідким) електроліт, і друга – з матричним електролітом, тобто. з діафрагмою (мембраною), що має іонну провідність і має іонну будову. Як анод і катод використовуються так звані газові електроди. Вони виготовлені з твердих пористих речовин, що мають високу каталітичну активність, електронну провідність і абсорбцію газів, в основному з перехідних металів. Таким чином, для протікання хімічної реакції з достатньою швидкістю за нормальної температури необхідні електроди-каталізатори – метали платинової групи. У паливних елементах використовують не тільки чистий водень, а й водневмісні суміші та гази, такі як аміак, метанол, природний газ замість чистого кисню – повітря [1, 2].

Перевагою енергопостачання з урахуванням паливних елементів є доступність сировини, надійність, довговічність. Паливні елементи можуть бути розміщені безпосередньо в будівлі, що знижує втрати при транспортуванні енергії. Наприклад, комбіновані енергоустановки на основі паливних елементів електричною потужністю 1,5 кВт та тепловою потужністю 2,9 кВт можуть бути використані в котеджах та житлових багатоквартирних будівлях.

Конденсаційні опалювальні котли

Конденсаційні котли відрізняються від традиційних низькотемпературних котлів тим, що додатково використовують для нагрівання теплоносія теплоту конденсації водяної пари, що міститься в димових газах. У сучасних конденсаційних котлах як паливо використовується топковий мазут з низьким вмістом сірки і природний газ. Спалювання природного газу та топкового мазуту мінімізує вміст забруднюючих речовин у димових газах та спрощує відведення конденсату.

Для відбору теплоти фазового переходу водяної пари в конденсаційних котлах використовується теплообмінник типу рекуперативного, встановлений по ходу руху димових газів. Теплообмінник протиточний одно- або двоходовий. Охолодження газів здійснюється на поверхнях теплообмінника, трубним простором якого циркулює теплоносій, що надійшов зі зворотного трубопроводу системи опалення або теплопостачання. Ефективність відбору теплоти фазового переходу водяної пари підвищується зі зниженням температури теплоносія у зворотному трубопроводі системи опалення нижче за точку роси димових газів. При температурі води 40 °С після теплообмінника і 30 °С до нього не використовується теплота конденсації водяної пари в продуктах згоряння природного газу становить 1,5 % при початковому вмісті 11 %.

Для повного згоряння палива коефіцієнт надлишку повітря повинен перебувати в межах 1,1...1,4. Його значення визначається залежно від складу газів, що відходять, зокрема від вмісту CO^2. Для отримання газоповітряної суміші у конденсаційних котлах використовуються спеціальні пальники, обладнані вентилятором для попереднього змішування газу та повітря. Приготування суміші виключає можливість механічного недопалу та підвищує використання теплоти згоряння палива [9].

За рахунок попереднього змішування повітря і природного газу та зниження температури газів, що відходять, зменшується концентрація шкідливих викидів. Це пов’язано із зменшенням утворення оксидів азоту та зниженням вмісту CO за рахунок окислення його до менш небезпечного діоксиду CO^2.

Експлуатація конденсаційних котлів вимагає організації збору та видалення конденсату. При використанні палива природного газу конденсат може бути відведений в каналізацію. Кількість конденсату, що виділяється, залежить від потужності котла. При спалюванні 1 $м^3$ газу виділяється приблизно 2 $м^3$ водяної пари, що утворює до 1,6 л конденсату. У казанах потужністю до 35 кВт злив отриманого конденсату можна проводити відразу в міську каналізацію. Казани сумарною потужністю понад 200 кВт повинні обладнатися установками нейтралізації конденсату.

Видалення димових газів, що мають знижену температуру, необхідно організовувати із застосуванням вентиляторів через димарі, основною вимогою до яких є герметичність. Конденсаційні котли виготовляються у підлоговому та настінному виконанні. Настінні газові конденсаційні казани мають потужність до 120 кВт. При каскадному включенні групи настінних конденсаційних котлів сумарна потужність може бути збільшена до кількох сотень кіловат. Підлогові установки на природному газі можуть досягати номінальної потужності 10000 кВт і більше [1, 2].

Досвід передових країн показує, що перспективним є використання систем типу конденсаційний котел – сонячний колектор, конденсаційний котел – тепловий насос та ін. Зазначені системи дозволяють досягати максимальних показників енергоефективності теплопостачання будівель у порівнянні з традиційними системами.

Висновки

Розгляд сучасних підходів до теплопостачання будівель підтвердив, що ефективне енергозабезпечення потребує комплексного поєднання централізованих та автономних джерел теплової й електричної енергії. Централізовані системи залишаються оптимальними для покриття базових навантажень та забезпечення високої надійності, тоді як автономні рішення дозволяють мінімізувати втрати під час транспортування теплоти, підвищити енергоефективність і гнучкість, особливо в умовах щільної міської забудови та обмежених можливостей мережевого приєднання.

Системи когенерації та тригенерації демонструють значне підвищення енергетичної ефективності – до 90 – 100 %, забезпечуючи одночасне виробництво тепла, електроенергії й холоду для будівель із

значними та змінними тепловими та електричними навантаженнями. Їх застосування особливо перспективне в лікарнях, торгових та готельних комплексах, а також на промислових об'єктах.

Перспективним напрямом розвитку автономної енергетики є впровадження паливних елементів, що забезпечують високий коефіцієнт корисної дії та екологічність завдяки електрохімічному перетворенню енергії без продуктів згоряння. Це робить їх придатними для застосування безпосередньо в будівлях із мінімальними втратами енергії.

Важливою складовою сучасних енергоефективних рішень виступають конденсаційні котли, які використовують теплоту конденсації водяної пари у продуктах згоряння, що забезпечує підвищення загального ККД системи. У поєднанні із сонячними колекторами та тепловими насосами такі системи утворюють високоефективні низькотемпературні контури теплопостачання.

Таким чином, інтеграція автономних джерел енергії, когенераційних і тригенераційних установок, паливних елементів та конденсаційних технологій формує напрямок розвитку сучасних систем енергозабезпечення будівель, орієнтований на підвищення енергоефективності, надійності та екологічності в умовах стійкого розвитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковальчук В.А. Теплопостачання: навчальний посібник. / В.А. Ковальчук, Т.С. Мацнєва. – Рівне: НУВГП, 2013. – 300 с.
2. Єнін П.М. Теплопостачання (частина 1 «Теплові мережі та споруди»). Навчальний посібник. / П.М. Єнін, Н.А. Швачко. – К.: Кондор, 2007. – 244 с.
3. Ратушняк Г.С. Експлуатація систем теплопостачання та вентиляції [текст] / Г.С. Ратушняк , Г.С. Попова. – Вінниця: ВДТУ, 2000. – 122 с.
4. Переваги та недоліки дахової котельні / Ратушняк Г.С., Ободянська О.І., Гончарук В.С.// Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві» Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2024. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2024/paper/view/22486.
5. Пусконалагоджувальні роботи в інженерних системах / О.І. Ободянська // // LIII науково-технічна конференція ФБЦЕІ ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2024. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20526/17023.
6. Панкевич О. Д. Теплопостачання: навчальний посібник / О. Д. Панкевич, О. І. Ободянська, О.В. Титко. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 85 с.
7. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі: ДБН В.2.5-39:2008 .–[Чинний від 2008–10–1].– К. : Мінрегіонбуд України, - Київ, 2008.
8. Котельні: ДБН В.2.5-77:2014 .–[Чинний від 2014–09–15].– К. : Мінрегіонбуд України, - Київ, 2014.
9. Ратушняк Г. С. Управління змістом проектів із забезпечення надійності зовнішніх газорозподільних мереж: монографія / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська. – Вінниця, 2014. – 128 с. – ISBN 978-966-641-582-3.

Ратушняк Георгій Сергійович – к.т.н, професор, завідувач кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет ORCID 0000-0001-9656-5150, e-mail: ratushnyak@vntu.edu.ua.

Ободянська Ольга Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Кирилюк Олександр Сергійович – здобувач групи ТГ-24м факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, email: kyryliukOS@gmail.com.

Georgiy Ratushnyak – Professor, Head of the Department of Engineering Systems in Construction, Vinnytsia National Technical University ORCID 0000-0001-9656-5150 e-mail: ratushnyak@vntu.edu.ua

Olha Obodyanska – PhD, associate professor of department of engineering systems in construction Vinnytsia National Technical University, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Oleksandr Kyryliuk – student of Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, email: kyryliukOS@gmail.com.

УДК 621.577

В. О. Гончарук
Н. М. Слободян

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОВОГО НАСОСА ТА СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА ЯК ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОТИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено порівняльний аналіз двох джерел альтернативного теплопостачання – теплового насоса та сонячного колектора – по використанню в якості основного джерело теплоти. В аналізі розглянуті особливості установок за принципом роботи та умовами експлуатації, за якими зроблено висновки про можливість використання кожної системи.

Ключові слова: сонячний колектор, енергоефективність, теплопостачання, тепловий насос.

Annotation

A comparative analysis of two sources of alternative heat supply – a heat pump and a solar collector – was conducted for use as the main heat source. The analysis considered the features of the installations in terms of the principle of operation and operating conditions, based on which conclusions were drawn about the possibility of using each system.

Keywords: solar collector, energy efficiency, heat supply, heat pump

Основна частина

Для теплопостачання промислових та комунальних об'єктів характерні високі витрати на енергоресурси. При використання традиційних методів теплопостачання протягом тривалих опалювальних періодів, витрати на споживані енергоресурси майже дворазово перевищує витрати на електропостачання будівель. Високі витрати на транспортну тарифікацію, та екологічні фактори, супутні використання звичних систем теплопостачання, наводять до економічної ситуації, у якій необхідно розглядати альтернативні варіанти. З кожним днем ціни на традиційні джерела енергії збільшуються, кількість ресурсів скорочується, тому суспільство починає більш детально розглядати використання інших відновлюваних джерел теплопостачання будівель [1] – [2]..

Необхідність екологічно чистих, доступних, простих в експлуатації джерел тепла змушує сферу енергетики розвиватися в порівняно новому напрямі забезпечення споживачів. Альтернативне теплопостачання є комплексом рішень цього питання. На даний момент існує безліч відновлюваних джерел отримання тепла для обігріву будівель, проте більшість з них має низький коефіцієнт корисної дії чи мають низьку окупність.

Для свого дослідження я вирішив використати найбільш перспективні альтернативні джерела теплопостачання – тепловий насос та сонячний колектор. Саме ці системи переважно підходять для умов нашого регіону, а також є прийнятними за економічними показниками.

Принцип дії теплового насоса

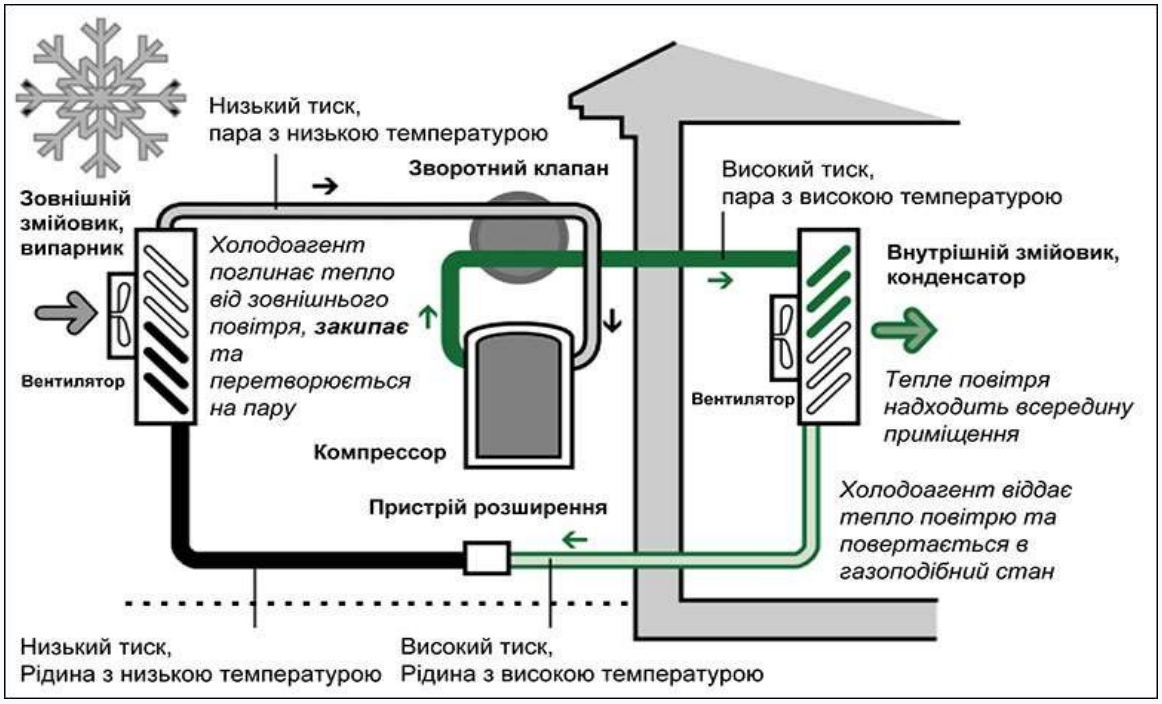
Тепловий насос – це теплова машина з прямим (енергетичним) або оберненим (холодильним) циклом теплопередачі [3]. Для його функціонування необхідне забезпечення електроенергією.

Принципова схема роботи найпоширенішого парокомпресійного ТНУ складається з чотирьох основних пунктів:

1. У зовнішньому теплообміннику (випарнику) теплова енергія з навколишнього середовища за межами будівлі або з іншого доступного джерела тепла передається робочому тілу ТНУ – холодоагенту (як правило, фреону), що циркулює за внутрішнім контуром.

2. Фреон нагрівається, випаровується і прямує у бік компресора. Компресор стискає фреон, температура фреону зростає.
3. Далі стиснутий фреон проходить через внутрішній теплообмінник (конденсатор), де конденсується та віддає тепло в систему споживача (пряме нагрівання повітря або теплоносія системи опалення або ж технологічного об'єкта, або для приготування гарячої води для споживачів).
4. Далі фреон проходить через дроселюючий клапан, що знижує тиск, що супроводжується зниженням температури. Цикл повторюється.

Принципова схема теплового насоса



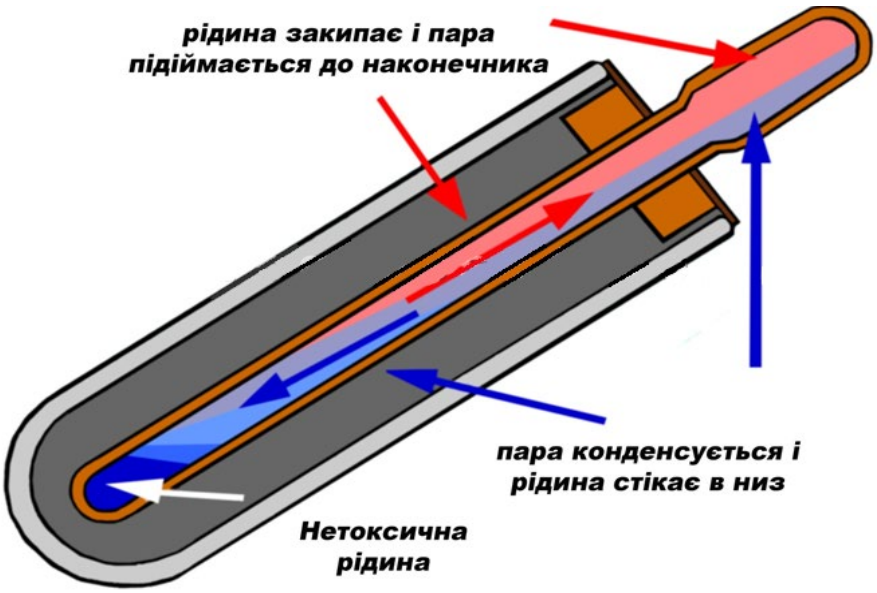
Принцип роботи сонячного колектора

Сонячний колектор – це пристрій для збирання теплової енергії від видимого сонячного світла та його інфрачервоного випромінювання. Сонячні колектори бувають кількох видів [1]. Найпоширеніші вакуумні колектори, так як можуть застосовуватись у широтах з холодним кліматом.

Вакуумний колектор складається з кількох вакуумних труб розташованих паралельно, покритих спеціальним селективним шаром, який допомагає краще абсорбувати сонячну енергію та перешкоджає втраті тепла.

Схема роботи вакуумного сонячного колектора

Сонячне світло проникає всередину вакуумної трубки та нагріває розташовану в ній мідну термо трубу з невеликою кількістю легко киплячої рідини. Під впливом тепла рідина випаровується та забирає тепло вакуумної трубки. Пари піднімаються у верхню частину – наконечник, де конденсуються і передають тепло основного теплоносія контуру водоспоживання або незамерзаючої рідини опалювального контуру. Конденсат стікає вниз і все повторюється знову.



Переваги та недоліки теплового насоса

Одними з головних переваг теплових насосів є:

1) Висока економічна ефективність за рахунок використання вільної низько потенційної теплової енергії з метою обігріву приміщень.

2) Усі види теплових насосів екологічні, так як при роботі ТН не викидають шкідливі речовини, які могли б забруднити довкілля.

3) Універсальність - одна з головних рис ТН в порівнянні з іншими альтернативними джерелами теплопостачання. Тепловий насос може працювати, забираючи енергію від повітря, води, ґрунту. Якщо потрібно встановити насос у місці, де відсутня електрика, є можливість підключити його через паливний генератор.

4) Безпека. При роботі установка не використовує відкритого вогню, паливо, що не виділяє їдкі речовини, небезпечні для людини або тварин. Тепловий насос, що працює, не нагрівається вище 90 °С і як слідство не може бути джерелом пожежі, до того ж у ньому відсутні займисті частини.

5) Можливість використання зворотного циклу. Унікальна функція теплового насоса - використання зворотного циклу з метою не обігріву, а охолодження приміщення. Тим самим, у спеку, тепловий насос можна перетворити на своєрідний кондиціонер, який буде віддавати зайве тепло із будівлі у довкілля.

Однак, як і будь-який пристрій, теплові насоси мають не тільки переваги, але й недоліки:

1) Мала ефективність при суворому кліматі у разі використання повітря як джерела теплоти. Такий тепловий насос безпосередньо пов'язаний з кліматом, тому найбільш ефективне його використання можливе лише у країнах із “м'якими зимами”[4]. У країнах північних регіонів краще використовувати ТН у зв'язці з "класичним" котлом, що значно підвищує вартість установки.

2) Висока початкова вартість устаткування та його установка. За різними
даним середня окупність теплового насоса 5-6 років, тільки по закінченню цього терміну споживач помітить реальну економію.

Переваги та недоліки вакуумного сонячного колектора

Переваги вакуумних сонячних колекторів:

1) Низькі тепловтрати за рахунок універсального утеплювача - вакууму. Навіть за суворих погодних умов ККД установки залишається на високому рівні.

2) Можливість працювати за будь-яких умов (виключаючи ніч). Сонячний колектор не втрачає своєї працездатності навіть при похмурій погоді, так як інфрачервоне випромінювання вільно проходить крізь атмосферу. Також колектору не заважає температура навіть -30°С - вакуумний сонячний колектор продовжує працювати з максимальною ефективністю.

3) Усі види сонячних колекторів екологічно чисті, не забруднюють довкілля шкідливими речовинами, через відсутність елементів горіння.

4) Тривалий період роботи протягом доби. Завдяки універсальній будові, сонячні промені потрапляють на поверхню колектора під прямим кутом, зводячи відображення до мінімуму, дозволяючи ефективно працювати від світанку до заходу сонця.

Недоліки сонячних колекторів схожі на недоліки теплових насосів.

1) Головний мінус – це неможливість роботи сонячного колектора в нічний час, що змушує використовувати зв'язку колектора з звичайним котлом. Можливе рішення – використання тепло акумуляторів.

2) Відносно висока первісна вартість обладнання та установки. Економічна вигода від такого виду енергозабезпечення стане видно через 6-8 років, що визначає середньостроковий проект енергоефективності.

3) Ще один суттєвий мінус – складність при розміщенні колектора на даху будівлі. Існують варіанти встановлення сонячних модулів безпосередньо у фасади та покрівлю будівель, що полегшує роботу архітекторам, які проєктують скатні дахи без можливості кріплення сонячного колектора у ньому.

Порівняння теплового насоса та сонячного колектора

	Тепловий насос	Вакуумний сонячний колектор
Відсутність вибухонебезпечних елементів	ТАК	ТАК
Відсутність забруднюючих викидів	ТАК	ТАК
Ефективний при будь-яких погодних умовах	ТАК	НІ
Доступна економічна окупність	ТАК	ТАК
Працює при сурових зимах	Неможливий відбір теплоти із повітря	ТАК
Термін служби не менше 20 років	ТАК	ТАК
Незалежність від конфігурації будівлі	ТАК	НІ

Висновок

Теплова насосна установка підійде для місць з більш м'яким кліматом (при відборі енергії з повітря) та в місцях з невеликою кількістю сонячних днів, де доступного сонячного випромінювання буде дуже мало для обігріву будинку. Також ТНУ стане гідним джерелом теплоти для будівель, що знаходяться в суворій кліматичній зоні, за умови, що споживання відбуватиметься через ґрунт. Тепловий насос дуже надійна обігрівальна установка, яка зможе прослужити довгий час і постачатиме споживачам екологічно чисту теплову енергію.

У свою чергу сонячний колектор - це пристрій, який підійде, якщо в регіоні переважає холодний клімат або ж переважає скельний ґрунт, що не підходить для встановлення ТНУ. Особливо висока ефективність сонячного колектора буде відзначено в сонячних регіонах. При використання сонячного

колектора як основного джерела теплоти для забезпечення роботи системи опалення, необхідно передбачати резервне джерело на випадок тривалої хмарної погоди.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Г. Г. Півняк, О. С. Бешта, М. М. Табаченко та ін. Традиційні та нетрадиційні системи енергозабезпечення урбанізованих і промислових територій України: монографія, під заг. ред. Г. Г. Півняка. Дніпро, Україна: Національний гірничий університет, 2013, 333 с.
2. Арсеньєв В. М., Мелейчук С. С. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку: навч. посіб. / В.М. Арсеньєв, С.С. Мелейчук. – Суми: Сумський державний університет, 2018, 364 с.
3. Васильєв Г.П., Шилкін Н.В. Використання низькопотенційної теплової енергії землі в теплонасосних системах // АВОК. 2003. № 2.
4. Жидович І.С., Трутаєв В.І. Системний підхід до оцінки ефективності теплових насосів // Новини теплопостачання. 2001. №11.
5. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. Чинний від 01.10.2011. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010, 128 с.

Гончарук Віктор Олександрович – аспірант кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, email: sanderlend@ukr.net

Goncharuk Viktor Oleksandrovych – graduate student of the Department of Engineering Systems in Construction, Vinnytsia National Technical University, email: sanderlend@ukr.net

Науковий керівник: Слободян Наталія Михайлівна – к.т.н, доцент кафедри ІСБ, Вінницький національний технічний університет ORCID 0000-0002-2111-1434, email: slobodian@vntu.edu.ua

Scientific supervisor: Natalia Slobodian – Ph.D., associate professor of the Department of Information Technology, Vinnytsia National Technical University ORCID 0000-0002-2111-1434, email: slobodian@vntu.edu.ua

УДК 696.052:628.2

Ободянська О. І.
Блеянюк А. О.

СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проаналізовано сучасні підходи до підвищення енергоефективності систем опалення будівель. Ознайомлено з принципами функціонування автоматизованих, локальних, поквартирних, переривчастих і низькотемпературних систем опалення. Виконано оцінку їх енергетичної ефективності та доцільності застосування в сучасних умовах проєктування та експлуатації будівель. Розглянуто можливості зниження тепловтрат за рахунок автоматичного регулювання теплових потоків і локалізації теплопостачання. Встановлено, що автоматизовані системи дають змогу скоротити споживання теплоти на 10–15%, а локальні системи – на 20–30%. Проаналізовано особливості впровадження переривчастого опалення, що забезпечує додаткову економію до 30% енергії. Окрему увагу приділено системам низькотемпературного опалення, які ефективно працюють із теплонасосними установками, сонячними колекторами та системами рекуперації тепла. Визначено їх переваги, недоліки та перспективи впровадження в Україні станом на 2025 рік. Зроблено висновок, що впровадження низькотемпературних і автоматизованих систем є пріоритетним напрямом розвитку енергоефективного будівництва, який відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021 та ДСТУ EN 16798-3:2019 і завданням Національної стратегії з енергоефективності до 2030 року.

Ключові слова: опалення, енергоефективність, автоматизація, локальні системи, низькотемпературні системи, теплові насоси, економія енергії.

Abstract

The paper analyzes modern approaches to increasing the energy efficiency of building heating systems. The principles of functioning of automated, local, apartment, intermittent and low-temperature heating systems are introduced. Their energy efficiency and feasibility of application in modern conditions of building design and operation are assessed. The possibilities of reducing heat loss through automatic regulation of heat flows and localization of heat supply are considered. It is established that automated systems allow reducing heat consumption by 10–15%, and local systems by 20–30%. The features of implementing intermittent heating, which provides additional savings of up to 30% of energy, are analyzed. Special attention is paid to low-temperature heating systems that effectively work with heat pump units, solar collectors and heat recovery systems. Their advantages, disadvantages and prospects for implementation in Ukraine as of 2025 are determined. It was concluded that the implementation of low-temperature and automated systems is a priority area for the development of energy-efficient construction, which meets the requirements of DBN V.2.6-31:2021 and DSTU EN 16798-3:2019 and the objectives of the National Energy Efficiency Strategy until 2030.

Keywords: heating, energy efficiency, automation, local systems, low-temperature systems, heat pumps, energy saving.

Вступ

Системи опалення належать до основних споживачів теплоти в процесі експлуатації будівель у зимовий період. Тому для проєктованих і реконструйованих будівель важлива розробка пропозицій щодо зниження споживання енергії системами опалення та їх практична реалізація.

Основним напрямом підвищення енергоефективності систем опалення є застосування технічних рішень та обладнання, що дозволяють підтримувати, усувати та скорочувати надлишкове нагрівання або надлишкове охолодження приміщень.

Світовий досвід проєктування, будівництва та експлуатації енергоефективних будівель показує, що скорочення витрат на енергопостачання систем опалення досягається шляхом використання [1]:

- регульованих, автоматизованих систем;
- локальних систем;
- переривчастого опалення;
- низькотемпературне опалення та інше.

Результати дослідження

Автоматизоване регулювання систем опалення

Істотне зменшення тепловитрат досягається застосуванням автоматичного регулювання теплового потоку, що надходить у систему опалення. Регулювання подачі теплоти можна здійснювати в системі будівлі в цілому, у пофасадних частинах системи, горизонтальних поверхових гілках або шляхом індивідуального регулювання окремих опалювальних приладів.

Автоматизоване регулювання водяного опалення будівлі в цілому, яке здійснюється в тепловому пункті при введенні зовнішніх теплопроводів, дозволяє коригувати графік центрального якісного регулювання та частково враховувати теплонадходження від сонячної енергії. У системі водяного опалення житлового будинку за рахунок коригування подачі можна заощаджувати до 6...7% теплоти за опалювальний сезон.

Автоматизоване регулювання пофасадних систем опалення скорочує витрати теплоти на будівлю до 10...12% порівняно з витратами при якісному центральному регулюванні. Натурні дослідження 12-ти поверхового житлового будинку в сонячний день при температурі зовнішнього повітря - 3 ... – 5 ° С показали, що витрата теплоти в приміщеннях південно-східного фасаду зменшився в 2 рази в порівнянні з витратою при центральному регулюванні. При пофасадному регулюванні контроль роботи гілок системи опалення проводять за трьома чотирма приміщеннями, що зазвичай недогріються.

Більш ефективним для економії теплової енергії є автоматичне регулювання подачі теплоти в окремі великі приміщення або квартири горизонтальними поверховими гілками системи водяного опалення. При поверховому регулюванні температура повітря в приміщеннях, що обслуговуються, підтримується на заданому рівні за допомогою регуляторів прямої дії з точністю ±1,5 °С.

Аналогічно за ефективністю автоматичне регулювання індивідуальними регуляторами, що встановлюються на теплопроводах опалювальних приладів. При такому способі регулювання корисно використовуються теплонадходження до приміщень від людей, побутових приладів, сонячної енергії, електричного освітлення та обладнання та інших джерел, а також враховується дія вітру [1, 2].

Локальні системи опалення

Ефектним прийомом економії теплоти в будинках є використання локальних систем опалення. У будинках промислового призначення зменшення енергоспоживання системами опалення здійснюється за рахунок усунення перетопів верхньої зони приміщень шляхом влаштування локальних систем. Одним з перспективних напрямків є застосування систем, в яких як паливо використовується газ, наприклад, систем опалення з газовими інфрачервоними випромінювачами. Завдяки особливостям формування теплового режиму, гнучкості управління річна витрата теплоти в приміщеннях, що обігріваються, порівняно з традиційними системами опалення нижче на 20...30 %.

До локальних систем слід зарахувати і поквартирні системи опалення в багатоповерхових житлових будинках. Вони можуть керуватися мешканцями квартир без впливу на опалення сусідніх приміщень та забезпечують поквартирний облік витрати теплоти. Таким чином, одночасно вирішуються завдання забезпечення мікроклімату приміщень та економії енергії. У поквартирних системах опалення найбільш поширені променева розводка трубопроводів та периметральна (рис. 1).

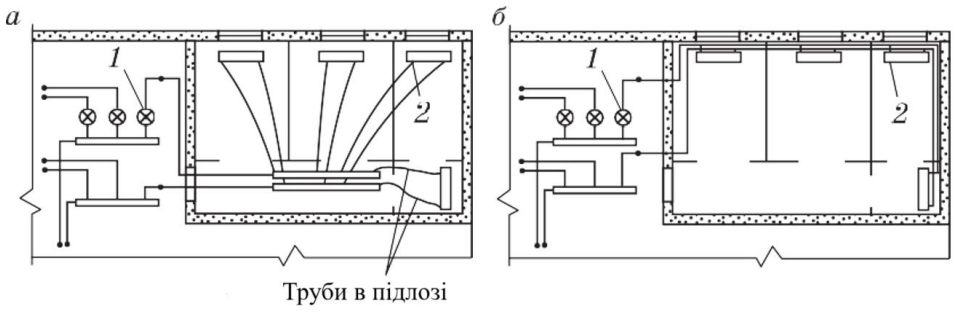


Рис. 1. Схеми поквартирного опалення:
а – променева; б – периметральна: 1 – прилад обліку витрати теплоти, 2 – опалювальний прилад

У периметральній схемі трубопроводи монтуються вздовж стін приміщень або відкрито або в лотках. Ця схема вимагає меншої кількості трубопроводів, причому можуть бути використані як

металеві, так і полімерні (металополімерні) труби. При променевій схемі металополімерні або полімерні трубопроводи укладаються у стяжку підлоги. Кожен опалювальний прилад приєднується до колекторів, що подають і обернеться, і регулюється автономно. Введення поквартирних систем об'єднуються на сходовому майданчику колекторами подавального та зворотного стояків системи опалення будівлі та через індивідуальний тепловий пункт з'єднуються з тепловими мережами.

Поквартирні системи опалення можуть бути і з індивідуальними теплогенераторами – автоматизованими котлами повної заводської готовності, що працюють на паливі. Найбільш перспективними є проточні двоконтурні системи з настінними газовими котлами, які мають атмосферний пальник низького тиску та «закриту» топку. Використовуються теплогенератори як традиційного виконання, так і з конденсацією водяної пари димових газів [2, 3].

Переривчасте опалення будівель

Опалення будівель може бути постійним або уривчастим (періодичним). Переривчасте опалення застосовують у будинках зі змінним тепловим режимом, знижуючи або повністю відключаючи подачу теплоти в систему. Про організацію переривчастого опалення можна судити за графіками зміни температури та подачі теплоти у добовому циклі для житлових будівель (рис. 2).

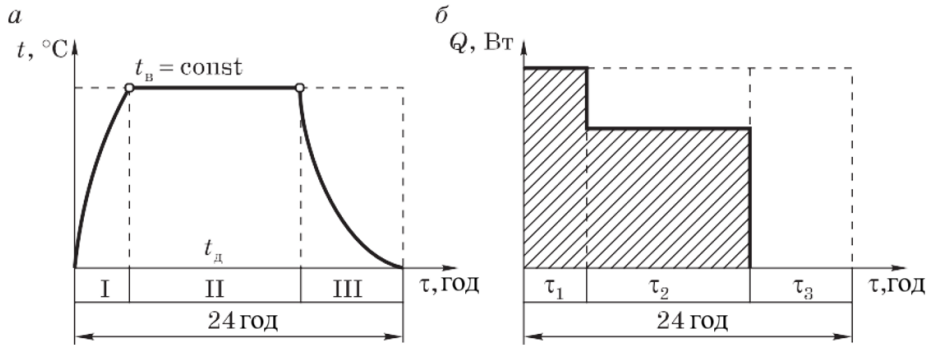


Рис. 2. Денний цикл зміни температури (а) та споживання теплоти (б) при переривчастому опаленні: τ_1 – час початку роботи системи опалення; τ_2 – час встановленого режиму; τ_3 – час охолодження

Добовий цикл має три частини:

I – початок роботи системи опалення (період натопу; температура в приміщенні підвищується від початкової допустимої $t_д$ до $t_в$;

II – час встановленого режиму; температура у приміщенні утримується постійному рівні;

III – припинення підведення теплоти в приміщення, охолодження приміщення та зниження температури до значення $t_д$.

З діаграми споживання теплоти при переривчастому опаленні видно, що тепловий потік на початку циклу більше, ніж під час режиму, що є необхідним, якщо необхідна в приміщенні температура повинна бути досягнута за короткий час.

Уривчаста подача теплоти викликає періодичні зміни температури в приміщенні, які залежать від величини та тривалості теплонадходжень. Мінімальна температура, що встановлюється до кінця періоду зниження або відключення опалення, залежить від теплостійкості та теплозахисних якостей зовнішніх огорож приміщення. Теплостійкість приміщення – це його здатність зменшувати коливання температури внутрішнього повітря при коливаннях теплонадходжень. Чим вище теплостійкість та теплозахисні властивості огорож приміщення, тим менше помітно охолодження його при відключенні опалення або зменшенні подачі теплоти. У той же час, при підвищенні теплостійкості приміщення економія теплоти в умовах переривчастого опалення може зменшуватися. Це з збереженням рівня тепловтрат через огородження внаслідок вищої температури у приміщенні.

На промислових підприємствах система переривчастого опалення може бути повітряною, коли установки припливної вентиляції в режимі рециркуляції використовуються для натопу. Гнучкішою в експлуатації є двокомпонентна система комбінованого опалення. Така система складається з основної частини у вигляді водяного опалення та догріваючої частини повітряного опалення для натопу. Водяне нерегульоване опалення призначене для постійного використання з вирівнюванням теплонестачі в

приміщеннях будівлі, що окремо розташовані. Повітряне опалення здійснюється установкою вентиляції припливу в рециркуляційному режимі.

Роботу частини системи опалення, що догріває, автоматизують для витримування розрахункового режиму. На випадок різкого зниження температури зовнішнього повітря в контрольних приміщеннях встановлюють датчики мінімальної температури. За сигналом від них частина системи опалення, що догріває, включається в додатковому режимі натопу приміщень. Ці ж датчики використовуються у недільні та святкові дні. Загальна економія теплоти протягом опалювального сезону при переривчастому опаленні різних будівель становить 20…30 % порівняно з витратами на постійне опалення [4, 5].

Системи низькотемпературного опалення

До низькотемпературних систем опалення відносять системи, температура теплоносія на вході до яких не перевищує 70 °С. У таких системах можуть використовуватися як традиційні, так і нетрадиційні джерела теплоти (сонячна енергія, теплота газів, що відходять, або низькопотенційних середовищ — води, повітря, ґрунту) [12].

Залежно від способу нагрівання теплоносія системи низькотемпературного опалення поділяють на однокомпонентні, що мають однотипні генератори, і комбіновані, які поєднують різнотипні джерела енергії (наприклад, теплонасосна установка разом із електричним або газовим котлом).

Низькотемпературні системи водяного опалення, як правило, виконуються насосними, оскільки гравітаційний тиск при малих температурних перепадах є недостатнім. За конструктивним виконанням вони подібні до традиційних систем, однак характеризуються двотрубною схемою циркуляції, підвищеною площею теплообмінних поверхонь і можливістю використання відкритого розширювального бака.

У разі застосування нетрадиційних теплоджерел періодичної дії (сонячних колекторів, рекуперaційних установок, теплоти технологічних процесів) до складу системи вводять теплоакумулятори, які забезпечують стабільність подачі тепла при змінних зовнішніх умовах.

Станом на 2025 рік в Україні спостерігається активне впровадження низькотемпературних систем у житловому, громадському та промисловому будівництві. Зокрема, теплі підлоги, стінові панелі та стельові радіаційні системи широко застосовуються у нових енергоефективних будівлях. Відповідно до ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» і ДСТУ EN 16798-3:2019, такі системи рекомендовані як базові для будівель класів енергоефективності «А» і «А+» [6–11].

У промисловому секторі України, зокрема на підприємствах харчової, фармацевтичної, ювелірної та електронної промисловості, низькотемпературне опалення інтегрується з теплонасосними системами та рекуператорами, що дозволяє зменшити енергоспоживання на 30–50 % порівняно з традиційними схемами. Впровадження таких технологій підтримується в межах Національної стратегії з енергоефективності до 2030 року та Державної програми термомодернізації будівель, що стимулює розвиток регіональних проєктів із використанням низькопотенційних джерел енергії (ґрунтові, ґрунтово-водяні, повітряні теплові насоси). Таким чином, низькотемпературні системи опалення стають ключовим напрямом розвитку енергоефективного будівництва в Україні, сприяючи зменшенню викидів CO_2, підвищенню комфорту користувачів та оптимізації експлуатаційних витрат будівель.

Переваги низькотемпературних систем опалення [13, 14, 15]:

- Висока енергоефективність: завдяки роботі при низьких температурах теплоносія зменшуються втрати тепла і підвищується коефіцієнт корисної дії систем.
- Сумісність із відновлюваними джерелами енергії: системи ефективно працюють у поєднанні з тепловими насосами, сонячними колекторами та системами рекуперації тепла.
- Підвищений комфорт: рівномірний розподіл температури по висоті приміщення забезпечує комфортні умови без локальних перегрівів або охолоджень.
- Зменшення експлуатаційних витрат: зниження температурного режиму дозволяє економити енергію на 20–40 %.
- Довговічність обладнання: менші температурні навантаження на елементи системи подовжують строк їхньої служби.
- Екологічність: зниження споживання первинної енергії веде до скорочення викидів парникових газів.

Недоліки низькотемпературних систем опалення [13, 14, 15]:

- Вища вартість монтажу: необхідність використання більшої площі теплообмінних поверхонь (наприклад, підлогове або стінове опалення) збільшує початкові інвестиції.

- Інерційність системи: через значну теплоємність конструкцій (підлога, стіни) система повільно реагує на зміну температури.

- Потреба в якісній теплоізоляції: ефективність системи залежить від енергоефективності огороджувальних конструкцій будівлі.

- Обмеження при реконструкції старих будівель: встановлення підлогових або стінових контурів часто вимагає капітального ремонту або перепланування.

Висновки

Проведений аналіз показує, що підвищення енергоефективності систем опалення будівель досягається комплексним застосуванням сучасних технічних рішень — автоматизованого регулювання теплових потоків, локальних та поквартирних систем, переривчастих режимів опалення, а також низькотемпературних систем на базі відновлюваних джерел енергії. Автоматизовані системи управління теплопостачанням забезпечують оптимальний баланс між комфортом мікроклімату і мінімальним споживанням енергії. Їх впровадження дозволяє скорочувати тепловтрати в будівлях на 10–15%, знижуючи сезонне споживання теплоти без втрати температурного комфорту.

Локальні та поквартирні системи опалення довели свою ефективність у житловому та промисловому секторі, забезпечуючи можливість індивідуального регулювання, точного обліку енергії та справедливого розподілу витрат між користувачами. Застосування таких систем дає змогу зменшити витрати теплоти на 20–30%, особливо у великих або нерівномірно опалюваних приміщеннях.

Переривчасті режими опалення, поєднані з автоматичним керуванням, забезпечують додаткове скорочення енергоспоживання до 30%, що особливо важливо для промислових підприємств та будівель із періодичним тепловим навантаженням.

Низькотемпературні системи опалення, які набувають все більшого поширення в Україні станом на 2025 рік, є одним із ключових напрямів розвитку енергоефективного будівництва. Їх поєднання з тепловими насосами, системами рекуперації та сонячними колекторами забезпечує високу ефективність використання енергії, зменшує викиди CO_2 та дозволяє досягати стандартів енергоефективності класу «А» і «А+» відповідно до сучасних вимог ДБН В.2.6-31:2021 та ДСТУ EN 16798-3:2019.

Разом ці рішення формують основу для переходу будівельного сектору України до сталого, екологічного та технологічно досконалого етапу розвитку. Впровадження інтелектуальних систем керування, використання відновлюваних джерел енергії та модернізація теплотехнічної інфраструктури відповідають цілям Національної стратегії з енергоефективності до 2030 року і створюють передумови для подальшого зниження енергоємності української економіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковальчук В.А. Теплопостачання: навчальний посібник. / В.А. Ковальчук, Т.С. Мацнєва. – Рівне: НУВГП, 2013. – 300 с.

2. Ткаченко С. Й. Екологічні аспекти виробництва енергії / С. Й. Ткаченко, Л.А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 83 с.

3. Слободян Н.М. Організація та технологія проєктування систем теплогазопостачання та вентиляції: навч. Посіб. / Н. М. Слободян, О. Д. Панкевич, О. І. Ободянська. – Вінниця, ВНТУ, 2016. – 110 с.

4. Теоретичні засади та загальна концепція енергоефективного будівництва / О.І. Ободянська, Р.І. Пономаров // L науково-технічна конференція ФБТЕГП ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2021. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/11845.

5. Переваги та недоліки дахової котельні / Ратушняк Г.С., Ободянська О.І., Гончарук В.С.// Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві» Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2024. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2024/paper/view/22486.

6. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. — Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2021. — 72 с.

7. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2013. — 147 с.

8. ДСТУ ISO 52016-1:2020. Енергетичні характеристики будівель. Розрахунок енергоспоживання та температури приміщень. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. — 120 с.

9. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо використання. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. — 42 с.

10. Національна стратегія з енергоефективності до 2030 року. — Київ: Міністерство енергетики України, 2023. — 56 с.

11. Постанова Кабінету Міністрів України № 1228 від 21.11.2023 р. Про затвердження Державної програми термомодернізації будівель на 2024–2030 роки. — Київ: Урядовий кур’єр, 2023.

12. Низькопотенційна енергетика: навчальний посібник / А.О. Редько та ін.; Під ред. Академіка НАНУ А.А. Долинського. – Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2016. – 412 с.

13. Слободян Н. М., Ободянська О. І., Гончарук В. О. Вибір повітряних теплових насосів для систем автономного теплопостачання // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2025. № 1. С. 176–184.

14. Використання енергії навколишнього середовища за допомогою теплових насосів / О.І. Ободянська, О.А. Іванов, К.Р. Войновський // Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві» (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2020. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/view/10834.

15. Екологічні проблеми при використанні альтернативних джерел енергії / О.І. Ободянська, В.В. Грибик // LI науково-технічна конференція ФБЦЕІ ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2022. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/15191.

Ободянська Ольга Ігорівна **–** кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Блеянюк Артем Олегович **–** здобувач групи ТГ-24м факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, e-mail: bleyanyuk2004@gmail.com.

Obodyanska Olha **–** PhD, associate professor of department of engineering systems in construction Vinnytsia National Technical University, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Bleianiuk Artem – student group TG-24 of the Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsa National Technical University, e-mail: bleyanyuk2004@gmail.com.

УДК 69.057.7:504.06:628.33

Ободянська О. І.
Майструк В. Р.

КОМПЛЕКСНА ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ ЖИТЛОВОГО ФОНДУ УКРАЇНИ: ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕРЖАВНИХ І МІЖНАРОДНИХ ПРОГРАМ ПІДТРИМКИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглядаються основні напрями та значення термомодернізації застарілого житлового фонду України. Проаналізовано стан житлових будівель, їхню високу енергетичну неефективність та необхідність впровадження комплексних заходів для підвищення енергоефективності. Окремо висвітлено державні та міжнародні програми підтримки, зокрема Фонд енергоефективності «Енергодім» і ініціативу EBRD Energy Security Support Facility (ESSF), які сприяють модернізації будівельного сектору. Розглянуто економічні, соціальні та екологічні переваги термомодернізації, основні бар'єри та перспективи її розвитку в умовах післявоєнного відновлення. Масштабна термомодернізація житлового фонду є ключовим чинником енергетичної безпеки держави, підвищення рівня життя громадян та виконання міжнародних зобов'язань України щодо скорочення викидів парникових газів.

Ключові слова: термомодернізація, енергоефективність, житловий фонд, ОСББ, програма «Енергодім», EBRD, грант, утеплення, відновлювана енергетика, модернізація будівель.

Abstract

The main directions and significance of thermal modernization of the outdated housing stock of Ukraine are considered. The condition of residential buildings, their high energy inefficiency and the need to implement comprehensive measures to increase energy efficiency are analyzed. State and international support programs are separately highlighted, in particular the Energy Efficiency Fund "Energodim" and the EBRD Energy Security Support Facility (ESSF) initiative, which contribute to the modernization of the construction sector. The economic, social and environmental benefits of thermal modernization, the main barriers and prospects for its development in the conditions of post-war recovery are considered. Large-scale thermal modernization of the housing stock is a key factor in the energy security of the state, improving the standard of living of citizens and fulfilling Ukraine's international obligations to reduce greenhouse gas emissions.

Keywords: thermal modernization, energy efficiency, housing stock, condominiums, Energodim program, EBRD, grant, insulation, renewable energy, building modernization.

Вступ

Термомодернізація охоплює заходи з утеплення фасадів, перекриттів та горищ; заміни вікон і дверей; модернізації систем опалення та встановлення ІТП; інтеграції відновлюваних джерел енергії (теплові насоси, сонячні колектори, PV-панелі). В Україні застосовуються два основні пакети заходів [1, 3, 4]:

Пакет А – "Легкий": базові обов'язкові заходи, наприклад модернізація вузла обліку тепла.

Пакет Б – "Комплексний": широкий спектр заходів, включно з утепленням фасадів, заміною вікон та модернізацією теплообмінників.

У рамках програми «Енергодім» відшкодовуються витрати на енергетичний аудит, проєктну документацію, технічний нагляд та сертифікацію до 70 %. Витрати на будівельні роботи компенсуються частково: до 40 % у пакеті А і до 50–70 % у пакеті Б залежно від умов заявки. Додатково, програма EBRD ESSF фінансує енергоефективні підпроєкти в житлових, муніципальних та комерційних будівлях, включно з утепленням, заміною вікон і установкою відновлюваних систем [2].

Результати дослідження

Реалізація програми «Енергодім» здійснюється поетапно, що дозволяє забезпечити контроль якості, ефективне використання коштів і залучення мешканців до прийняття рішень [1, 7, 8, 9]

1. Підготовчий етап: **п**рийняття рішення ОСББ про участь у програмі; вибір атестованого енергоаудитора, який проводить детальне обстеження будівлі; складання енергетичного аудиту, який

визначає фактичний стан теплоізоляції, опалювальної системи та віконних конструкцій; підготовка сертифікаційного звіту, що підтверджує енергетичний клас будинку; можливість проведення консультацій із мешканцями щодо пріоритетів модернізації та вибору пакету заходів (А або Б).

2. Проєктування та експертиза: розробка проєктної документації, яка включає технічні рішення щодо утеплення фасадів, модернізації систем опалення, встановлення ІТП та відновлюваних джерел енергії; експертиза проєкту державними та акредитованими організаціями для підтвердження відповідності нормативним вимогам та стандартам енергоефективності; додаткове обстеження інженерних систем будинку (трубопроводи, радіатори, вентиляційні системи) для оптимізації проекту та запобігання майбутнім технічним проблемам.

3. Виконання робіт та верифікація: реалізація енергоефективних заходів: утеплення фасадів та перекриттів, заміна вікон і дверей, модернізація теплообмінників та систем опалення, монтаж ІТП; контроль якості виконання робіт, включно з технічним і авторським наглядом; проведення після завершення робіт сертифікації для підтвердження досягнутого енергетичного класу будівлі; для пакету А діє спрощена процедура: грант на супровід проєкту до 70 % вартості, максимум до 20 тис. грн, що стимулює швидке включення будинків у програму.

Поетапна виплата грантів дозволяє ОСББ контролювати кошти та забезпечує фінансову безпеку під час модернізації. Термомодернізація житлового фонду має багатопланові переваги, які стосуються економічної, соціальної та екологічної сфер [2, 5, 6]:

1. Економічні переваги: зниження енергоспоживання будинку на 30–50 % при глибокій модернізації; зменшення витрат домогосподарств на опалення та гарячу воду; зростання ринкової вартості квартир та привабливості будинку для потенційних покупців; створення робочих місць у будівельній галузі, сфері монтажу та енергоаудиту.

2. Соціальні переваги: підвищення комфорту проживання завдяки стабільнішій температурі та рівномірному розподілу тепла; зниження ризику захворювань, пов’язаних із протягами та підвищеною вологістю у неопалюваних приміщеннях; активізація співпраці між мешканцями будинку та розвиток громадських ініціатив.

3. Екологічні переваги: скорочення викидів CO_2 та інших парникових газів; підвищення енергонезалежності громад та держави; зменшення навантаження на централізовані теплові мережі та енергетичну інфраструктуру.

Реалізація термомодернізації стикається з низкою системних та організаційних проблем [1, 4, 8, 10]:

1. Фінансові бар’єри: високий обсяг початкових інвестицій, який ОСББ або мешканці часто не можуть забезпечити самостійно; обмеженість грантових ресурсів та конкуренція між заявками.

2. Організаційні та соціальні виклики: складності у координації рішень серед співвласників будинку; нерівномірна участь мешканців у проєкті, що може затягнути терміни реалізації; недостатня обізнаність громадськості щодо переваг термомодернізації.

3. Технічні та кадрові проблеми: нестача кваліфікованих підрядників, енергоаудиторів та інженерів; ризик низької якості робіт або відсутності належного контролю після завершення проєкту.

4. Адміністративні бар’єри: бюрократичні перепони та складні процедури затвердження проєктів; відсутність прозорих механізмів фінансового контролю та інформаційної підтримки.

Для масштабної термомодернізації житлового фонду застосовуються різні фінансові механізми [2, 5, 7, 9]:

1. Державні програми:

- «Енергодім»: гранти на супровід проєктів, компенсації частини витрат на будівельні роботи, енергетичний аудит та сертифікацію;

- етапна виплата грантів за реалізацією проєктів, що зменшує фінансові ризики ОСББ.

2. Міжнародна підтримка

- EBRD ESSF: фінансування підпроєктів, включно з утепленням, заміною вікон, встановленням теплових насосів і PV-систем;

- ProCredit Bank Ukraine: кредитні лінії з частковим грантовим покриттям і технічним супроводом;

- програма IQ energy надала кредити та гранти понад 43 000 домогосподарствам України (інвестиції — понад 1,5 млрд грн).

3. Додаткові фінансові механізми

- гарантії від міжнародних фінансових установ, що збільшують можливості кредитування та зменшують ризики банків;

- можливість поєднання грантів, кредитів та власних коштів для досягнення оптимального фінансування проєктів.

4. Потенціал відновлюваних джерел енергії:

- встановлення PV-панелей на дахах житлових будинків може забезпечити сотні гігават генерації електроенергії;

- використання теплових насосів та сонячних колекторів дозволяє додатково знижувати енергоспоживання та підвищувати автономність будинків.

Висновки

Термомодернізація застарілого житлового фонду в Україні є стратегічно необхідним заходом: дозволяє значно скоротити енергоспоживання та витрати домогосподарств; підвищує комфорт проживання та енергонезалежність громад; сприяє виконанню міжнародних зобов'язань щодо скорочення викидів парникових газів.

Успішна реалізація залежить не лише від фінансів: залучення мешканців; контроль якості робіт; прозорі процедури та підвищення компетентності підрядників і енергоаудиторів; системна політика підтримки на місцях.

Поєднання державної підтримки, грантів, кредитів та партнерств із громадами дозволяє досягти реальних результатів: десятки тисяч будинків та сотні тисяч домогосподарств отримують переваги від термомодернізації. Подальший пріоритет — масштабування успішних кейсів, вдосконалення нормативної бази, створення "одного вікна" для реалізації проєктів та активна комунікація з населенням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фонд енергоефективності України. Що необхідно знати про програму «Енергодім» [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: https://eefund.org.ua/novyny/scho-neobkhidno-znati-pro-programu-energodim/
2. EBRD. Energy Security Support Facility (Ukraine) [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: https://www.ebrd.com/home/what-we-do/where-we-invest/ukraine/essf-ukraine.html
3. IEA – International Energy Agency. Rebuilding better and faster: why energy efficiency is key for Ukraine [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: https://www.iea.org/commentaries/rebuilding-better-and-faster-why-energy-efficiency-is-key-for-ukraine
4. EBRD Green Economy Financing Facility. EBRD and EU help 43,000 households in Ukraine become more energy efficient [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: https://ebrdgeff.com/en/ebrd-and-eu-help-43000-households-in-ukraine-become-more-energy-efficient/
5. GIZ. Support to the Energy Efficiency Fund of Ukraine [Електронний ресурс]. – 2025. – Режим доступу: https://www.giz.de/en/downloads/giz2025-ua-factsheet-eef.pdf
6. ProCredit Bank / EBRD Project. Ukraine Energy Efficiency Support under ESSF [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: https://www.ebrd.com/home/work-with-us/projects/psd/56168.html
7. okna.ua. Програма «Енергодім»: підтримка ОСББ у підвищенні енергоефективності житла [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: https://okna.ua/ua/library/osbb-prohramma-enerhodim
8. Роздільнянська районна державна адміністрація. Програма термомодернізації «Енергодім» (інформаційний буклет) [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: https://rozdilna-rda.od.gov.ua/wp-content/uploads/2022/03/008-2021-programa-energodim.pdf
9. Delyatynska hromada. Покрокова реалізація програми «Енергодім» для ОСББ [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: https://delyatynska-gromada.gov.ua/news/1723443646/
10. Rooftop photovoltaic potential assessment for Ukraine [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: https://arxiv.org/abs/2412.06937

Ободянська Ольга Ігорівна **–** кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Майструк Владислава Романівна **–** здобувач групи СМ-23б факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, e-mail: majstrukvladislava@gmail.com.

Obodyanska Olha – PhD, associate professor of department of engineering systems in construction Vinnytsia National Technical University, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Maistruk Vladyslava – student group SM-23b of the Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsa National Technical University, e-mail: majstrukvladislava@gmail.com.

УДК 628.3:621.5:697.2

О. І. Ободянська
І. Ю. Кирилюк

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ В БУДІВЛЯХ: ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглядається енергоефективність систем вентиляції та кондиціонування повітря у будівлях. Проаналізовано вплив витрат вентиляційного повітря на енергоспоживання та якість мікроклімату приміщень. Розглянуто методи оптимізації повітрообміну, включно з витісняючою вентиляцією, місцевими припливно-витяжними установками та комбінованими системами природної і механічної вентиляції. Показано, що використання регульованих систем та утилізація теплоти видаленого повітря дозволяє знизити енергоспоживання до 50 % без погіршення мікроклімату. Наголошено на значенні математичного моделювання, автоматизації систем та застосуванні датчиків якості повітря для забезпечення комфорту, енергоефективності та здорового мікроклімату.

Ключові слова: енергоефективність, вентиляція, кондиціонування повітря, витісняюча вентиляція, припливно-витяжні системи, мікроклімат, утилізація теплоти, регулювання повітряних потоків, автоматизація систем, датчики якості повітря.

Abstract

The energy efficiency of ventilation and air conditioning systems in buildings is considered. The impact of ventilation air consumption on energy consumption and indoor climate quality is analyzed. Methods for optimizing air exchange are considered, including displacement ventilation, local supply and exhaust units, and combined natural and mechanical ventilation systems. It is shown that the use of controlled systems and the utilization of exhaust air heat can reduce energy consumption by up to 50% without worsening the indoor climate. The importance of mathematical modeling, system automation, and the use of air quality sensors to ensure comfort, energy efficiency, and a healthy indoor climate is emphasized.

Keywords: energy efficiency, ventilation, air conditioning, displacement ventilation, supply and exhaust systems, microclimate, heat recovery, air flow control, system automation, air quality sensors.

Вступ

Експлуатація систем вентиляції та кондиціонування повітря значно впливає на споживання енергії будівлями. Витрати енергії, необхідні забезпечення мікроклімату, пов’язані з необхідністю подачі певних обсягів вентиляційного повітря, попередньо нагрітого чи охолодженого, зволоженого чи осушеного. Зниження витрати вентиляційного повітря призводить до економії енергії, але водночас може спричинити погіршення якості повітря, а отже, і мікроклімату приміщень.

Таким чином, вимоги забезпечення якісного мікроклімату приміщень та енергоефективності систем вентиляції та кондиціонування повітря можуть суперечити. Тому при проектуванні та експлуатації зазначених систем необхідно знаходити стратегію та технічні рішення, що задовольняють як вимоги низького споживання енергії, так і забезпечення необхідного мікроклімату приміщень.

При проектуванні енергоефективних будівель склалися певні принципи та вимоги до конструкцій систем вентиляції та кондиціювання повітря, які формулюються таким чином [1, 2, 3, 4]:

- розрахункова витрата енергії на систему вентиляції та кондиціювання має бути мінімальною;
- прийнятий розрахунковий повітрообмін повинен забезпечувати видалення шкідливостей, що виділяються людьми, обладнанням, будівельними конструкціями, оздоблювальними матеріалами, меблями тощо;
- системи природної та механічної вентиляції та кондиціювання повинні бути аеродинамічно стійкими;

- слід забезпечити регулювання повітряних потоків, що покращують якість повітря та знижують витрати енергії на його переміщення;

- повинна бути організована утилізація теплоти вентиляційного повітря, що видаляється;

- необхідний акустичний захист від шуму, що генерується системами механічної вентиляції;

- слід організувати якісну експлуатацію та технічне обслуговування систем.

Результати дослідження

Вирішення проблеми з економії енергії в системах вентиляції та кондиціювання повітря починається при розробці проектної документації на будівлю або споруду. Енергозбереження є багатоплановим завданням і торкається всіх етапів проектування – від вибору вихідних даних до проекту автоматизації. Основним інструментом щодо об'ємних витрат повітря та її характеристик, організації повітрообміну у приміщеннях, аеродинамічних показників систем служить математичне моделювання. Його застосування дозволяє оптимізувати умови організації мікроклімату приміщень у літній та зимовий періоди за величиною енерговитрат.

При вирішенні загального завдання оптимізації систем вентиляції та кондиціювання повітря повинні враховуватися окремі приватні завдання, що впливають на їхню загальну енергоефективність.

Наприклад, теплова потужність, яка споживається припливною системою вентиляції в зимовий період для підігріву припливного повітря, визначається за формулою [5]

$$Q = L\rho_{з}(h_{в} - h_{з}),$$

де Q – теплова потужність, кВт;

L – продуктивність, м^3/год;

$\rho_{з}$ – щільність зовнішнього повітря, кг/м^3;

$h_{в}$, $h_{з}$ – ентальпія відповідно внутрішнього та зовнішнього повітря, кДж/кг.

Потужність на валу вентилятора вказаної системи [6]

$$N = \frac{L\Delta p}{\eta}\beta,$$

де Δp – тиск, Па;

η – коефіцієнт корисної дії вентилятора;

β – коефіцієнт запасу потужності.

З наведених формул видно, що зменшення енергоспоживання залежить від зменшення значень входять до них величин (переважно від продуктивності вентиляційної системи повітрям).

Великий вплив на кількість енергії, яка споживається системою вентиляції та кондиціонування повітря, надає правильний вибір подачі та розподілу припливного повітря у приміщенні. Комфортні умови в ньому досягаються за рахунок змішування припливного та внутрішнього повітря до прийнятних кондицій або заміщення відпрацьованого повітря, а також вибору робочої різниці температур [5]:

$$\Delta t_{р} = t_{вн} - t_{пр},$$

Одним із способів підвищення ефективності систем є використання витісняючої вентиляції. Її перевага полягає у підвищенні ефективності повітрообміну в робочій зоні та зниженні енерговитрат на підготовку повітря. Конвективні потоки переносять чисте повітря припливу в зону дихання людини.

У системах витісняючої вентиляції припливне повітря подається в зону приміщення, що обслуговується, через повітророзподільники, розташовані на рівні підлоги або вбудовані в підлогу. Його температура має бути на 1...8 °С нижче температури повітря в приміщенні.

Видалення забрудненого повітря, що витісняється у верхню зону, здійснюється під стелею приміщень. Схема руху потоків повітря показано на рис. 1 [2, 8].

Стійка робота витісняючої вентиляції забезпечується за умови, що об'єми повітря, що подається, дорівнюють сумі об'ємів повітря в конвективних потоках над тепловими джерелами, розташованими вище рівня обслуговуваної зони [5]:

$$V_1 = V_2 + V_3 + \ldots + V_i,$$

де V_1 – обсяг повітря, що подається, м^3/год;

V_2, V_3, ..., V_i – обсяги повітря в конвективних потоках, м^3/год.

Місцеві витяжні та припливні установки у системах промислової вентиляції використовуються досить давно. Подача чистого повітря безпосередньо на місце знаходження людини є перевіреним прийомом забезпечення її якості. Вже зараз цей прийом може бути використаний для квартири,

кабінету чи офісу. Пропонується здійснювати приплив свіжого та відбір відпрацьованого повітря безпосередньо в зоні дихання: біля робочого столу, крісла чи узголів'я ліжка [7].

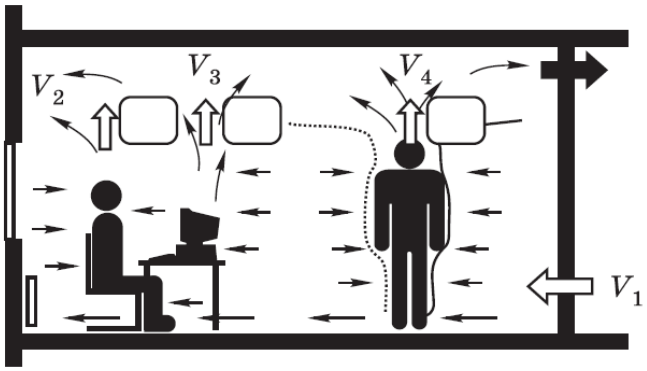


Рис. 1. Схема руху потоків повітря при витісняючій вентиляції у невиробничих приміщеннях

Основні переваги місцевих систем вентиляції полягають у можливості індивідуального регулювання мікроклімату та економії теплоти на підготовку повітря та електроенергії на привід вентилятора.

Вид вентиляції (природної чи механічної) для будівель різного призначення істотно позначається як якості повітря, і витратах енергії його приготування. У системах механічної вентиляції витрата енергії за рахунок підготовки повітря та приводу вентиляторів більша, ніж у системах природної вентиляції при одних і тих же його витратах. У той же час механічна вентиляція краще забезпечує стабільність повітрообміну та контроль якості мікроклімату. Вибір виду вентиляції відіграє істотну роль при організації вентиляції особливо житлових будинків. Пріоритетним є максимальне використання природної вентиляції [9].

Встановлення герметичних вікон призвело до втрати працездатності систем природної вентиляції, що спричинило різке погіршення якості повітря в квартирах, зростання захворюваності, порушення вологого режиму. Відкриття вікон, кватирок відновлює роботу природної вентиляції, але призводить до надмірного вентилювання приміщень і перевитрати енергії. Забезпечити нормальний повітрообмін у квартирах та виключити появу плісняви на стінах без організованої подачі зовнішнього повітря неможливо. Можна використовувати припливно-витяжну вентиляцію із центральним підігрівом повітря, проте це збільшує вартість системи вентиляції [10].

У країнах широко застосовується схема механічної витяжної вентиляції з приточними децентралізованими пристроями. Приточні пристрої встановлюються у віконній рамі, блоці або стіні над вікном або поруч із ним. Прикладом може бути автоматичний саморегульований припливний клапан ASTATO серії 2А. Номінальні витрати повітря - 45, 30 та 22 м^3/год. Принцип дії ґрунтується на переміщенні ролика по каналу параболічного профілю. У діапазоні тисків 20...100 Па витрата змінюється лише на 15 м^3/год. Клапани мають звукоізолюючу властивість, виконують функції зворотного клапана [11].

Відпрацьоване повітря видаляється з приміщень через витяжні решітки стояками і колекторами за допомогою центрального механічного вентилятора. Комбінація пасивного припливу з механічною витяжкою дозволяє в 3 – 4 рази знижувати витрати на забезпечення вентилювання будівлі в порівнянні з традиційною механічною припливно-витяжною вентиляцією. Регулювати інтенсивність природної вентиляції можна за допомогою витяжних вентиляційних решіток.

У системах як природної, і механічної вентиляції ефективне використання енергії може бути забезпечене з організацією змінного режиму витрати повітря за результатами поточного контролю концентрації шкідливостей.

У вентильованих приміщеннях може бути встановлений один із наступних датчиків якості повітря:

- датчик вуглекислого газу;
- датчик газової суміші, що вимірює вміст газів та парів у внутрішньому повітрі;
- датчик присутності.

При використанні систем, що регулюються залежно від мінливої концентрації забруднюючих речовин, економія енергії досягає до 50 % на рік (у порівнянні з системами з постійною витратою

повітря) без погіршення якості повітря. Засобом економії теплової енергії при організації вентиляції служить утилізація теплоти повітря, що видаляється [12].

Висновки

Енергоефективність систем вентиляції та кондиціонування повітря є комплексним завданням, що потребує збалансованого підходу між мінімізацією витрат енергії та забезпеченням високої якості мікроклімату приміщень. Основними напрямами підвищення енергоефективності є оптимізація витрат повітря, регулювання повітряних потоків, утилізація теплоти видаленого повітря, використання витісняючої вентиляції та застосування місцевих припливно-витяжних систем. Математичне моделювання дозволяє прогнозувати та оптимізувати енергоспоживання систем вентиляції та кондиціонування у різні сезони року, враховуючи як теплові, так і аеродинамічні показники.

Застосування витісняючої вентиляції та місцевих припливно-витяжних систем сприяє ефективному розподілу повітря у робочій зоні, підвищує комфорт перебування та дозволяє значно зменшити енергоспоживання. Комбіновані системи природної та механічної вентиляції з регулюванням за концентрацією шкідливостей або присутністю людей забезпечують економію до 50 % енергії без погіршення якості повітря. Впровадження автоматизованих датчиків якості повітря, CO_2, газових сумішей та присутності, а також використання утилізації теплоти видаленого повітря, є ключовими заходами для досягнення енергоефективності та збереження здорового мікроклімату.

Для житлових будинків пріоритетним є максимальне використання природної вентиляції з контролем інтенсивності та доповненням механічними системами у випадках недостатньої продуктивності або герметизації приміщень. Правильне проектування та експлуатація систем вентиляції та кондиціонування дозволяє одночасно забезпечити високу якість повітря, комфорт перебування та значну економію енергетичних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 71 с.
2. Попов А. П. Основи вентиляційних систем / А. П. Попов, О. В. Кравченко. – Харків: ХНАМГ, 2015. – 152 с.
3. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будівель і споруд. Вентиляція і кондиціонування. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2008. – 26 с.
4. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо використання (ISO 50001:2018, IDT). – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 32 с.
5. Системи управління вентиляцією. Новітні рішення / ред. П. М. Руденко. – Львів: «Теплоенергопром», 2018. – 198 с.
6. Шульга М.О. Вентиляція та кондиціювання повітря. Навчальний посібник. / М.О. Шульга, І.П. Юхно. – Харків: ХНАМГ, 2004. – 148 с.
7. Енергоефективні інженерні системи клімат-контролю приміщень ювелірного виробництва / О.І. Ободянська, О.В. Мельник/ LIV науково-технічна конференція ФБЦЕІ ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2025. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/23768.
8. Джеджула В.В. Вентиляція та кондиціювання громадських об`єктів: навчальний посібник / Джеджула В.В. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 71 с.
9. Огляд систем вентиляції повітря громадських будівель / О.І. Ободянська, Г.О. Меньшиков // Всеукраїнська науково-практична інернет-конференція “Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи” (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2020. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/paper/view/8620/7192.
10. Слободян Н.М. Організація та технологія проєктування систем теплопостачання та вентиляції: навчальний посібник / Слободян Н.М., Панкевич О.Д., Ободянська О.І. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 102 с.
11. Пусконалагоджувальні роботи в інженерних системах / О.І. Ободянська / LIII науково-технічна конференція ФБЦЕІ ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2024. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20526/17023.
12. Налагодження та експлуатація систем вентиляції / Ободянська О.І., Дубіняк В.В.// Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві» Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2024. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2024/paper/view/22487.

Ободянська Ольга Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Кирилюк Ігор Юрійович – студент групи ТГ-24м факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, e-mail: ihor.kirilyuk7896@gmail.com.

Obodyanska Olha – PhD, associate professor of department of engineering systems in construction Vinnytsia National Technical University, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Kirilyuk Ihor – student group TG-24 of the Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsa National Technical University, e-mail: ihor.kirilyuk7896@gmail.com.

УДК 621.577

А. Я. Панченко
Н. М. Слободян

ПЕРЕВАГИ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ НАД ТРАДИЦІЙНИМИ СИСТЕМАМИ ОПАЛЕННЯ І ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація
Розглядаються переваги теплових насосів над традиційними системами опалення та гарячого водопостачання.
Ключові слова: теплові насоси, експлуатаційні витрати, системи теплопостачання.

Abstract
The advantages of heat pumps over traditional heating and hot water systems are considered.
Keywords: heat pumps, operating costs, heating systems.

Основна частина

До переваг теплових насосів у першу чергу слід віднести економічність: для передачі в систему опалення 1 кВт·год теплової енергії установці необхідно витратити лише 0,2-0,35 кВт·год електроенергії. Він не потребує спеціальної вентиляції приміщень та абсолютно безпечний. Усі системи функціонують із використанням замкнутих контурів і не вимагають експлуатаційних витрат, крім вартості електроенергії, яка потрібна для роботи устаткування.

Теплові насоси дозволяють утилізувати теплові викиди від промислових та енергетичних підприємств, що у свою чергу покращує загальний тепловий фон навколишнього середовища. Ще однією перевагою теплових насосів є можливість перемикання з режиму опалення взимку на режим кондиціювання влітку: замість радіаторів до зовнішнього колектора підключаються фанкойли [1].

Тепловий насос надійний, його роботою керує автоматика. У процесі експлуатації система не потребує спеціального обслуговування, можливі маніпуляції не вимагають особливих навичок та описані в інструкції. Важливою особливістю системи є суто індивідуальний характер для кожного споживача, який полягає в оптимальному виборі стабільного джерела низькопотенційної енергії, розрахунку коефіцієнта перетворення, окупності та іншого.

Теплонасос компактний (його модуль за розмірами не перевищує звичайний холодильник) і практично безшумний. При цьому тепловий насос здатний, використовуючи високопотенційні джерела енергії, «накачати» у приміщення від 200% до 600% низькопотенційної теплової енергії. У цьому немає порушення закону збереження енергії.

Тому застосування теплових насосів для обігріву приміщень набагато ефективніше за газові котли. Сучасні газотурбінні установки на електростанціях мають ККД, що істотно перевищує ККД газових котлів. В результаті при переході електроенергетики на сучасне обладнання та при застосуванні теплових насосів можна отримати економію газу до 10 разів у порівнянні з газовими котлами [2].

Але поширенню теплових насосів заважає недостатня поінформованість населення. Потенційних покупців лякають досить високі початкові витрати: вартість насоса та монтажу системи становить 300-1200 $ на 1 кВт необхідної потужності опалення. Але грамотний розрахунок переконливо доводить економічну доцільність застосування цих установок: капіталовкладення окупаються, за орієнтовними підрахунками, за 4-9 років, а теплонасоси служать по 15-20 років до капремонту [3].

Ще більш перспективною є система, що комбінує в єдину систему теплопостачання геотермальне джерело і тепловий насос. При цьому геотермальне джерело може бути як природного (вихід геотермальних вод), так і штучного (свердловина із закачуванням холодної води в глибокий шар та виходом на поверхню нагрітої води) походження. Іншим можливим застосуванням теплового насоса може стати його комбінування з системами централізованого теплопостачання. До споживача

в цьому випадку може подаватися відносно холодна вода, тепло якої перетворюється тепловим насосом на тепло з потенціалом, достатнім для опалення. Але при цьому внаслідок меншої температури теплоносія втрати на шляху до споживача (пропорційні різниці температури теплоносія та навколишнього середовища) можуть бути значно зменшені. Також буде зменшено знос труб центрального опалення, оскільки холодна вода має меншу корозійну активність, ніж гаряча [4, 5].

Висновок

Переваги теплових насосів над традиційними системами опалення та гарячого водопостачання:

- економічність;
- можливість перемикання з режиму опалення взимку на режим кондиціювання влітку:
- компактність, безшумність в роботі.
- можливість комбінування з системами централізованого теплопостачання.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії України / НАН України, Інститут відновлюваної енергетики, Держ. ком. України з енергозбереження –К., 2005.– 45 с..
2. Аналіз сучасного стану альтернативної енергетики та рекомендації по екологізації паливно-енергетичного комплексу України. [Електронний ресурс]- Режим доступу: http://eco.com.ua/content/analiz-suchasnogo-stanualternativnoi-energetiki-ta-rekomendatsii-po-ekologizatsii-palivno-e
3. Ратушняк Г.С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання: навч. посіб./ Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула , К. В. Анохіна – Вінниця: ВНТУ, 2010
4. Навчальний посібник. Низькопотенційна енергетика. А.О.Редько, М.К. Безродний, М.В. Загорученко, О.Ф. Редько, Г.С. Ратушняк, М.Г.Хмельнюк. Харків 2016.
5. Сидорчук Б. П. Про задачу визначення передаточної функції грунтового теплообмінника / Б. П. Сидорчук // Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2014. – Вип. 3(67). – С. 332-338.

Панченко Артем Ярославович – магістрант кафедри Інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, email: Pantimoha2002@gmail.com

Panchenko Artem – Master's student of the Department of Engineering Systems in Construction, Vinnytsia National Technical University, email: Pantimoha2002@gmail.com

Науковий керівник: Слободян Наталія Михайлівна – к.т.н, доцент кафедри ІСБ, Вінницький національний технічний університет ORCID 0000-0002-2111-1434, email: slobodian@vntu.edu.ua

Scientific supervisor: Natalia Slobodian – Ph.D., associate professor of the Department of Information Technology, Vinnytsia National Technical University ORCID 0000-0002-2111-1434, email: slobodian@vntu.edu.ua

УДК 621.644:628.8

О. І. Ободянська
О. О. Зелений

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОВИХ МЕРЕЖ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто особливості побудови, розподілу та експлуатації систем газопостачання промислових підприємств і виробничих котелень. Проаналізовано принципи підключення підприємств до розподільних газопроводів високого, середнього та низького тиску залежно від потреб виробництва і технологічного процесу. Охарактеризовано основні елементи системи газопостачання, включаючи газорегуляторні пункти (ГРП), газорегуляторні установки (ГРУ), міжцехові та внутрішньоцехові газопроводи. Особливу увагу приділено вибору способу прокладання газопроводів, вимогам до вентиляції, безпеки та пожежного захисту газифікованих приміщень. Наведено рекомендації щодо технічної експлуатації та автоматизації газових систем, а також визначено фактори, що впливають на вибір раціональної схеми газопостачання промислового підприємства. Зазначено, що підвищення ефективності газопостачання сприяє зменшенню металоємності мережі, покращенню економічних показників та підвищенню безпеки експлуатації.

Ключові слова: газопостачання, промислове підприємство, газорегуляторний пункт, газопровід, безпека, вентиляція, експлуатація, автоматизація.

Abstract

The features of the construction, distribution and operation of gas supply systems of industrial enterprises and production boiler houses are considered. The principles of connecting enterprises to high, medium and low pressure distribution gas pipelines depending on the needs of production and technological process are analyzed. The main elements of the gas supply system are characterized, including gas regulation points (GRP), gas regulation units (GRU), inter-shop and intra-shop gas pipelines. Particular attention is paid to the choice of the method of laying gas pipelines, the requirements for ventilation, safety and fire protection of gasified premises. Recommendations are given on the technical operation and automation of gas systems, and factors influencing the choice of a rational gas supply scheme for an industrial enterprise are also identified. It is noted that increasing the efficiency of gas supply contributes to reducing the metal content of the network, improving economic indicators and increasing operational safety.

Keywords: gas supply, industrial enterprise, gas control point, gas pipeline, safety, ventilation, operation, automation.

Вступ

Системи газопостачання промислових підприємств та виробничих котелень є невід'ємною складовою сучасного енергетичного забезпечення виробництв. Від їхньої надійності, безпеки та ефективності залежить стабільність технологічних процесів, економічність роботи обладнання та екологічна безпека об'єктів. Газ як паливо широко застосовується у промислових печах, котельнях, сушильних установках і технологічних агрегатах, забезпечуючи високу теплотворну здатність і зручність автоматизації процесів горіння. Розробка та експлуатація систем газопостачання потребує врахування особливостей технологічного циклу підприємства, параметрів споживання, умов розміщення комунікацій та вимог безпеки [4].

Метою даної роботи є аналіз принципів побудови систем газопостачання промислових підприємств, визначення структурних елементів мереж, вимог до їх монтажу, експлуатації та безпеки, а також розгляд особливостей використання газового палива у промислових установках різного призначення.

Результати дослідження

Системи газопостачання промислових підприємств та виробничих котелень можна розділити на дві цільові групи, одна з них – це резервне газопостачання, а друга – використання пропан-бутану як основний вид енергоносія. Газові мережі великих підприємств з необхідністю використання в цехах

газу середнього та високого тиску підключають до розподільних газопроводів високого тиску. У центральному ГРП здійснюється замір витрати газу та редукування його до величини високого тиску, необхідного для цехів, і до середнього тиску, необхідного для інших цехів. Промислові підприємства постачають газом, як правило, по системах розподільчих газопроводів високого або середнього тиску. При малих витратах газу, які не порушують режиму газопостачання побутових споживачів, можливе підключення підприємств до газопроводів низького тиску [1].

Система газопостачання підприємства складається із введення на територію, міжцехових газопроводів, ГРП та ГРУ та внутрішньоцехових газопроводів. Введення зазвичай роблять підземним і розміщують на ньому головний пристрій, що відключає. Міжцехові газопроводи в залежності від планування підприємства, насиченості його території підземними та надземними комунікаціями, ступеня осушеності газу та низки інших факторів можуть бути підземними, надземними та змішаними. На підприємствах частіше віддають перевагу надземному прокладанню міжцехових газопроводів, так як вони в цьому випадку не схильні до підземної корозії, більш доступні для огляду та ремонту, менш небезпечні при витоках газу та економічніше підземних. Освітлення приміщень з газифікованими котлами, печами та іншими агрегатами має бути природним у денний та електричний час у нічний час.

Вентиляція, природна або примусова, повинна забезпечувати не менш ніж триразовий повітрообмін без урахування повітря, необхідного для горіння газу. Приплив повітря зазвичай здійснюється за котлами, а витяжка – з верхньої зони. При використанні примусової вентиляції витяжні вентилятори та їх електромотори з пусковою апаратурою мають бути у вибухозахищеному виконанні. У печах, котлах та інших агрегатах застосовують виготовлені за діючими нормалями або проєктом газові пальники, що забезпечують стійкість горіння в межах необхідного регулювання теплового навантаження агрегату. Для розпалювання пальників та спостереження за їх роботою на фронтальному щиті або дверцятах топок агрегатів роблять оглядові отвори з кришками, якщо таких отворів немає в самих пальниках. Відстань від виступаючих частин пальників або арматури агрегату до стін, колон або будь-яких споруд має бути не менше 1 м [2, 3].

Приміщення газифікованих цехів та котелень мають бути забезпечені засобами пожежогасіння за нормами пожежного нагляду. Широке застосування газового палива в промислових печах підвищує економічність їх роботи, дозволяє вдосконалювати технологію теплових процесів та здійснювати їх автоматичне регулювання, спрощувати обслуговування печей та покращувати санітарно-гігієнічні умови у виробничих приміщеннях. Призначення печей вимагає організації передачі тепла від газового факела і продуктів горіння виробам, що нагріваються, і матеріалам різними способами. Передача тепла може здійснюватися променевипусканням, конвекцією та теплопередачею [5, 6].

За способом застосовуваного теплообміну і температури печі, що досягається в робочому просторі, поділяють на три групи [7]:

1. Високотемпературні (вище 1000 ° С), в яких переважає передача тепла променевипусканням.

2.Середньотемпературні (650÷1000 °С), у яких одночасно з передачею тепла променевипусканням набуває значення теплопередача конвекцією.

3. Низькотемпературні (нижче 650 ° С), у яких переважає передача тепла конвекцією.

По стінах будівель газопроводи прокладають на кронштейнах, а по перекриттям – на опорах висотою не менше 0,5 м. Компенсація температурних деформацій надземних газопроводів забезпечується відведеннями та поворотами їх у горизонтальній та вертикальній площинах, а за необхідності – лінзовими або П-подібними компенсаторами. Частина опор роблять нерухомими (мертвими), інші – ковзними. Відведення газопроводів діаметром до 100 мм роблять гнутими або штампованими, а при великих діаметрах зварними. Надземні газопроводи вологого газу прокладають з ухилом не менше 0,003, а нижніх точках монтують дренажні штуцери; за потреби такі газопроводи утеплюють. На всіх відгалуженнях до цехів встановлюють пристрої, що відключають, а на вводах в цехи монтують продувні лінії для витіснення повітря з газопроводу при первинному пуску газу [8].

Для захисту від корозії надземні газопроводи фарбують олійною фарбою двічі. Внутрішньоцехові газопроводи прокладають відкрито і кріплять до стін, колон, перекриття будівель і каркасів газоспоживаючих агрегатів за допомогою кронштейнів, гаків або підвісок (на висоті не менше 2,2 м у місцях проходу людей). При прокладанні газопроводу паралельно електрокабелю відстань між ними витримується не менше 250 мм, а при перетинах – не менше 100 мм. Прилади, що відключають, повинні бути встановлені на введенні газопроводу в цех, на всіх відводах від цехового колектора до газоспоживаючих агрегатів і перед пальниками агрегатів. Для продування внутрішньоцехових газопроводів на кінцевих їх ділянках передбачаються продувні газопроводи діаметром не менше 19 мм

із запірними пристроями, що виводяться поза будівлею на висоту не менше 1 м вище за карниз даху. Продувні газопроводи передбачаються також на відводах до агрегатів після відключаючого пристрою на агрегат. Фарбують внутрішньоцехові газопроводи у світло-коричневий колір.

Газопостачання промислових і комунальних підприємств зазвичай здійснюють за тупиковими мережами, числом, типом і місцезнаходженням ГРП і ГРУ, а також методом прокладання газопроводів і тисками в них. Для газопостачання великих підприємств іноді застосовують кільцеві схеми з одним або для надійності з двома самостійними введеннями. На вибір конкретної схеми газопостачання впливають витрата та режим споживання газу цехами, характеристика газопальникових пристроїв та теплових агрегатів, територіальне розташування цехів, зручність обслуговування мережі та техніко-економічні показники. Газові мережі невеликих промислових підприємств, що підключаються до розподільних газопроводів середнього або високого тиску, зазвичай обладнають одним ГРП. У ГРП проводяться облік витрати газу та зниження його тиску до середнього, необхідного цехам Зниження тиску газу до низького здійснюється у внутрішньоцеховому ГРУ цеху [9].

У цехах із великою витратою газу рекомендується встановити вузли обліку витрати газу для контролю за економічністю його використання. При великій кількості цехів і при значній віддаленості від центрального ГРП доцільно в деяких цехах мати місцеві ГРУ, що забезпечують стабільність тиску газу перед пальниками теплових агрегатів. У подібних схемах газопостачання за рахунок подачі до віддалених цехів великих кількостей газу газопроводами високого і середнього тиску значно зменшується металоємність газової мережі. Вибір найбільш раціональної схеми газопостачання підприємства у кожному даному випадку проводиться на підставі техніко-економічного порівняння конкурентоспроможних варіантів мережі [10, 11].

Схеми внутрішньоцехових газопроводів дуже різні, так як залежать від планування цеху, розміщення газоспоживаючих агрегатів, типу пальників і автоматичних пристроїв на агрегатах, наявності підкранових шляхів і т. п. З огляду на відсутність особливої необхідності кільцювання внутрішньоцехові газопроводи найчастіше прокладають у вигляді окремих тупикових відповідей. Загальною вимогою до схем внутрішньоцехових газопроводів є установка відключаючого пристрою і показує манометра на введенні газопроводу в цех, головних пристроїв, що відключають – на відгалуженнях газопроводу до агрегатів, продувного трубопроводу – в кінці цехового газопроводу і відключаючих пристроїв – на великих по протяжності відповідів. Газоспоживаючі агрегати повинні бути обладнані КВП для виміру тиску газу у пальників кожного агрегату, тиску повітря в повітроводі у пальників, розрідження в топці або борові до шибера. Агрегати, обладнані пальниками з подачею повітря від дутьових пристроїв, повинні мати блокуючі пристрої, що забезпечують автоматичне відключення газу при падінні тиску повітря нижче встановленої межі. На агрегатах, що мають димососи, передбачається блокування, яке відключає подачу газу при зупинці димососа. Котельні агрегати повинні бути обладнані автоматикою, що припиняє подачу газу при неприпустимому відхиленні тиску газу від заданого, згасанні полум'я будь-якого з основних пальників, порушенні тяги, припинення подачі повітря в пальники з примусовою подачею повітря. Необхідність встановлення вибухових запобіжних клапанів та ступінь автоматизації системи газопостачання печей, сушарок та інших агрегатів встановлюються проєктною організацією.

Висновки

Системи газопостачання промислових підприємств повинні забезпечувати надійну, безпечну та економічну подачу газу з урахуванням особливостей виробничих процесів. Раціональне проектування мереж, правильний вибір схеми газопостачання та способу прокладання газопроводів сприяють підвищенню ефективності й безпеки експлуатації. Важливу роль відіграють автоматизація, вентиляція та протипожежний захист, що забезпечують стабільну роботу систем і мінімізують ризики аварійних ситуацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інженерне обладнання будинків і споруд. Газопостачання: ДБН В.2.5-20-2018 – [Чинний від 2019–07–01]. –К. : Держбуд України, 2019. – 207 с. – (Національний стандарт України).

2. Правила безпеки систем газопостачання: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. – Офіц. Вид. – К., 2015 р. – 68 с.

3. Система газопостачання. Газопроводи підземні сталеві. Загальні вимоги до захисту від корозії: ДСТУ Б В.2.5-29:2006 – [Чинний від 2006–08–01]. –К. : Мінбуд України, 2006. – 88 с. – (Національний стандарт України).

4. Сучасні та інноваційні технології в безпеці газопостачання: монографія / В. С. Сідак, В. М. Супонєв, Ю. Ф. Броневський; за заг. Ред. В. С. Сідака; Харків. Нац. Ун-т міськ. Госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 433 с. ISBN 978-966-695-368-4.

5. Ратушняк Г. С. Управління змістом проєктів із забезпечення надійності зовнішніх газорозподільних мереж: монографія / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська. – Вінниця, 2014. – 128 с. – ISBN 978-966-641-582-3.

6. Predun K. Using fuzzy logic elements to assess the quality of natural gas / K. Predun, U. Franchuk, O. Obodyanska // The scientific heritage. – Budapest, Hungary – 2021. – №1(73). – P. 45–52.

7. Енергетична безпека газотранспортної системи України / О.І. Ободянська // Енергоефективність в галузях економіки України: збірник матеріалів міжнародної науково-технічної конференції (Вінниця, 12-14 листопада 2019 року) – 2019 – С. 247-249.

8. Засоби підвищення енергоефективності газових мереж населених пунктів / О.І. Ободянська, О.А. Іванов // Енергоефективність в галузях економіки України: збірник матеріалів міжнародної науково-технічної конференції (Вінниця, 12-14 листопада 2019 року) – 2019 – С. 253-255.

9. Енергетична безпека газотранспортної системи України / О.І. Ободянська // Енергоефективність в галузях економіки України: збірник матеріалів міжнародної науково-технічної конференції (Вінниця, 12-14 листопада 2019 року) – 2019 – С. 247-249.

10. Принципи забезпечення енергоефективності газотранспортної системи /О.І. Ободянська // Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність в галузях економіки України» (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2021. – Режим доступу https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20591.

11. Слободян Н.М. Організація та технологія проєктування систем теплогазопостачання та вентиляції: навч. Посіб. / Н. М. Слободян, О. Д. Панкевич, О. І. Ободянська. – Вінниця, ВНТУ, 2016. – 110 с.

Ободянська Ольга Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Зелений Олексій Олексійович – здобувач групи ТГ-25м факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, e-mail: zeleniy3349@gmail.com.

Obodyanska Olha – PhD, associate professor of department of engineering systems in construction Vinnytsia National Technical University, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Zelenyi Oleksii – student group TG-25 of the Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsa National Technical University, e-mail: zeleniy3349@gmail.com.

УДК 697.9

О. І. Ободянська
Е. Ф. Гарбузюк

ОПТИМІЗАЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРООБМІНУ В БУДІВЛЯХ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто принципи організації вентиляції в будівлях різного призначення з урахуванням вимог до повітряного режиму, мікроклімату та санітарно-гігієнічної безпеки. Проаналізовано вплив конструктивного виконання припливних і витяжних пристроїв на формування параметрів повітря у приміщенні та загальну ефективність повітрообміну. Наведено ключові положення вибору схем подачі та видалення повітря залежно від характеру шкідливих виділень, теплових надлишків, геометрії приміщень та призначення будівель. Особливу увагу приділено відмінностям у вентиляції житлових, громадських та промислових будівель, зокрема вибору раціональних схем розташування повітророзподільних пристроїв та умов їх ефективної експлуатації. Представлено основні конструктивні елементи припливних і витяжних систем та вимоги до їхнього розміщення, що забезпечують надійність, безпеку та стабільність роботи вентиляційних установок.

Ключові слова: вентиляція, повітрообмін, повітророзподіл, мікроклімат, припливна система, витяжна система, промислові будівлі, громадські будівлі, повітропроводи, вентиляційне обладнання.

Abstract

The paper considers the principles of organizing ventilation in buildings for various purposes, taking into account the requirements for air conditions, microclimate and sanitary and hygienic safety. The influence of the design of supply and exhaust devices on the formation of indoor air parameters and the overall efficiency of air exchange is analyzed. The key provisions for choosing air supply and exhaust schemes are given, depending on the nature of harmful emissions, heat surpluses, the geometry of the premises and the purpose of the buildings. Particular attention is paid to the differences in the ventilation of residential, public and industrial buildings, in particular the choice of rational schemes for the location of air distribution devices and the conditions for their effective operation. The main structural elements of supply and exhaust systems and requirements for their placement are presented, ensuring the reliability, safety and stability of the operation of ventilation units.

Keywords: ventilation, air exchange, air distribution, microclimate, supply system, exhaust system, industrial buildings, public buildings, air ducts, ventilation equipment.

Вступ

Ефективність вентиляції приміщення великою мірою залежить від правильного вибору та розташування пристроїв для подачі та видалення повітря. Насамперед розподіл параметрів повітря обсягом приміщення визначається конструктивним рішенням припливних пристроїв. Вплив витяжних пристроїв на швидкість руху та температуру повітря в приміщенні зазвичай незначний. У той же час, загальна ефективність вентиляції залежить від правильної організації витяжки повітря з приміщення.

Основні засади організації вентиляції [1]:

1) місцева витяжна вентиляція повинна локалізувати шкідливі виділення у місцях їх утворення, запобігаючи розповсюдженню їх по приміщенням;

2) припливне повітря необхідно подавати так, щоб воно, надходячи в зону дихання людей, було чистим і мало температуру і швидкість руху відповідно до вимог санітарних норм;

3) загальнообмінна вентиляція повинна видаляти шкідливі виділення, що надходять до приміщення, забезпечуючи в зоні, що обслуговується, допустимі значення параметрів – температури, відносної вологості, швидкості руху повітря та концентрації шкідливих речовин у ньому;

4) обсяги припливного та витяжного повітря повинні виключати з урахуванням повітряного режиму будівлі перетікання забрудненого повітря з приміщень із виділенням шкідливих речовин до інших приміщень.

Результати дослідження

Вибір повітророзподільних пристроїв та місця розташування їх у приміщенні залежить від призначення та габаритних розмірів приміщення, поєднання видів шкідливих виділень, вимог, що висуваються до повітряного середовища, розміщення в обсязі приміщення обладнання та робочих місць та інших умов. При цьому слід зважати на конструктивне будівельне рішення будівлі. Правильне рішення вентиляції визначає зручність монтажу та експлуатації систем вентиляції, доступність системи для ремонту, гарний зовнішній вигляд приміщення та, головне, високу ефективність повітрообміну. Вирішення питання подачі та видалення повітря залежить від конкретних умов.

При вирішенні питання подачі та видалення повітря повинно дотримуватися наступне [2, 3, 4]:

1) траєкторія подачі припливного повітря не повинна перетинати забруднені ділянки приміщення, забезпечуючи надходження в робочу зону, що обслуговується, чистого повітря;

2) при значних надлишках явного тепла в приміщенні припливне повітря в холодну пору року слід подавати з мінімально допустимою температурою, маючи на увазі його підігрів за рахунок надлишків тепла;

3) у теплий період року у всіх випадках краще подавати припливне повітря в робочу зону приміщень;

4) при вирішенні повітророздачі необхідна перевірка рівня температури та швидкості руху повітря на робочих місцях; при цьому слід враховувати взаємний вплив струменевих течій, стисненість струменів огорожами та технологічним обладнанням, властивість струменів настилатися на поверхні та збуджувати циркуляційні потоки;

5) при недоліках тепла у приміщенні та виконанні вентиляцією функцій системи опалення припливне повітря потрібно подавати в робочу зону приміщення.

Найбільш простим прикладом організації повітрообміну є вентиляція приміщень у житлових будинках, гуртожитках та готелях. За існуючими нормами в цих будинках влаштовують витяжну вентиляцію із верхньої зони приміщень кухонь, санітарних вузлів, ванних та душових кімнат, а в деяких випадках і житлових кімнат. Припливне повітря надходить неорганізовано через кватирки та нещільності в огородженнях. Регулювання вентиляції та збільшення повітрообміну здійснюють відкриванням вікон. У готелях підвищеної категорії рекомендується організовувати надходження повітря у верхню зону житлових приміщень номерів та видалення повітря з приміщень санітарних вузлів та ванних кімнат. В адміністративно будівлях об’ємом до 1500 м^3 вентиляцію приміщень здійснюють у вигляді витяжки з їхньої верхньої зони з неорганізованим припливом через вікна [5].

У будинках більшого обсягу витяжку з верхньої зони приміщень компенсують припливом також у їхню верхню зону («зверху – вгору»). Витрата повітря, що подається в приміщення і видаляється з них, приймається таким чином, щоб унеможливити перетікання повітря з одних приміщень до інших. У громадських будинках (дитячі заклади, загальноосвітні школи, лікувально-профілактичні установи, вищі та середні навчальні заклади, магазини тощо) вентиляцію основних приміщень здійснюють також за схемою «зверху – вгору», тобто і припливні та витяжні отвори розміщують у верхній зоні приміщення.

У приміщеннях з високими вітражами за відсутності нагрівальних приладів під ними припливне повітря доцільно подавати через поздовжні щілини в підлозі під вікнами струменями, що настилаються. Припливне повітря можна подавати з боку однієї з торцевих стін приміщення або з боку двох торцевих стін назустріч один одному, що значно знижує швидкість руху повітря в зоні, що обслуговується. У цих же приміщеннях при гладкій стелі може бути організована подача припливного повітря струменями, що настилаються на стелю через плафони [6].

Схеми рішення вентиляції у залах глядачів театрів, кінотеатрів та клубів [1]:

1) у залах без балконів з кількістю місць до 400 подання повітря у верхню або середню за висотою зону приміщення;

2) у залах без балконів з кількістю місць більше 400 подача повітря у верхню зону приміщення горизонтальними зосередженими струменями через отвори в торцевій стіні або через грати або плафони у стелі, що направляють повітря вздовж стелі у бік сцени чи екрана;

3) за наявності балкона додатково передбачається приплив повітря через отвори в задній стіні під балконами у кількості, пропорційній кількості місць, розташованих у підбалконному просторі;

4) витяжка здійснюється через отвори у стелі або у верхній частині стін біля сцени чи екрана;

5) в холодний період року частина повітря, що видаляється, надходить на рециркуляцію.

У будинках підприємств комунального харчування схема вентиляції визначається призначенням приміщень. В обідніх та торгових залах повітря подають у верхню зону приміщень, а видаляють з верхньої зони та через отвори (роздавальні вікна, двері) у технологічні приміщення. У гарячих цехах (кухнях) та мийках повітря подають у робочу зону, а видаляють через місцеві відсмоктувачі та з верхньої зони.

При організації повітрообміну в приміщеннях промислових будівель можливе застосування таких схем [8]:

а) «знизу – вгору» – при одночасному виділенні тепла та пилу, у цьому випадку повітря подають у робочу зону приміщення, а видаляють із верхньої зони;

б) «згори – вниз» – при виділенні газів, пар летких рідин (спиртів, ацетону, толуолу тощо) або пилу, а також при одночасному виділенні пилу та газів; у цих випадках повітря подають розосереджено у верхню зону, а видаляють місцевою витяжною вентиляцією з робочої зони приміщення та системою загальнообмінної вентиляції з його нижньої зони (можливе часткове провітрювання верхньої зони);

в) «згори – вгору» – у виробничих приміщеннях при одночасному виділенні тепла, вологи та зварювального аерозолю, а також у допоміжних виробничих будинках при боротьбі з теплонадлишками; зазвичай у цих випадках повітря подають у верхню зону приміщення та видаляють з його верхньої зони;

г) «знизу – вгору і вниз» – у виробничих приміщеннях при виділенні парів і газів з різними щільностями і неприпустимість їх скупчення у верхній зоні через небезпеку вибуху або отруєння людей (малярні цехи, акумуляторні і т. д.); у цьому випадку подачу припливного повітря здійснюють у робочу зону, а загальнообмінну витяжку - з верхньої та нижньої зон;

д) «згори та знизу – вгору» — у приміщеннях з одночасним виділенням тепла та вологи або з виділенням тільки вологи при надходженні пари в повітря приміщення через нещільності виробничої апаратури та комунікацій, з відкритих поверхонь рідин у ваннах та зі змочених поверхонь підлоги; у цих випадках повітря подають у дві зони — робочу та верхню, а видаляють із верхньої зони. При цьому для запобігання туманоутворенню та краплі зі стелі припливне повітря, що подається у верхню зону, дещо перегрівають у порівнянні з повітрям, що подається в робочу зону.

У житлових будинках влаштовують витяжні канальні системи природної вентиляції. Зовнішнє підігріте повітря можна подавати в приміщення житлових будинків системами повітряного опалення; зовнішнє непідігріте повітря надходить у приміщення через кватирки, що відкриваються, і фрамуги, нещільності в будівельних огородженнях і спеціальні припливні отвори (підвіконні щілини). Радіус дії канальних систем природної вентиляції рекомендується приймати не більше 8 м. В одну систему можна поєднувати витяжні канали однойменних або близьких за призначенням приміщень будівлі. Вентиляційні системи квартир, гуртожитків та готелів не можна поєднувати з вентиляційними системами дитячих, торгових та інших установ, вбудованих у той самий будинок. Витяжні канали приміщень санітарних вузлів поєднують у самостійну систему вентиляції. У будинках з кількістю поверхів до п’яти не допускається приєднувати до одного витяжного каналу приміщення, що розташовані на різних поверхах. У будинках з числом поверхів понад п’ять допускається об’єднання окремих вертикальних витяжних каналів з кожних чотирьох-шістьох поверхів в один збірний магістральний горизонтальний або вертикальний канал за схемою. Це правило відноситься також до громадських та комунальних будівель [3].

У будинках громадського та комунального призначення можливе застосування природної та механічної вентиляції. Вентиляційні установки цих будівель при великій кількості об’єднують у вентиляційні центри. Окремі припливні установки можуть бути розміщені і на поверхах будівлі, що обслуговується. Витяжні центри мають у своєму розпорядженні, як правило, на технічних поверхах або на горищах.

У громадських будинках не допускається об’єднання горизонтальними каналами витяжних отворів кількох приміщень. Не допускається приєднання витяжних отворів приміщень санітарних вузлів та витяжних отворів інших приміщень до одного каналу або однієї шахти [4].

Промислові будівлі мають системи вентиляції зі своїми специфічними особливостями влаштування та розміщення. Способи вентиляції та кількість вентиляційних установок на підприємствах залежать від характеру технологічного процесу, потужності підприємства, а також його економічної значимості. У промислових будинках можливе розміщення вентиляційного обладнання у виробничих приміщеннях або зовні будівлі – на стінах (на кронштейнах) або покрівлі, але у будь-якому випадку мають бути забезпечені зручне обслуговування вентиляційного обладнання та захист його від

можливої конденсації вологи. Всередині будівлі вентиляційне обладнання встановлюють у вентиляційних камерах, іноді допускається встановлення його безпосередньо в приміщенні, що обслуговується. При проектуванні систем вентиляції слід прагнути до найменшої довжини повітроводів, яка визначається їх радіусом дії [5].

Приточні установки складаються з наступних елементів [7]:

1) повітроприймальних пристроїв для забору зовнішнього повітря;

2) припливної камери, в якій розміщуються вентилятор з електродвигуном та установки для відповідної обробки повітря (фільтри для очищення зовнішнього повітря від пилу, калорифери для нагрівання повітря, пристрої для охолодження та зволоження повітря);

3) мережі повітроводів, якими припливне повітря від вентилятора направляється у вентильовані приміщення;

4) припливні отвори чи насадок, якими повітря надходить у приміщення;

5) жалюзійних та декоративних решіток чи сіток, що встановлюються на виході повітря з припливних отворів;

6) регулюючих пристроїв (дросель-клапанів або засувок), що розташовуються в повітроприймальних отворах та на відгалуженнях повітроводів.

Витяжні установки складаються з наступних елементів [9]:

1) витяжних отворів, з жалюзійними решітками або сітками;

2) місцевих відсмоктувачів різної конструкції;

3) повітроводів, якими повітря, що видаляється з приміщень, рухається у витяжну камеру або до вентилятора;

4) витяжної камери, в якій встановлюються вентилятор із електродвигуном, або вентилятора з електродвигуном, встановленими без камери;

5) пристроїв для очищення повітря, що викидається в атмосферу або повертається на рециркуляцію;

6) витяжну шахту для видалення повітря в атмосферу;

7) регулювальних пристроїв.

Висновки

Ефективність вентиляції будівель різного призначення значною мірою визначається правильним вибором схем подачі та видалення повітря, раціональним розміщенням повітророзподільних пристроїв і урахуванням характеру шкідливих виділень, теплових надлишків та планувальних рішень приміщень. Організація повітрообміну повинна забезпечувати надходження чистого повітря в зону дихання людей, локалізацію шкідливостей у місцях їх утворення та підтримання параметрів мікроклімату в допустимих межах. Аналіз типових схем вентиляції житлових, громадських та промислових будівель показує, що вибір способу подачі повітря («зверху – вгору», «знизу – вгору», «згори – вниз» тощо) залежить від специфіки технологічних процесів, теплових і вологісних навантажень, а також вимог до санітарної безпеки.

Раціональне проектування вентиляційних систем передбачає оптимізацію траєкторії руху струменів, уникнення перетікання забрудненого повітря між приміщеннями, забезпечення зручності монтажу та обслуговування обладнання і мінімізацію довжини повітроводів. Правильно спроєктовані припливні та витяжні установки, у поєднанні з місцевими відсмоктувачами та вентиляційними центрами, дозволяють підтримувати стабільний повітряний режим, підвищувати енергоефективність будівель та гарантувати безпечні умови праці і перебування людей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Попов А. П. Основи вентиляційних систем / А. П. Попов, О. В. Кравченко. – Харків: ХНАМГ, 2015. – 152 с.

2. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 71 с.

3. Системи управління вентиляцією. Новітні рішення / ред. П. М. Руденко. – Львів: «Теплоенергопром», 2018. – 198 с.

4. Шульга М.О. Вентиляція та кондиціювання повітря. Навчальний посібник. / М.О. Шульга, І.П. Юхно. – Харків: ХНАМГ, 2004. – 148 с.

5. Джеджула В.В. Вентиляція та кондиціювання громадських об`єктів: навчальний посібник / Джеджула В.В. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 71 с.

6. Слободян Н.М. Організація та технологія проєктування систем теплопостачання та вентиляції: навчальний посібник / Слободян Н.М., Панкевич О.Д., Ободянська О.І. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 102 с.

7. Пусконалагоджувальні роботи в інженерних системах / О.І. Ободянська // LIII науково-технічна конференція ФБЦЕІ ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2024. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20526/17023.
8. Огляд систем вентиляції повітря громадських будівель / О.І. Ободянська, Г.О. Меньшиков // Всеукраїнська науково-практична інернет-конференція "Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи" (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2020. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/paper/view/8620/7192.
9. Налагодження та експлуатація систем вентиляції / Ободянська О.І., Дубіняк В.В.// Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві» Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2024. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2024/paper/view/22487.

Ободянська Ольга Ігорівна **–** кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.
Гарбузюк Емілія Федорівна **–** здобувачка групи ТГ-25м факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, e-mail: eye.em6989@gmail.com.

Obodyanska Olha **–** PhD, associate professor of department of engineering systems in construction Vinnytsia National Technical University, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.
Harbuziuk Emiliia – student group TG-25 of the Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsa National Technical University, e-mail: eye.em6989@gmail.com.

УДК 697.94:697.922:620.9

О. О. Горюн
А. В. Лащенко

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ У СИСТЕМАХ МІКРОКЛІМАТУ ДОШКІЛЬНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі виконано аналітичний огляд нормативних вимог до мікроклімату дитячих садків, аналіз сучасних технічних рішень вентиляційних систем із рекуперацією теплоти, а також оцінку можливостей використання теплових насосів і сонячних колекторів для підігріву припливного повітря. Розрахункова оцінка ефекту енергозбереження здійснена на основі літературних даних і типової схеми вентиляції дитсадка.

Ключові слова: енергоефективність, вентиляція, мікроклімат, рекуперація, тепловий насос, дитячий садок.

Abstract

The paper provides an analytical review of regulatory requirements for the microclimate of kindergartens, an analysis of modern technical solutions for ventilation systems with heat recovery, and an assessment of the possibilities of using heat pumps and solar collectors for heating supply air. The calculated assessment of the energy saving effect is based on literature data and a typical kindergarten ventilation scheme.

Keywords: energy efficiency, ventilation, microclimate, recovery, heat pump, kindergarten.

Вступ

Проблема забезпечення нормативного мікроклімату у дошкільних навчальних закладах є актуальною як з позицій здоров'я дітей, так і з точки зору енергоефективності будівель. В умовах зростання вартості енергоресурсів та переходу до концепції сталого розвитку особливого значення набувають системи вентиляції та опалення, що поєднують комфорт, безпечні параметри повітря та мінімальне енергоспоживання.

Відомо, що близько 40% загального енергоспоживання будівель припадає на системи опалення і вентиляції [1]. У дитячих садках ці системи мають додаткові вимоги — безперервне забезпечення свіжим повітрям, підтримання температури 20-22°C і відносної вологості 40-60% [2, 3]. Традиційні вентиляційні установки без рекуперації супроводжуються значними тепловими втратами, тому постає завдання зниження їх енерговитрат.

Обґрунтування енергоефективної концепції системи створення мікроклімату для дошкільного навчального закладу шляхом інтеграції механічної вентиляції з рекуперацією теплоти та використанням альтернативних джерел енергії.

Результати дослідження

Забезпечення стабільного та нормативного мікроклімату в дошкільних навчальних закладах потребує поєднання вимог до якості повітря, теплового комфорту та енергоефективності. Відповідно до чинних норм [2, 3], у групових приміщеннях дитячих садків необхідно підтримувати температуру 20-22°C, відносну вологість у межах 40-60% та забезпечувати постійну подачу свіжого повітря з кратністю не менше одиниці. На практиці це створює значні теплові навантаження на системи опалення, особливо у холодний період року, коли припливне повітря потребує додаткового підігріву. За традиційних схем вентиляції без рекуперації теплоти втрата енергії через вентиляційні канали може становити до 30-40% загальних теплових витрат будівлі.

Сучасні дослідження вказують на суттєве підвищення енергоефективності при застосуванні механічної вентиляції з рекуперацією теплоти припливно-витяжного повітря, тобто MVHR (mechanical ventilation with heat recovery). В таких системах припливне та витяжне повітря проходять через рекуператор, де тепло (а в деяких моделях і волога) передається від теплого витяжного повітря до холодного припливного, що суттєво зменшує тепловтрати будівлі та підвищує

енергоефективність. MVHR є одним із найефективніших типів вентиляційних систем для сучасних енергоощадних будівель, включно з дитячими садками

У статті [1] зазначено, що системи з рекуперацією ефективністю 75-85% дозволяють скоротити первинне енергоспоживання на вентиляцію щонайменше на третину, а у деяких режимах і до 50%. Аналогічні результати отримані у роботах [4, 5], де відзначається також покращення показників якості повітря завдяки стабілізації рівня CO_2 та вологості. Це особливо важливо для дитячих садків, де щільність перебування дітей у групових приміщеннях часто перевищує середні показники житлових будівель, що виходить на перший план в контексті гігієни та профілактики респіраторних захворювань.

Інтеграція рекуперацийних систем з тепловими насосами дозволяє не лише компенсувати теплові втрати, але й оптимізувати роботу всієї системи мікроклімату. Тепловий насос «повітря-вода» чи «повітря-повітря», що працює у зв'язці з рекуператором, може використовувати не лише низькопотенційне тепло зовнішнього повітря, а й теплоту витяжного повітря після рекуперації. За даними [4], застосування теплового насоса з коефіцієнтом продуктивності COP≈3 у комбінації з MVHR знижує загальне сезонне теплове навантаження вентиляції на 50-60%.

Додатковим елементом можуть виступати сонячні колектори, які ефективно працюють у міжсезоння та забезпечують частковий підігрів теплоносія. Дослідження [6] демонструють, що навіть невеликі сонячні системи (2-4 м² на групу) здатні покривати до 15% теплового навантаження вентиляції в осінній та весняний періоди. Це знижує цикл увімкнення теплового насоса, подовжує ресурс обладнання та сприяє загальному зменшенню експлуатаційних витрат.

У таблиці наведено узагальнену порівняльну оцінку енергоспоживання різних варіантів вентиляційних систем для умов типового групового приміщення площею 50 м² та повітрообміну 200 м³/год (за даними [1, 4, 5, 7]).

Таблиця 1 – Орієнтовне річне енергоспоживання вентиляційних систем дитячого садка

Тип системи вентиляції	Наявність рекуперації	Додаткові джерела	Орієнтовне споживання тепла, МВт·год/сезон	Орієнтовна економія, %
Традиційна припливно-витяжна	—	—	8,5–9,0	—
MVHR (η≈75–80 %)	+	—	4,0–4,5	45–50 %
MVHR + тепловий насос (COP≈3)	+	ТН	3,0–3,5	55–60 %
MVHR + ТН + Solar	+	ТН + Сонячні кол.	2,5–3,0	65–70 %

Представлена інтегрована концепція, що поєднує рекуперацію теплоти, тепловий насос та сонячне тепло, дозволяє суттєво підвищити енергоефективність у порівнянні з традиційними рішеннями, одночасно забезпечуючи нормативний мікроклімат та стабільний рівень внутрішнього повітряного середовища. Враховуючи підвищені вимоги до якості повітря та теплового комфорту у дитячих закладах, такі системи доцільно розглядати як базові для нових будівель та модернізації існуючих.

Висновки

Сучасні дошкільні навчальні заклади мають значний потенціал зниження енергоспоживання за рахунок удосконалення систем мікроклімату. Найбільш ефективним є поєднання механічної вентиляції з рекуперацією теплоти, теплового насоса та допоміжного використання сонячної енергії. Орієнтовна економія теплової енергії становить до 60% при збереженні нормативних параметрів мікроклімату. Використання автоматизованого керування дозволяє підвищити стабільність мікроклімату та подовжити ресурс обладнання. Запропонована концепція може бути рекомендована для проєктування нових та реконструкції існуючих дитячих садків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ferrari S., Puglisi G., Cardelli R. Heat recovery ventilation in school classrooms — energy impact analysis / Energies. Energies 2025,18, 5069. DOI:10.3390/en18195069.[Електрон. ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/395788223_Heat_Recovery_Ventilation_in_School_Classrooms_Within_Mediterranean_Europe_A_Climate-Sensitive_Analysis_of_the_Energy_Impact_Based_on_the_Italian_Building_Stock (дата звернення: 12.11.2025).
2. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2013-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 144 с.

3. Міністерство охорони здоров'я України. Санітарний регламент для дошкільних навчальних закладів : наказ МОЗ № 234 від 24.03.2016. Київ : МОЗ України, 2016. 28 с.
4. Stabile L., Massimo A., Canale L. [et al.]. Energy and Indoor Air Quality Effects of a Retrofit in a School Building. Building and Environment. 2019. 9 (5): 110 DOI:10.3390/buildings9050110. [Електрон. ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/332903699_The_Effect_of_Ventilation_Strategies_on_Indoor_Air_Quality_and_Energy_Consumptions_in_Classrooms (дата звернення: 14.11.2025).
5. Causone F., Moazami A., Carlucci S., Pagliano L., Pietrobon M. Ventilation Strategies for the Deep Energy Retrofit of a Kindergarten. AIVC Conference Proceedings, 2015. [Електрон. ресурс]. Режим доступу: https://www.aivc.org/sites/default/files/94_0.pdf (дата звернення: 12.11.2025).
6. eCentral. Regional nZEB case studies for reference public buildings : Deliverable D.T1.1.2. Bolzano : EURAC Research, 2018. 51 p. [Електрон. ресурс]. Режим доступу: https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/DT112.pdf (дата звернення: 16.11.2025).
7. Сапунов, Анатолій Олександрович. Оцінювання енергоефективності будівлі дошкільного навчального закладу в умовах забезпечення теплового комфорту : дис. … PhD, КПІ ім. І. Сікорського, 2024. 123 С.

Олег Олегович Горюн **–** доктор філософії, старший викладач кафедри інженерних систем у будівництві, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Україна, м. Вінниця, ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail: oleggoriun@vntu.edu.ua.

Артем Валерійович Лащенко — здобувач групи ТГ-24м факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, ORCID: 0009-0009-7346-5558, e-mail: maluuqq@gmail.com.

Oleh Horiun **—** PhD, senior lecturer of the department of engineering systems in construction, faculty of construction, civil and environmental engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail : oleggoriun@vntu.edu.ua.

Artem Lashchenko — student of the TG-24m group of the Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID: 0009-0009-7346-5558, e-mail: maluuqq@gmail.com.

УДК 622.276.42

І. В. Коц

ГІДРАВЛІЧНИЙ ПУЛЬСАТОР ДЛЯ ІМПУЛЬСНОЇ ДІЇ НА ПЛАСТ З МЕТОЮ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ

Анотація

У доповіді представлено результати дослідження, спрямованого на розробку та обґрунтування застосування гідравлічного пульсатора для генерації імпульсів тиску в привибійній зоні нафтового пласта. Основною метою є інтенсифікація притоку вуглеводнів за рахунок руйнування кольматаційних утворень, збільшення проникності пласта та активізації капілярних і фільтраційних процесів. Описано принцип дії пристрою, ключові технічні характеристики та очікувані геологічно-технологічні ефекти.

Ключові слова: гідравлічний пульсатор; імпульси тиску; привибійна зона; інтенсифікація притоку; вуглеводні; кольматаційні утворення; проникність пласта; капілярні процеси; фільтраційні процеси.

Abstract

The report presents the results of a study aimed at the development and justification of using a hydraulic pulsator for generating pressure pulses in the near-wellbore zone of an oil reservoir. The main objective is the intensification of hydrocarbon inflow through the destruction of colmatation formations, enhancement of reservoir permeability, and activation of capillary and filtration processes. The principle of operation of the device, its key technical characteristics, and the expected geological and technological effects are described.

Keywords: hydraulic pulsator; pressure pulses; near-wellbore zone; inflow intensification; hydrocarbons; colmatation formations; reservoir permeability; capillary processes; filtration processes.

Вступ

Видобуток вуглеводнів часто ускладнюється зниженням проникності привибійної зони пласта (ПВЗП) внаслідок кольматації, утворення асфальтено-смолопарафінових відкладень (АСПО) та накопичення твердих фаз бурового розчину. Стандартні методи інтенсифікації не завжди забезпечують бажаний довготривалий ефект. Застосування імпульсно-хвильового впливу на пласт є перспективним напрямом, що дозволяє досягти глибокої очистки ПВЗП та підвищення її ефективної проникності.

Актуальність роботи

Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення коефіцієнта вилучення нафти (КВН) та відновлення продуктивності свердловин, що виснажуються або мають значні пошкодження ПВЗП. Розробка ефективного та надійного гідравлічного пульсатора для генерації контрольованих імпульсів тиску є важливим інженерним завданням для сучасної нафтогазової галузі, яке забезпечить економічно вигідне нарощування видобутку.

Мета роботи та заплановані завдання

Мета роботи

Розроблення та експериментальне обґрунтування конструкції гідравлічного пульсатора, що забезпечує генерацію оптимальних за амплітудою та частотою імпульсів тиску для ефективної інтенсифікації притоку вуглеводнів із пласта.

Заплановані завдання досліджень:

Проведення теоретичного аналізу механізмів впливу імпульсів тиску на фільтраційні характеристики пласта.

Розроблення конструктивної схеми гідравлічного пульсатора, що працює на принципі перетворення постійного потоку рідини на імпульсний.

Визначення оптимальних параметрів імпульсів (амплітуда, частота, форма) для різних типів колекторів.

Розроблення математичної моделі роботи пульсатора та його взаємодії з пластом.

Проведення лабораторних та стендових випробувань розробленого пристрою.

Сформування рекомендації щодо технології застосування гідравлічного пульсатора в промислових умовах.

Наукова новизна та практична значущість

Наукова новизна

Вперше розроблено аналітичну модель гідравлічного пульсатора, що враховує нелінійну взаємодію елементів системи та забезпечує прецизійне регулювання параметрів імпульсного впливу, максимізуючи ефективність руйнування кольматаційних утворень при мінімальному ризику пошкодження пласта.

Практична значущість:

1. Створення нового технічного засобу для інтенсифікації притоку нафти і газу.

2. Підвищення дебіту свердловин за рахунок відновлення та збільшення проникності ПВЗП.

3. Зниження загальних витрат на освоєння та капітальний ремонт свердловин порівняно з кислотними обробками чи гідророзривом пласта.

Основні результати роботи:

Розроблено конструкцію гідравлічного пульсатора на основі клапанного або роторного механізму, що забезпечує генерацію прямокутних або синусоїдальних імпульсів тиску з частотою від 0.1 до 10 Гц та амплітудою 1 до 5 МПа відносно робочого тиску. Гідравлічний пульсатор є забійним пристроєм, який встановлюється у свердловині і використовує енергію постійного потоку робочої рідини (наприклад, технічної води, нафти або спеціального розчину) для створення періодичних імпульсів (коливань) тиску у привибійній зоні пласта (ПВЗП). Основний принцип полягає у механічному перетворенні кінетичної енергії потоку рідини на енергію гідравлічних ударів (імпульсів тиску). Робоча рідина подається з поверхні насосним агрегатом із постійним тиском і витратою. Всередині пульсатора розташований запірно-регулюючий елемент (наприклад, клапан, ротор або поршень), який періодично відкриває і закриває прохідний переріз для рідини. Процес генерації імпульсу відбувається циклічно:

1. Накопичення тиску (Фаза закриття): Коли запірний елемент перекриває потік, рідина продовжує подаватися насосом. У ділянці перед пульсатором відбувається різке підвищення тиску.

2. Розрядження (Фаза відкриття): Коли запірний елемент відкриває прохід, накопичена рідина під високим тиском стрімко витікає у свердловинний інтервал пласта. Це створює потужний імпульс тиску (гідравлічний удар), який поширюється у пористе середовище пласта.

3. Зниження тиску: Після виходу порції рідини тиск швидко падає до рівня робочого (або трохи нижче).

4. Повторення циклу: Цикл повторюється з високою частотою, створюючи серію імпульсів.

Особливості впливу на пласт

Імпульсний тиск забезпечує інтенсифікацію за рахунок:

Динамічного руйнування: Коливання тиску створюють напруження зсуву та розтягу в порах і мікротріщинах, що призводить до руйнування кольматаційних кірок, парафінових, смолистих та асфальтенових відкладень (АСПО).

Очищення ПВЗП: Різкі перепади тиску спричиняють пульсаційне вимивання твердих частинок та забруднюючих речовин з пор.

Кавітаційний ефект: У деяких конструкціях можуть виникати кавітаційні процеси, які посилюють руйнівний вплив на відкладення.

Активізація фільтрації: Імпульси створюють динамічну зміну градієнта тиску, що "розкачує" пласт і сприяє кращій міграції вуглеводнів до вибою.

Підтверджено в лабораторних умовах, що імпульсний вплив тиску ефективно руйнує полімерні та глинисті кірки на стінках пор і тріщин, збільшуючи коефіцієнт відносної фазової проникності для нафти.

Встановлено, що оптимальна тривалість впливу становить 4−8 годин, забезпечуючи зростання дебіту на 20%−50% для об'єктів з низькою проникністю.

Створено програмний комплекс для розрахунку необхідних параметрів імпульсу на основі геолого-фізичних характеристик пласта.

Висновки та рекомендації:

Висновки

Розроблений гідравлічний пульсатор є ефективним інструментом для інтенсифікації притоку вуглеводнів. Його використання дозволяє досягти глибокого очищення ПВЗП від кольматаційних матеріалів, значно підвищуючи ефективну проникність і дебіт свердловин.

Рекомендації:

1. Проведення подальших промислово-дослідних робіт на реальних свердловинах з різними геолого-технологічними умовами.

2. Продовження дослідження щодо оптимізації форми та спектрального складу імпульсів тиску для максимізації резонансного впливу на пласт.

3. Розроблення свердловинної телеметричної системи для моніторингу параметрів впливу та фільтраційних характеристик пласта в режимі реального часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яремійчук Р.С., Булатов А.І., Качмар Ю.Д., Савенок О.В. Освоєння нафтових і газових свердловин. Наука і практика/ «Сполом», Львів, 2018. 476 с.

2. Яремійчук Р.С., Поліник М.М, Ясюк В.М. Колтюбінг в нафтогазови– добуванні. «Центр Європи», Львів, 2014. 336 с.

3. Яремійчук Р. С. Теорія і практика освоєння свердловин та сучасні методи інтенсифікації припливів вуглеводнів до свердловин / Геотехнології. Geotechnologies. 2019. Число 2. С. 12-15.

4. Єгер Д.О. Упорядковане використання методів дії на привибійну зону пластів у процесах нафтогазовидобутку / К.: Техніка, 2003. 162 с.

5. Кочмар Ю. Д., Світлицький В.М., Синюк Б.Б., Яремійчук Р.С. Інтенсифікація припливу вуглеводнів у свердловину Кн.1. Львів: Центр Європи, 2004. 352 с.

6. Кочмар Ю. Д., Світлицький В.М., Синюк Б.Б., Яремійчук Р.С. Інтенсифікація припливу вуглеводнів у свердловину / Кн.2. Львів: Центр Європи, 2005. 414 с.

7. Світлицький В.М. До питання підвищення продуктивності нафтогазових свердловин. – Нафтогазова галузь України. 2014. № 1. С.2 – 3.

8. Maria Vargas, Deputy Director, NETL Strategic Center for Natural Gas and Oil John Anderson, Office of Fossil Energy. [Electronic resource]. URL: http://www.netl.doe.gov/File%20Library/Research/Oil

9. Hyne, Norman J. Nontechnical guide to petroleum geology, exploration, drilling, and production /3rd ed. Tulsa, Oklahoma 74112–6600 USA. [Electronic resource]/ Hyne, Norman J.
URL: https: //books.google.com.ua/books?id=qf9fRjos578C&pg=PR4&lpg=PR4&dq=Hyne,+Norman+J.+Nontechnical+guide+to+petroleum+geology,+exploration,+drilling,+and+production+/+Norman+J.+Hyne.

10. Fjaer E, Holt R.M., Horsud P, Raaen A.M. & Risnes R.. Petrolium related rock mechanics Hungary 2008. [Electronic resource]. URL: Second edition. http://store.elsevier.com/Petroleum-Related-Rock-Mechanics/Erling-Fjar/isbn

Коц Іван Васильович*, к.т.н., професор кафедри інженерних систем у будівництві, завідувач і науковий керівник науково-дослідної лабораторії гідродинаміки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Email: *ivvkots@ukr.net

Kots Ivan V.*, Ph.D. (Techn.), professor of the department of engineering systems in construction, head and scientific leader of the hydrodynamics research laboratory, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: *ivvkots@ukr.net

УДК 621.9:678.8

О. О. Горюн
Я. Є. Скуйбіда

ВПЛИВ СТРУКТУРИ ТА ТОВЩИНИ СТІНКИ НА ЗВУКОПОГЛИНАННЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ТРУБ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проведено аналітичний огляд акустичних характеристик полімерних матеріалів, що застосовуються у виробництві каналізаційних труб: поліпропілену (PP), поліетилену (PE), полівінілхлориду (PVC) та полімерних композитів із мінеральними та органічними наповнювачами. На основі доступних досліджень встановлено взаємозв'язок між структурою матеріалу, товщиною стінки, поверхневою щільністю, типом наповнювачів та рівнем звукопоглинання (звукоізоляції). Показано, що формування багатошарової структури, зокрема у малошумних каналізаційних системах, суттєво впливає на акустичну характеристику труб. Визначено прогалини у наявних наукових роботах та окреслено методичні підходи до майбутніх експериментальних досліджень для реальних умов каналізації.

Ключові слова: звукопоглинання, звукопроникність, поліпропілен, мінеральні наповнювачі, товщина стінки, трубні композити.

Abstract

The paper provides an analytical review of the acoustic characteristics of polymer materials used in the production of sewer pipes: polypropylene (PP), polyethylene (PE), polyvinyl chloride (PVC) and polymer composites with mineral and organic fillers. Based on available research, the relationship between the material structure, wall thickness, surface density, type of fillers and the level of sound absorption (sound insulation) has been established. It is shown that the formation of a multilayer structure, in particular in "quiet sewer systems", significantly affects the acoustic behavior of pipes. Gaps in existing scientific works have been identified and methodological approaches to future experimental studies for real sewer conditions have been outlined.

Keywords: sound absorption, sound transmission, polypropylene, mineral fillers, wall thickness, pipe composites.

Вступ

Одним із важливих аспектів акустичного комфорту в будівлях є зменшення шуму від внутрішніх інженерних систем, зокрема каналізаційних труб. Полімерні матеріали, такі як широко використовуються через легкість та корозійну стійкість, та їх акустичні властивості часто є слабо дослідженими для застосувань у санітарно-технічних системах.

Метою роботи є аналіз літературних даних щодо акустичних властивостей полімерних трубних матеріалів та визначення ключових структурних факторів, що впливають на звукопоглинання. Завданнями є формування гіпотез щодо впливу товщини стінки і матеріалу на рівень шуму в каналізаційних системах та пропозиція методики експериментального порівняння ПВХ, ПП, ПЕ та композитів.

Результати дослідження

Дослідження композитів PP із мінеральними наповнювачами показують, що звукопоглинання та втрати при проходженні звуку (STL) істотно залежать від структури полімерної матриці та типу наповнювача. Так, у роботі [1] встановлено, що введення тальку, скляних кульок та бентоніту підвищує STL у діапазоні 100 … 800 Гц, при цьому бентоніт створює найбільш виражений ефект завдяки збільшенню внутрішнього тертя та маси матеріалу. Композити на основі PP з деревними волокнами демонструють покращену акустичну поведінку, що зумовлено складнішою мікроструктурою та підвищеною демпфувальною здатністю матеріалу.

У роботі [2] встановлено, що параметри пористості та товщини стінки у пінополіпропіленових панелях визначають характер звукопоглинання у середньочастотному діапазоні. Подібні висновки підтверджені [3], де для HDPE-композитів із мінеральними та деревними наповнювачами показано суттєве збільшення STL при зростанні жорсткості та поверхневої щільності панелей.

Структура шуму в каналізаційних трубах формується під впливом низки чинників, взаємозв'язки між якими наведено на рис. 1.



Рисунок 1 — Фактори впливу на рівень шуму в каналізаційних трубах

Особливу увагу становлять результати висвітлені в роботі [4] для PVC-структур із ребристими стінками, які демонструють те, що збільшення товщини стінки та утворення внутрішніх камер знижує повітряний шум за рахунок багатократних відбиттів і локального підвищення маси. Водночас наявні дослідження стосуються переважно панелей або плоских зразків, що лише частково відображають реальні умови каналізаційних стояків.

Враховуючи результати досліджень щодо впливу технологічних режимів переробки поліолефінів на структуру та властивості трубних матеріалів [6], можна припустити, що зміна внутрішньої структури полімеру в процесі екструзії також позначається на його акустичній поведінці. Аналіз даних про демпфування коливань у полімерних матеріалах, наведений у дисертаційному дослідженні Котенка [7], підтверджує, що полімери з вищими внутрішніми втратами можуть ефективніше знижувати рівень шуму, що є важливим у контексті каналізаційних труб.

На основі аналізу робіт [1-5] можна сформувати гіпотезу, що оптимальними будуть багатошарові або мінералізовані трубні матеріали зі збільшеною масою стінки, але помірною жорсткістю для збереження демпфування. Однак жодна з робіт не розглядає комплексне акустичне випробування каналізаційних труб у діапазоні 50 … 2000 Гц, характерному для шумів стоків.

Виходячи з попередніх досліджень, можна сформулювати гіпотези щодо очікуваного впливу різних матеріалів та структур труб на звукопоглинання. Дані для порівняння матеріалів зведено у табл. 1, що дозволяє наочно побачити роль товщини, щільності та наповнювачів.

Таблиця 1 – Вплив структури та матеріалу на звукоізоляційні властивості полімерів

Матеріал	Тип структури	Наявність наповнювачів	Очікуваний вплив на STL
PP	Одношаровий	Немає	Низький
PP-композит	Мікронаполнений	Тальк, бентоніт, GB	Середній–високий
HDPE-композит	Мікроструктура з волокнами	Мінеральні / деревні	Середній
PVC	Одношаровий	Немає	Середній
PVC (ребристий / камерний)	Багатокамерний	Немає	Високий
Пінополіпропілен	Пориста структура	Немає	Високий у середніх частотах

Аналіз літературних джерел [1-5] свідчить про те, що підвищення поверхневої щільності матеріалу, що досягається за рахунок збільшення товщини стінки або введення мінеральних та органічних наповнювачів, здатне підвищувати втрати звуку при проходженні (STL), проте надмірна

жорсткість може знижувати ефективність демпфування. Зокрема, введення бентоніту або деревних волокон у поліпропіленові та HDPE-композити покращує акустичні характеристики у середньочастотному та низькочастотному діапазоні, тоді як ребристі або багатошарові PVC-панелі демонструють зниження передачі повітряного шуму завдяки підвищенню маси та ефекту багатократних відбиттів. Виходячи з цього, можна сформулювати гіпотезу, що для каналізаційних труб товща стінка або матеріал із більшим показником поверхневої щільності може зменшити рівень шуму від стоків, проте ця залежність не є строго лінійною і потребує оптимізації жорсткості та демпфуючих властивостей. Крім того, введення мінеральних або деревних наповнювачів у поліпропіленові та HDPE-композити здатне підвищувати звукоізоляційні властивості матеріалу, що підтверджує роль структурних характеристик і складу у формуванні акустичного комфорту. Водночас, наявні дослідження не охоплюють повний спектр шумів стічних вод у реальних умовах експлуатації каналізаційних систем, що підкреслює необхідність проведення спеціалізованих експериментальних досліджень для оцінки впливу товщини стінки та матеріалу на акустичні характеристики труб.

Висновки

Літературний аналіз засвідчує, що структура й склад полімерів визначають звукопоглинання та звукопередачу. З огляду на потребу зниження шумів каналізації в будівлях, найбільш перспективними є полімери з мінеральними наповнювачами та труби збільшеної товщини, що мають вищу поверхневу щільність. Врахування акустичного спектра стічних вод є складним завданням, оскільки, окрім повітряного шуму, істотну роль відіграють вібраційні компоненти, зумовлені турбулентністю потоку та ударними навантаженнями на внутрішні стінки труб. Подальші дослідження повинні включати комплексні акустичні випробування труб різної товщини в реальних гідродинамічних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. López J. P., El Mansouri N.-E., Alba J., del Rey R., Mutjé P., Vilaseca F. Acoustic properties of polypropylene composites reinforced with stone groundwood. BioResources. 2012. Vol. 7, no. 4. P. 4586–4599.
2. Świrk P., Leniowska L. Modeling of the Acoustic Properties of Foamed Polypropylene Panels. Mechanics and Control. 2016. Vol. 35, no. 2. P. 75–82.
3. Kim B. J., Huang R., Xu X., Lee S. Y., Kunio J., Wu Q. Sound transmission properties of mineral-filled high-density polyethylene (HDPE) and wood-HDPE composites. BioResources. 2015. Vol. 10, no. 1. P. 510–526.
4. Kopania J. M., Zakrzewicz W., Kubiak P., Mrowicki A., Głogowski M., Gralewski J., Bogusławski G., Wójciak K., Gaj P. The Properties of Materials and Structures of Fluted PVC Panels for the Transmission of Airborne Sound. Materials. 2020. Vol. 13, no. 18. Article 4061.
5. Sarikanat M., Secgin A., Uysalman T., Tantug G. S., Ozkaya M., Atagur M., Altay L., Seki Y. The Effect of Various Minerals on Sound Transmission Loss and Mechanical Properties of Polypropylene. Composites Part B: Engineering. 2019. Vol. 165. P. 1–10.
6. Шунькіна О. В. Вплив етапів переробки поліолефінів на формування властивостей полімерних труб із них. Вісник ЛТЕУ. Технічні науки. 2016. № 17. С. 70–73.
7. Котенко Світлана Геннадіївна . Зниження рівнів шуму рухомих джерел шумозахисними екранами з кінцевої звукоізоляцією : дис. … канд. техн. наук, КПІ ім. І. Сікорського, 2019. 172 С.

Олег Олегович Горюн **–** доктор філософії, старший викладач кафедри інженерних систем у будівництві, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Україна, м. Вінниця, ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail: oleggoriun@vntu.edu.ua.

Скуйбіда Ярина Євгенівна — студентка групи СМ-23б факультету будівництвата, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, ORCID: 0009-0001-2325-6477, e-mail: yarynaskuibida@gmail.com.

Oleh Horiun **—** PhD, senior lecturer of the department of engineering systems in construction, faculty of construction, civil and environmental engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail : oleggoriun@vntu.edu.ua.

Skuibida Yaryna Yevhenivna — student of the SM-23b group of the Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID: 0009-0001-2325-6477, e-mail: yarynaskuibida@gmail.com.

УДК 681.12

Г. С. Ратушняк
О. Ю. Горюн

ТЕПЛОВА ІНЕРЦІЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЛІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано вплив характеристик будівельних матеріалів огороджувальних конструкцій на теплову інертність будівлі та розглянуто їх взаємозв'язок із енергоефективністю.

Ключові слова: теплова інертність, теплова інерція, енергозбереження, енергоефективність будівлі, теплова ізоляція, утеплення

Abstract

The influence of the characteristics of building materials of enclosing structures on the thermal inertia of the building was analyzed and their relationship with energy efficiency was considered.

Keywords: thermal inertia, energy saving, energy efficiency of construction, thermal insulation

Вступ

Закон України Про енергетичну ефективність будівель встановлює мінімальні вимоги до енергетичної ефективності та заходи із забезпечення енергетичної ефективності будівель [1]. Нормативні документи підвищують значення термічних опорів огороджувальних конструкцій [2]. Проте, також підвищуються вимоги щодо теплового комфорту в приміщенні. Теплова інертність дозволяє знизити температурні коливання всередині будівлі, незважаючи на зміну температур ззовні. В свою чергу це дозволяє підвищити комфорт мікроклімату та зменшити енергоспоживання будівлею [3].

Метою роботи дослідження різних теплоізоляційних матеріалів з точки зору їх інерційних властивостей.

Результати дослідження

Вирішення проблеми підвищення енергоефективності будівель проглядається в роботах зарубіжних та вітчизняних досліджень. Огляд останніх досліджень вказує на залежність енергозбереження будівлі від показника її теплової інерції [4, 5, 6,7].

Теплова інерція - це здатність будівлі накопичувати тепло та пізніше його віддавати, допомагаючи цим підтримувати мінімальні коливання внутрішньої температури, незважаючи на зміни температури навколишнього середовища [5]. Вона залежить від теплозасвоєння матеріалів у конструкції зовнішніх стін та вузлів примикання.

За показник теплової інерції було обрано коефіцієнт теплової інерції I або коефіцієнт теплозасвоєння S, який розраховувався за формулою:

$$S = I \cdot \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c},$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності; ρ– щільність матеріалу; с – питома теплоємність матеріалу.

Для оцінювання впливу на енергоефективність будівлі показників теплоізолюючих матеріалів, проаналізовано показник теплової інрерції та та їх показники теплопровідності Матеріали для утеплення обираємо від найпоширеного- мінеральної вати, до найрідше вживаного – аерогелевий утеплювач. Резльтати розрахунків показників теплової інерції наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики теплоізоляційних матеріалів

Матеріал	Щільність, кг/м^3	Теплоємність, Дж/кгК	Теплопровідність Вт/мК	Коефіцієнт тепозасвоєння, Вт/м^{2}К
Мінеральна вата	80	840	0,04	0,442
Пінополістирол	25	1450	0,035	0,304
Пінополіуретан	35	1400	0,028	0,316
Аерогелевий утеплювач	30	1000	0,015	0,181

Найменший показник теплової інерції мають аерогель і пінополіуретан, незважаючи на їхні задовільні теплоізоляційні властивості. Найбільше значення теплової інерції у мінеральної вати, що вказує на її вищу здатність акумулювати тепло в приміщенні.

. . . . . .

Висновки

Поєднання матеріалів у багатошаровій огороджувальній конструкції (наприклад, основу із більшою тепловою інертністю та аерогелевий утеплювач) дає змогу досягти оптимального співвідношення між теплоізоляцією та тепловою інерцією. За умови правильного підбору шарів така конструкція здатна одночасно зменшувати тепловтрати та забезпечувати в часі оптимальні параметри мікроклімату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII URL Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19
2. ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція та енергоефективність будівель"[Чинний від 2022-09-01]. - К.: Мінрегіон України, 2022 р. – 27 с
3. Про енергозбереження Закон України від 01.07.1994р № 75/94-ВР від 01.07.9 Оновлення (редакція) від 23.07.2017 Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text
4. Фаренюк Г. П. Основи забезпечення енергоефективності та теплової надійності огороджувальних конструкцій : монографія. К:Гамма- Принт, 2009 -137с
5. Sharston, R., Murray S. The combined effects of thermal mass and insulation onenergy performance in concrete office buildings. Advances in Building Energy Research.2019. vol. 14. No 3. pp. 322–337. DOI: https://doi.org/10.1080/17512549.2018.1547220.
6. Mukram T. A., Daniel J. Performance evaluation of a novel cement brick filled withmicro-PCM used as a thermal energy storage system in building walls. Journal of EnergyStorage. 2024. vol. 77. p. 109910. DOI: https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109910.
7. Ратушняк Г.С., Горюн О. Ю. Використання теплоізоляційних матеріалів наоснові аерогелю для зменшення тепловтрат будівель: тези доп. Міжнар. наук.-техн.Конф. (м. Вінниця, , 13-15 листопада 2018 р.). Вінниця, 2018. С. 320-321.

Ратушняк Георгій Сергійович — к.т.н., професор, завідувач кафедри Інженерних систем в будівництві, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, ORCID 0000-0001-9656-5150, e-mail: ratusnakg@gmail.com

Горюн Оксана Юріївна — аспірантка кафедри Інженерних систем в будівництві, Вінницький національний технічний університет, ORCID 0000-0002-3624-2293, e-mail: oksana718@ukr.net

Ratushnyak G. — Can. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Engineering Systems in Buildings, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, , ORCID 0000-0001-9656-5150, e-mail: ratusnakg@gmail.com

Horiun O. — postgraduate student of the Department of Engineering Systems in Buildings, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID 0000-0002-3624-2293, e-mail: oksana718@ukr.net

УДК 681.12

Г. С. Ратушняк
О. Ю. Горюн

ТЕПЛОВА ІНЕРЦІЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЛІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано вплив характеристик будівельних матеріалів огороджувальних конструкцій на теплову інертність будівлі та розглянуто їх взаємозв'язок із енергоефективністю.

Ключові слова: теплова інертність, теплова інерція, енергозбереження, енергоефективність будівлі, теплова ізоляція, утеплення

Abstract

The influence of the characteristics of building materials of enclosing structures on the thermal inertia of the building was analyzed and their relationship with energy efficiency was considered.

Keywords: thermal inertia, energy saving, energy efficiency of construction, thermal insulation

Вступ

Закон України Про енергетичну ефективність будівель встановлює мінімальні вимоги до енергетичної ефективності та заходи із забезпечення енергетичної ефективності будівель [1]. Нормативні документи підвищують значення термічних опорів огороджувальних конструкцій [2]. Проте, також підвищуються вимоги щодо теплового комфорту в приміщенні. Теплова інертність дозволяє знизити температурні коливання всередині будівлі, незважаючи на зміну температур ззовні. В свою чергу це дозволяє підвищити комфорт мікроклімату та зменшити енергоспоживання будівлею [3].

Метою роботи дослідження різних теплоізоляційних матеріалів з точки зору їх інерційних властивостей.

Результати дослідження

Вирішення проблеми підвищення енергоефективності будівель проглядається в роботах зарубіжних та вітчизняних досліджень. Огляд останніх досліджень вказує на залежність енергозбереження будівлі від показника її теплової інерції [4, 5, 6,7].

Теплова інерція - це здатність будівлі накопичувати тепло та пізніше його віддавати, допомагаючи цим підтримувати мінімальні коливання внутрішньої температури, незважаючи на зміни температури навколишнього середовища [5]. Вона залежить від теплозасвоєння матеріалів у конструкції зовнішніх стін та вузлів примикання.

За показник теплової інерції було обрано коефіцієнт теплової інерції I або коефіцієнт теплозасвоєння S, який розраховувався за формулою:

$$S = I \cdot \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c},$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності; ρ– щільність матеріалу; с – питома теплоємність матеріалу.

Для оцінювання впливу на енергоефективність будівлі показників теплоізолюючих матеріалів, проаналізовано показник теплової інрерції та та їх показники теплопровідності Матеріали для утеплення обираємо від найпоширеного- мінеральної вати, до найрідше вживаного – аерогелевий утеплювач. Резльтати розрахунків показників теплової інерції наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики теплоізоляційних матеріалів

Матеріал	Щільність, кг/м^3	Теплоємність, Дж/кгК	Теплопровідність Вт/мК	Коефіцієнт тепозасвоєння, Вт/м^{2}К
Мінеральна вата	80	840	0,04	0,442
Пінополістирол	25	1450	0,035	0,304
Пінополіуретан	35	1400	0,028	0,316
Аерогелевий утеплювач	30	1000	0,015	0,181

Найменший показник теплової інерції мають аерогель і пінополіуретан, незважаючи на їхні задовільні теплоізоляційні властивості. Найбільше значення теплової інерції у мінеральної вати, що вказує на її вищу здатність акумулювати тепло в приміщенні.

. . . . . .

Висновки

Поєднання матеріалів у багатошаровій огороджувальній конструкції (наприклад, основу із більшою тепловою інертністю та аерогелевий утеплювач) дає змогу досягти оптимального співвідношення між теплоізоляцією та тепловою інерцією. За умови правильного підбору шарів така конструкція здатна одночасно зменшувати тепловтрати та забезпечувати в часі оптимальні параметри мікроклімату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII URL Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19
2. ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція та енергоефективність будівель"[Чинний від 2022-09-01]. - К.: Мінрегіон України, 2022 р. – 27 с
3. Про енергозбереження Закон України від 01.07.1994р № 75/94-ВР від 01.07.9 Оновлення (редакція) від 23.07.2017 Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text
4. Фаренюк Г. П. Основи забезпечення енергоефективності та теплової надійності огороджувальних конструкцій : монографія. К:Гамма- Принт, 2009 -137с
5. Sharston, R., Murray S. The combined effects of thermal mass and insulation onenergy performance in concrete office buildings. Advances in Building Energy Research.2019. vol. 14. No 3. pp. 322–337. DOI: https://doi.org/10.1080/17512549.2018.1547220.
6. Mukram T. A., Daniel J. Performance evaluation of a novel cement brick filled withmicro-PCM used as a thermal energy storage system in building walls. Journal of EnergyStorage. 2024. vol. 77. p. 109910. DOI: https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109910.
7. Ратушняк Г.С., Горюн О. Ю. Використання теплоізоляційних матеріалів наоснові аерогелю для зменшення тепловтрат будівель: тези доп. Міжнар. наук.-техн.Конф. (м. Вінниця, , 13-15 листопада 2018 р.). Вінниця, 2018. С. 320-321.

Ратушняк Георгій Сергійович — к.т.н., професор, завідувач кафедри Інженерних систем в будівництві, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, ORCID 0000-0001-9656-5150, e-mail: ratusnakg@gmail.com

Горюн Оксана Юріївна — аспірантка кафедри Інженерних систем в будівництві, Вінницький національний технічний університет, ORCID 0000-0002-3624-2293, e-mail: oksana718@ukr.net

Ratushnyak G. — Can. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Engineering Systems in Buildings, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, , ORCID 0000-0001-9656-5150, e-mail: ratusnakg@gmail.com

Horiun O. — postgraduate student of the Department of Engineering Systems in Buildings, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID 0000-0002-3624-2293, e-mail: oksana718@ukr.net

УДК 697.94:697.922:620.9

О. О. Горюн
А. В. Лащенко

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ У СИСТЕМАХ МІКРОКЛІМАТУ ДОШКІЛЬНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі виконано аналітичний огляд нормативних вимог до мікроклімату дитячих садків, аналіз сучасних технічних рішень вентиляційних систем із рекуперацією теплоти, а також оцінку можливостей використання теплових насосів і сонячних колекторів для підігріву припливного повітря. Розрахункова оцінка ефекту енергозбереження здійснена на основі літературних даних і типової схеми вентиляції дитсадка.

Ключові слова: енергоефективність, вентиляція, мікроклімат, рекуперація, тепловий насос, дитячий садок.

Abstract

The paper provides an analytical review of regulatory requirements for the microclimate of kindergartens, an analysis of modern technical solutions for ventilation systems with heat recovery, and an assessment of the possibilities of using heat pumps and solar collectors for heating supply air. The calculated assessment of the energy saving effect is based on literature data and a typical kindergarten ventilation scheme.

Keywords: energy efficiency, ventilation, microclimate, recovery, heat pump, kindergarten.

Вступ

Проблема забезпечення нормативного мікроклімату у дошкільних навчальних закладах є актуальною як з позицій здоров'я дітей, так і з точки зору енергоефективності будівель. В умовах зростання вартості енергоресурсів та переходу до концепції сталого розвитку особливого значення набувають системи вентиляції та опалення, що поєднують комфорт, безпечні параметри повітря та мінімальне енергоспоживання.

Відомо, що близько 40% загального енергоспоживання будівель припадає на системи опалення і вентиляції [1]. У дитячих садках ці системи мають додаткові вимоги — безперервне забезпечення свіжим повітрям, підтримання температури 20-22°C і відносної вологості 40-60% [2, 3]. Традиційні вентиляційні установки без рекуперації супроводжуються значними тепловими втратами, тому постає завдання зниження їх енерговитрат.

Обґрунтування енергоефективної концепції системи створення мікроклімату для дошкільного навчального закладу шляхом інтеграції механічної вентиляції з рекуперацією теплоти та використанням альтернативних джерел енергії.

Результати дослідження

Забезпечення стабільного та нормативного мікроклімату в дошкільних навчальних закладах потребує поєднання вимог до якості повітря, теплового комфорту та енергоефективності. Відповідно до чинних норм [2, 3], у групових приміщеннях дитячих садків необхідно підтримувати температуру 20-22°C, відносну вологість у межах 40-60% та забезпечувати постійну подачу свіжого повітря з кратністю не менше одиниці. На практиці це створює значні теплові навантаження на системи опалення, особливо у холодний період року, коли припливне повітря потребує додаткового підігріву. За традиційних схем вентиляції без рекуперації теплоти втрата енергії через вентиляційні канали може становити до 30-40% загальних теплових витрат будівлі.

Сучасні дослідження вказують на суттєве підвищення енергоефективності при застосуванні механічної вентиляції з рекуперацією теплоти припливно-витяжного повітря, тобто MVHR (mechanical ventilation with heat recovery). В таких системах припливне та витяжне повітря проходять через рекуператор, де тепло (а в деяких моделях і волога) передається від теплого витяжного повітря до холодного припливного, що суттєво зменшує тепловтрати будівлі та підвищує

енергоефективність. MVHR є одним із найефективніших типів вентиляційних систем для сучасних енергоощадних будівель, включно з дитячими садками

У статті [1] зазначено, що системи з рекуперацією ефективністю 75-85% дозволяють скоротити первинне енергоспоживання на вентиляцію щонайменше на третину, а у деяких режимах і до 50%. Аналогічні результати отримані у роботах [4, 5], де відзначається також покращення показників якості повітря завдяки стабілізації рівня CO_2 та вологості. Це особливо важливо для дитячих садків, де щільність перебування дітей у групових приміщеннях часто перевищує середні показники житлових будівель, що виходить на перший план в контексті гігієни та профілактики респіраторних захворювань.

Інтеграція рекуперaційних систем з тепловими насосами дозволяє не лише компенсувати теплові втрати, але й оптимізувати роботу всієї системи мікроклімату. Тепловий насос «повітря-вода» чи «повітря-повітря», що працює у зв'язці з рекуператором, може використовувати не лише низькопотенційне тепло зовнішнього повітря, а й теплоту витяжного повітря після рекуперації. За даними [4], застосування теплового насоса з коефіцієнтом продуктивності COP≈3 у комбінації з MVHR знижує загальне сезонне теплове навантаження вентиляції на 50-60%.

Додатковим елементом можуть виступати сонячні колектори, які ефективно працюють у міжсезоння та забезпечують частковий підігрів теплоносія. Дослідження [6] демонструють, що навіть невеликі сонячні системи (2-4 м² на групу) здатні покривати до 15% теплового навантаження вентиляції в осінній та весняний періоди. Це знижує цикл увімкнення теплового насоса, подовжує ресурс обладнання та сприяє загальному зменшенню експлуатаційних витрат.

У таблиці наведено узагальнену порівняльну оцінку енергоспоживання різних варіантів вентиляційних систем для умов типового групового приміщення площею 50 м² та повітрообміну 200 м³/год (за даними [1, 4, 5, 7]).

Таблиця 1 – Орієнтовне річне енергоспоживання вентиляційних систем дитячого садка

Тип системи вентиляції	Наявність рекуперації	Додаткові джерела	Орієнтовне споживання тепла, МВт·год/сезон	Орієнтовна економія, %
Традиційна припливно-витяжна	—	—	8,5–9,0	—
MVHR (η≈75–80 %)	+	—	4,0–4,5	45–50 %
MVHR + тепловий насос (COP≈3)	+	ТН	3,0–3,5	55–60 %
MVHR + ТН + Solar	+	ТН + Сонячні кол.	2,5–3,0	65–70 %

Представлена інтегрована концепція, що поєднує рекуперацію теплоти, тепловий насос та сонячне тепло, дозволяє суттєво підвищити енергоефективність у порівнянні з традиційними рішеннями, одночасно забезпечуючи нормативний мікроклімат та стабільний рівень внутрішнього повітряного середовища. Враховуючи підвищені вимоги до якості повітря та теплового комфорту у дитячих закладах, такі системи доцільно розглядати як базові для нових будівель та модернізації існуючих.

Висновки

Сучасні дошкільні навчальні заклади мають значний потенціал зниження енергоспоживання за рахунок удосконалення систем мікроклімату. Найбільш ефективним є поєднання механічної вентиляції з рекуперацією теплоти, теплового насоса та допоміжного використання сонячної енергії. Орієнтовна економія теплової енергії становить до 60% при збереженні нормативних параметрів мікроклімату. Використання автоматизованого керування дозволяє підвищити стабільність мікроклімату та подовжити ресурс обладнання. Запропонована концепція може бути рекомендована для проєктування нових та реконструкції існуючих дитячих садків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ferrari S., Puglisi G., Cardelli R. Heat recovery ventilation in school classrooms — energy impact analysis / Energies. Energies 2025,18, 5069. DOI:10.3390/en18195069.[Електрон. ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/395788223_Heat_Recovery_Ventilation_in_School_Classrooms_Within_Mediterranean_Europe_A_Climate-Sensitive_Analysis_of_the_Energy_Impact_Based_on_the_Italian_Building_Stock (дата звернення: 12.11.2025).
2. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2013-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 144 с.

3. Міністерство охорони здоров'я України. Санітарний регламент для дошкільних навчальних закладів : наказ МОЗ № 234 від 24.03.2016. Київ : МОЗ України, 2016. 28 с.
4. Stabile L., Massimo A., Canale L. [et al.]. Energy and Indoor Air Quality Effects of a Retrofit in a School Building. Building and Environment. 2019. 9 (5): 110 DOI:10.3390/buildings9050110. [Електрон. ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/332903699_The_Effect_of_Ventilation_Strategies_on_Indoor_Air_Quality_and_Energy_Consumptions_in_Classrooms (дата звернення: 14.11.2025).
5. Causone F., Moazami A., Carlucci S., Pagliano L., Pietrobon M. Ventilation Strategies for the Deep Energy Retrofit of a Kindergarten. AIVC Conference Proceedings, 2015. [Електрон. ресурс]. Режим доступу: https://www.aivc.org/sites/default/files/94_0.pdf (дата звернення: 12.11.2025).
6. eCentral. Regional nZEB case studies for reference public buildings : Deliverable D.T1.1.2. Bolzano : EURAC Research, 2018. 51 p. [Електрон. ресурс]. Режим доступу: https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/DT112.pdf (дата звернення: 16.11.2025).
7. Сапунов, Анатолій Олександрович. Оцінювання енергоефективності будівлі дошкільного навчального закладу в умовах забезпечення теплового комфорту : дис. … PhD, КПІ ім. І. Сікорського, 2024. 123 С.

Олег Олегович Горюн **–** доктор філософії, старший викладач кафедри інженерних систем у будівництві, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Україна, м. Вінниця, ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail: oleggoriun@vntu.edu.ua.

Артем Валерійович Лащенко — здобувач групи ТГ-24м факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, ORCID: 0009-0009-7346-5558, e-mail: maluuqq@gmail.com.

Oleh Horiun **—** PhD, senior lecturer of the department of engineering systems in construction, faculty of construction, civil and environmental engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail : oleggoriun@vntu.edu.ua.

Artem Lashchenko — student of the TG-24m group of the Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID: 0009-0009-7346-5558, e-mail: maluuqq@gmail.com.

УКД 666.97.035.56:621.18:691.32

С. А. Слободянюк
І. В. Коц

ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОКЛАВНОЇ КАМЕРИ З РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИМ АЕРОДИНАМІЧНИМ НАГРІВАЧЕМ ДЛЯ ТЕПЛОВОЛОГІСНОЇ ОБРОБКИ БЕТОННИХ ВИРОБІВ

Вінницький національний технічний університет,

Анотація

У даній роботі проведено дослідження автоклавної камери з рециркуляційним аеродинамічним нагрівачем, призначеної для тепловологісної обробки бетонних виробів.Оцінювання відомих установок і запропонованого устаткування з рециркуляційним аеродинамічним нагрівом для тепловологісної обробки бетонних і залізобетонних виробів за тривалістю циклу обробки та показниками їх енергетичної ефективності. Встановлено, що найбільш перспективним методом є автоклавна обробка за допомогою аеродинамічного устаткування рециркуляційного типу, дозволить підвищити якість бетонних виробів, зменшити витрати на енергопостачання та час тепловологісної обробки, що позитивно позначиться на продуктивності виробництва та конкурентоспроможності підприємства.

Ключові слова: автоклавна пропарювальна камера, тепловологісна обробка, математична модель, енергетична ефективність, бетонні та залізобетонні вироби.

Abstract

This work studies an autoclave chamber with a recirculating aerodynamic heater designed for the heat and moisture treatment of concrete products. Evaluation of known installations and proposed equipment with recirculating aerodynamic heating for the heat and moisture treatment of concrete and reinforced concrete products by the duration of the treatment cycle and their energy efficiency indicators.

Keywords: energy performance, heat- and moist curing, curing chamber, concrete and reinforced concrete products, autoclave steaming camera thermal and humidity treatment, mathematical model, energy efficiency, concrete and reinforced concrete products.

Мета дослідження: Дослідити енергоефективну автоклавну камеру з рециркуляційним аеродинамічним нагрівачем для тепловологісної обробки бетонних виробів, яка забезпечує рівномірний розподіл тепла, зниження енергоспоживання та підвищення якості продукції.

Вступ

Енергетична ефективність є одним із основних критеріїв технології виробництва будівельних виробів разом із такими показниками, як собівартість, трудомісткість, матеріаломісткість, а також питомі капіталовкладення. В зв'язку з цим, заходи із зниження енерговитрат при тепловій обробці будівельних виробів є досить акуальною задачею.

Тепловологісна обробка (ТВО) є одним з найпоширеніших методів прискореного твердіння бетону, поряд з використанням хімічних добавок і швидкотверднучих цементів. Теплові методи засновані на збільшенні швидкості реакцій взаємодії в'яжучих речовин з водою при підвищенні температури. У виробництві бетонних і залізобетонних виробів і конструкцій ТВО є найбільш енергоємною і тривалою стадією.

При виготовлені будівельних виробів теплова обробка є одним з найбільш енергоємних етапів, при якій споживається близько 60% від загальної кількості енерговитрат. Теоретично на нагрів виробу із бетону і металоформ необхідно всього лише 10-15% теплової енергії, а решта, що витрачається за відомими технологіями, заплановані і незаплановані втрати, які досягають майже 50% від загальної кількості енерговитрат.

Сучасний стан устаткування підприємств з виготовлення будівельних виробів, зокрема із бетону,

потребує проведення подальшої реконструкції і модернізації виробництва з метою збільшення асортименту та якості, а також зниження собівартості продукції в умовах сучасного ринку. При цьому енергетична ефективність нових технологій та ефективна система управління процесом повинні бути одними з головних критеріїв їх вибору.

Автоклавне виробництво будівельних матеріалів є вельми енергоємним процесом зі значними втратами теплоти і, як наслідок, нераціональним використанням паливних і водних ресурсів. Так, близько 45 % витраченої у виробництві теплоти акумулюється будівельним матеріалом (силікатною цеглою,бетоном) та парою у вільному об'ємі автоклаву.

Левова частка акумульованої теплоти втрачається при випуску відпрацьованої пари, що призводить до збільшення витрат палива (газу, мазуту, вугілля) на виробництво пари в котельних, які займають вагоме місце в загальних витратах енергоресурсів у виробництві будівельних матеріалів.

Завдяки підбору і оптимізації основних параметрів технологічного процесу та його окремих операцій забезпечуєтья зменшення енерговитрат.

Автоклави енергоефективні завдяки герметичній замкнутій системі, яка дозволяє досягати високих температур (вище 100◦ С) під тиском, що прискорює процес. Крім того, універсальні моделі пропонують вибір джерела нагріву (газ або електрика), що дозволяє зменшити витрати, мінімізуючи людське втручання та втрати енергії.

Суть дослідження: Враховуючи актуальність проблеми, розроблено автоклавну установку для ТВО бетонних виробів з інноваційним рециркуляційним аеродинамічним нагрівачем. Принцип дії аеродинамічного нагрівача роторного типу, полягає в тому, що в результаті рециркуляції повітряного потоку і виникають аеродинамічних втрати тиску в роторному колесі, яке спричиняє нагрів повітряного середовища всередині робочої камери. Потік гарячого повітря, що рециркулює в робочій камері, передає тепло конструктивним елементам робочої камери і рівномірно розігріває бетонні вироби, що розташовані в ній. Необхідний надлишковий тиск у повітряному середовищі в теплоізольованому корпусі створюється компресором з пневморесивером. Коли всередині бетонних виробів при нагріванні відбуватимуться процеси хімічної чи фізичної модифікації матеріалів, що пов'язані із поглинанням вологи (процеси гідратації цементу у бетонних виробах), то для забезпечення необхідного тепловологісного балансу в повітряному середовищі робочої камери необхідно додатково подавати воду. Для цього над аеродинамічним нагрівачем роторного типу відбувається розбризкування води через форсунки. Вода під дією високої температури перетворюється в пару, яка разом із теплим повітрям рециркулює всередині робочої камери, створюючи відповідне за тиском і температурою пароповітряне середовище, що здійснює подальше нагрівання і зволоження поверхні та внутрішнього об'єму виробу.

Здійснено перевірку адекватності запропонованих моделей на підставі отриманих експериментальних даних. Аналітично та експериментально встановлено взаємозв'язок між температурою, яка створюється всередініробочої камери пропарювальної автоклавної установки та її робочими, конструктивними параметрами і характеристиками, а саме: об'ємом робочої камери, геометричними розмірами нагрівача роторного типу, частоти обертання ротора. Результати експериментальних досліджень підтверджують перетворення кінетичної енергії потоку повітряного середовища в теплову енергію. Внаслідок гальмування швидкості потоку зменшується його кінетична енергія, але вона не зникає, а перетворюється в теплоту, при цьому, загальний запас енергії залишається постійним у відповідності з першим законом термодинаміки.

Висновок

Інвестиції в енергоефективні автоклави – це не лише екологічно відповідальне рішення, а й розумна фінансова стратегія. Зниження енерговитрат та експлуатаційних витрат, покращення якості продукції та скорочення відходів допомагають підприємствам залишатися конкурентоспроможними на ринку з високою чутливістю до витрат.

В результаті проведених досліджень запропоновано ефективні режими та раціональне конструктивне виконання запропонованої пропарювальної автоклавної установки із рециркуляційним аеродинамічним нагрівачем для тепловологісної обробки бетонних і залізобетонних виробів.Вона має суттєві технічні переваги у порівнянні із відомим серійним обладнанням.

Інформаційна база дослідження

1. Науково-технічна бібліотека України ім. Вернадського (https://www.nbuv.gov.ua/)
2. Науково-технічна бібліотека Вінницького національного технічного університету (https://lib.vntu.edu.ua/)
3. Електронна бібліотека Національного університету "Львівська політехніка" (http://ena.lp.edu.ua/)
4. Інформаційно-аналітична система "Державний стандарт України" (http://online.budstandart.com/)
5. Система "Український науковий журнал" (http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/)
6. Електронна бібліотека Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" (http://ela.kpi.ua/)
7. База даних Scopus - це міжнародна наукова база даних, яка містить більше 22 тисяч наукових журналів, конференційних матеріалів та книг з різних галузей знань, включаючи енергетику та екологію. У базі можна знайти статті, присвячені технологіям автоклавної тепловологісної обробки будівельних бетонних виробів.
8. База даних Web of Science - це ще одна міжнародна наукова база даних, яка містить більше 33 тисяч наукових журналів, конференційних матеріалів та книг з різних галузей знань. У базі можна знайти статті, присвячені технологіям піролізу та переробці деревних відходів.
9. База даних SpringerLink - це наукова база даних, яка містить більше 2 мільйонів наукових статей, книг та конференційних матеріалів з різних галузей знань. У базі можна знайти статті, присвячені технологіям піролізу та переробці деревних відходів.
10. База даних ScienceDirect - це наукова база даних, яка містить більше 16 мільйонів наукових статей, книг та конференційних матеріалів з різних галузей знань. У базі можна знайти статті, присвячені технологіям піролізу та переробці деревних відходів.
11. Budstandart (http://online.budstandart.com/)
12. БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України
13. Інтернет-сервіс по роботі з нормативними документами в галузі проектування, будівництва, охорони праці, пожежної безпеки тощо.

Ці інформаційні бази містять наукові статті, технічні звіти, нормативні документи та інші матеріали, що стосуються автоклавної тепловологісної обробки бетонних виробів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кривенко П. В. , Пушкарьова К. К. , Барановський В. Б. Будівельне матеріалознавство /– К. : ЕксОб, 2004. – 704 с. – ISBN 966-7769-35-6.
2. Kalousek G. L. The reactions of cement hidration of elevated temperatures / G. L. Kalousek. // Proc. 3d Intern. Svmp, Chem, Cem.-London, 1952. – P. 334–355.
3. Steln H. N. Loc mecanisme de L'hudration du ileate tricdeigw/ H. N. Steln, L. M. Stevels. // Silikatesindustr. – 1967. – No. 10. – P. 32–34.
4. Швець В. В., Дудар І. Н. Термосиловий вплив, як метод управління структуроутворенням при твердненні бетону / Науковий вісник будівництва. – Харків. : ХДТУБА, 2001. – Вип. 14. – С. 140–143. ISBN 5-274-00381-8
5. Патент UA 18723. МПК B01J 3/04. Автоклавна установка тепловологісної обробки / О. П. Сліпенька, С. Б. Сторожук, І. В. Коц. - № u 200605904; Заявлено 29.05.2006; Опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.
6. Сліпенька О. П., Коц І. В. Аналітичне дослідження автоклавних установок із аеродинамічним нагрівом / Вісник Хмельницького національного університету, 2006. – № 5. – С. 93 – 98.
7. Патент 6545 UA. МПК F26B 3/06 Спосіб сушіння рослинної та іншої сировини / І. В. Коц, Л. В. Скородзієвська. - № 20040907844; Заявлено 27.09.2004; Опубл. 16.05.2005, Бюл. № 5.
8. Патент 10712 UA. МПК F26B 3/06 Спосіб сушіння рослинної сировини / І. В. Коц, І. Г. Мельник. - № 94086490; Заявлено 04.08.1996; Бюл. № 4.

9. Патент 35967. МПК F26B 3/00 Установка для сушіння сировини / І. В. Коц, К. В. Бауман. - № u200805829; Заявлено 05.05.2008; Опубл. 10.10.2008, Бюл. № 19.
10. Колісник О. П. Термоопалубка для теплової обробки бетонних виробів / Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. Збірник наукових праць – Львів: Каменяр.– 2009. – Випуск 8. – С. 458 – 465. ISBN 978-966-607-099-2
11. Колісник О. П. Процеси тепломасобміну при тепловій обробці бетонних виробів / Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2008. – № 38. – С. 82–87.
12. Колісник О. П. Математична модель тепловологісної обробки бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагріву. / О. П. Колісник // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2009. - №45 – С. 16 – ISBN 966-593-286-1
13. Сліпенька О. П. Енергозбереження при автоклавному оброблені будівельних виробів / О. П. Сліпенька. // Вісник ВПІ. – 2007. – № 4. – С. 24–27.
14. Колісник О. П. Перспективи використання автоклавної обробки будівельних виробів / Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : наук.-техн. зб. – 2007. – № 4. – С. 75–78.
15. Колісник О. П., І. В. Коц. Обґрунтування генерації теплової енергії в установках із аеродинамічним нагрівом / Науково-технічний збірник "Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві" – 2008. – № 1. – С. 138 – 143.
16. Завод "ПромГазАпарат". Теплогенератори КРОН [Електронний ресурс]: – Режим доступу: http://www.pga.com.ua/kron_ua.html.
17. Посібник до ДБН А.3.1-7-96. Виробництво бетонних та залізобетонних виробів. – Київ: Держкоммістобудування України. 1998. – 141с.
18. ДБН А.3.1-7-96. Виробництво бетонних та залізобетонних виробів. – Київ: Держкоммістобудування України. 1997. – 54с.
19. ДБН А.3.1-8-96. Проектування підприємств з виробництва залізобетонних виробів. – Київ: Укрархбудінформ. 1998. – 47с.
20. Колісник О. П., Коц І.В. Управління процесом тепловологісної обробки будівельних

Слободянюк Сергій Анатолійович – аспірант, кафедра інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, E-mail: sergford90@gmail.com;

Коц Іван Васильович – кандидат технічних наук, професор кафедри інженерних систем у будівництві,завідувач і науковий керівник НДЛ гідродинаміки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: ivan.kots.2014@gmail.com

Slobodyanyuk Serhii A. – PhD student, Department of Engineering Systems in Construction, Vinnytsia National Technical University, E-mail: sergford90@gmail.com;

Kots Ivan V.– Ph.D., Professor, Head of the Department of Engineering Systems in Construction, Head and Research Manager of the Research Laboratory of Hydrodynamics,Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ivan.kots.2014@gmail.com

УДК 620.9:697.1:620.92

Мудрицький О. В.
Панкевич В. В.

ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНО-ТЕПЛОВИХ (PVT) ПАНЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ КОТЕДЖІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація *У роботі розглянуто можливості застосування гібридних фотоелектрично-теплових (PVT) панелей у системах енергопостачання малоповерхових житлових будинків. Проведено аналітичне дослідження конструктивних особливостей, принципу дії та енергетичної ефективності таких систем. Показано, що поєднання фотоелектричних елементів із тепловими колекторами дозволяє підвищити коефіцієнт корисного використання сонячної енергії до 70–85 % за рахунок одночасного виробництва електричної та теплової енергії.*

Розглянуто варіанти інтеграції PVT-модулів із системами теплових насосів та акумулювання енергії для автономного енергопостачання котеджів. Проведено порівняльний аналіз питомої потужності, сезонного коефіцієнта продуктивності та окупності у порівнянні з традиційними PV та сонячними колекторами.

Ключові слова: PVT-панелі, гібридна система, енергоефективність, фотоелектричні елементи, теплова енергія, котедж, автономне енергопостачання.

Abstract *The paper examines the possibilities of using hybrid photovoltaic-thermal (PVT) panels in energy supply systems for low-rise residential buildings. An analytical study of the design features, operating principle, and energy efficiency of such systems has been conducted. It is shown that the combination of photovoltaic elements with thermal collectors makes it possible to increase the efficiency of solar energy utilization up to 70–85% through the simultaneous production of electrical and thermal energy.*

Options for integrating PVT modules with heat pump systems and energy storage for autonomous energy supply of cottages are considered. A comparative analysis of specific power, seasonal performance factor, and payback period is carried out in comparison with traditional PV and solar collectors.

Keywords: PVT panels, hybrid system, energy efficiency, photovoltaic elements, thermal energy, cottage, autonomous energy supply.

Вступ

Проблема енергоефективності житлових будівель в умовах сучасної енергетичної кризи та кліматичних змін набуває дедалі більшої актуальності. Традиційні системи енергопостачання, що базуються на спалюванні викопних палив, супроводжуються високими експлуатаційними витратами та значним рівнем викидів вуглекислого газу.

Одним із перспективних напрямів є використання відновлюваних джерел енергії, серед яких сонячна енергія має найбільший потенціал для приватного сектору. Сучасні технології дозволяють не лише виробляти електричну енергію з фотоелементів, але й ефективно використовувати теплову складову сонячного випромінювання.

Нормативна база України частково враховує енергоефективність будівель та використання сонячного випромінювання: ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2011 включає кліматичні параметри для проектування енергоефективних будівель, що дає основу для більш широкого застосування сонячних технологій; ДБН [1] містить вимоги до проектування систем теплопостачання, вентиляції та опалення, у тому числі тих, що працюють від нетрадиційних джерел енергії (сонячних, теплових насосів тощо) ДСТУ [3, 4] встановлюють методики випробувань сонячних теплових колекторів, зокрема визначення їхніх теплових характеристик, коефіцієнтів корисної дії та гідравлічних втрат, що забезпечує оцінку ефективності й надійності роботи таких пристроїв; ДСТУ [5] встановлює основні терміни та визначення понять у галузі геліоенергетики, що стосуються фотоелектричних станцій і систем перетворення сонячної енергії на електричну.

Метою роботи є оцінка ефективності використання PVT-панелей у системах енергопостачання котеджів з урахуванням кліматичних умов України, структури споживання енергії та можливостей автономної роботи системи.

Результати досліджень

Гібридні фотоелектрично-теплові (PVT) панелі є інноваційним рішенням, що поєднує функції сонячного колектора та фотоелектричного модуля в одному пристрої. Така інтеграція дозволяє збільшити загальний ККД установки, зменшити потребу в окремих колекторах і панелях, а також оптимізувати використання покрівельної площі.

PVT-панелі поєднують у собі фотоелектричний модуль (PV), який перетворює сонячну енергію у електроенергію, та теплообмінник (T), що відводить надлишкове тепло з поверхні елементів.

Основна ідея полягає у тому, що зниження робочої температури фотоелектричних елементів підвищує їх електричний ККД (на 0,4–0,5 % на кожен °C охолодження), а отримане тепло використовується для підігріву води чи повітря у системі опалення.

Порівняльна таблиця ефективності систем:

Тип системи	Електричний ККД, %	Тепловий ККД, %	Загальний ККД, %	Площа установки, м²	Термін окупності, років
Фотоелектрична (PV)	19	-	19	10	10-12
Сонячний колектор (T)	-	55	55	10	8-10
Гібридна PVT-система	16	58	74	10	6-8

Як видно з таблиці, гібридна система забезпечує найвищий загальний коефіцієнт використання енергії. Незважаючи на дещо менший електричний ККД порівняно з окремими PV-модулями, PVT-панелі дають додаткове теплове навантаження, яке може використовуватися для побутових потреб — підігріву води, опалення або акумулювання в баку.

На рисунку 1 наведено спрощену схему інтеграції PVT-панелей у систему енергопостачання котеджу. Фотоелектричний модуль живить електричне навантаження (насоси, побутові прилади), тоді як теплова підсистема передає тепло до бака-акумулятора, звідки воно надходить у систему опалення через теплообмінник.

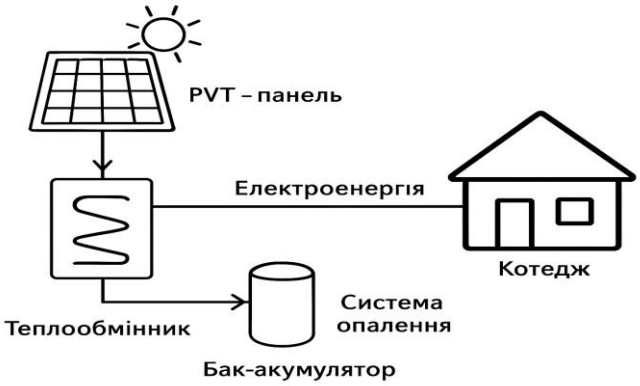


Рисунок 1 – Схема гібридної PVT-системи енергопостачання котеджу

Залежно від типу колектора (повітряного, рідинного або комбінованого), система може працювати в різних режимах. Найбільш поширеним є водяний контур, який дозволяє досягти стабільної роботи при температурах навколишнього повітря до –10 °C.

Сезонний коефіцієнт перетворення енергії (SCOP) таких систем сягає 4,5–5,0, що робить їх порівнянними з сучасними тепловими насосами типу «повітря–вода».

Також проведено техніко-економічну оцінку для котеджу площею 150 м², розташованого у центральній Україні. Річне споживання електроенергії становить 7,8 МВт·год, а теплоти - близько 14 МВт·год. При встановленні 20 м² PVT-модулів (номінальна потужність 3,2 кВт електрична і 6,5 кВт теплова) система може забезпечити до 65 % річних енергопотреб будинку.

Річна економія енергії становить приблизно 10 000–12 000 кВт·год, а скорочення викидів CO_2 — близько 2,3 т/рік.

На рисунку 2 показано залежність виробітку енергії від інтенсивності сонячного випромінювання для PVT та PV систем. Видно, що при підвищенні інсоляції понад 600 Вт/м² приріст теплової енергії стає домінуючим, забезпечуючи стабільність загального ККД.

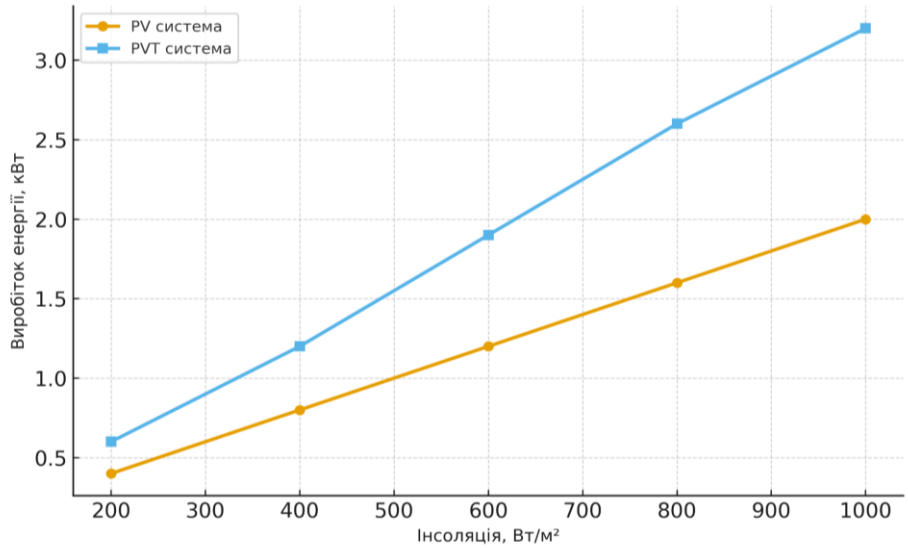


Рисунок 2 – Порівняння виробітку енергії PVT і PV систем при зміні інсоляції

Висновок

Результати проведених досліджень підтверджують, що використання гібридних фотоелектрично-теплових панелей у системах енергопостачання котеджів є ефективним і технологічно доцільним рішенням. Такі системи дозволяють одночасно отримувати електричну та теплову енергію, підвищуючи загальну енергоефективність до 75–80 % і скорочуючи споживання традиційних енергоресурсів.

Інтеграція PVT-модулів із буферними ємностями, тепловими насосами та системами накопичення енергії забезпечує високий рівень автономності та екологічної безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ: Мінрегіон України, 2012. 72 с.
2. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ: Мінрегіон України, 2022. 27 с.
3. ДСТУ EN ISO 9806:2019 Енергія сонячна. Сонячні теплові колектори. Методи випробувань (EN ISO 9806:2017, IDT; ISO 9806:2017, IDT)
4. ДСТУ ISO 9806-1:2005 Колектори сонячні. Методи випробування. Частина 1. Теплові характеристики та перепад тиску засклених сонячних колекторів для нагрівання рідини (ISO 9806-1:1994, IDT)
5. ДСТУ 7503:2014 Геліоенергетика. Станції фотоелектричні. Терміни та визначення понять

6. Методика визначення енергетичної ефективності будівель: Наказ Мінрегіону України №169 від 11.07.2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18
7. Kalogirou S. A. Solar Energy Engineering: Processes and Systems. 2nd ed. Academic Press, 2014. 840 p.
8. Chow T. T. A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology // Applied Energy. 2010. Vol. 87, Issue 2. P. 365–379.
9. Ратушняк Г. С., Панкевич В. В. Шляхи підвищення енергоефективності індивідуальних житлових будинків/ Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р..
10. Zondag H. A. Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2008. Vol. 12. P. 891–959.
11. Паламарчук О. М, Панкевич О.Д.. Аналіз проектних рішень систем опалення та вентиляції з мінімальними енерговитратами. // Матеріали LII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 21-23 червня 2023.

Мудрицький Олександр Володимирович *– студент групи ТГ-24м факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії e-mail: m.6146639996@gmail.com*

Панкевич Володимир Вячеславович *- PhD, старший викладач кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет e-mail: pan@vntu.edu.ua*

Oleksandr Mudrytskyi *- student of the TG-24m group of the Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering e-mail: m.6146639996@gmail.com*

Volodymyr Pankevych *– PhD, Senior Lecturer of the Department of Engineering Systems in Construction. Vinnytsia National Technical University e-mail: pan@vntu.edu.ua*

УДК 519.00: 66.04:628.4.03

Жук Д. В.
Коц І. В.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У РОБОЧІЙ КАМЕРІ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ТЕРМІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено комплексну, багатофакторну 3D-математичну модель теплових і масообмінних процесів у робочій камері устаткування для термічної переробки органічних відходів (наприклад, піролізного реактора). Модель ґрунтується на системі диференціальних рівнянь у частинних похідних, що враховують одночасний вплив теплопровідності, конвекції та випромінювання, а також нелінійні фазові перетворення (сушіння, піроліз). Чисельна реалізація та верифікація моделі підтвердили її адекватність (±5% збіжності). На основі моделювання встановлено оптимальні режими роботи, які дозволяють зменшити перепад температур у шарі відходів на 22% та забезпечити потенційну економію енергії до 15%. Результати мають високу практичну значущість для проєктування енергоефективного та екологічно безпечного обладнання.

Ключові слова: Математичне моделювання, теплові процеси, органічні відходи, піроліз, енергоефективність, оптимізація режимів, чисельні методи, теплообмін, 3D-модель**.**

Abstract

A comprehensive, multifactor 3D mathematical model of heat and mass transfer processes in the working chamber of equipment for the thermal processing of organic waste (e.g., a pyrolysis reactor) has been developed. The model is based on a system of partial differential equations that accounts for the simultaneous effects of heat conduction, convection, and radiation, as well as nonlinear phase transformations (drying, pyrolysis). The numerical implementation and verification of the model confirmed its adequacy (±5% convergence). Based on the modeling results, optimal operating modes were established, which allow for a 22% reduction in the temperature difference within the waste layer and ensure potential energy savings of up to 15%. The findings have high practical significance for the design of energy-efficient and environmentally safe equipment.

Keywords: Mathematical modeling, thermal processes, organic waste, pyrolysis, energy efficiency, optimization of modes, numerical methods, heat transfer, 3D model

Вступ

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розв'язання глобальної екологічної проблеми зростання обсягів органічних відходів та їхнього негативного впливу (забруднення ґрунтів, викиди метану). Існуюче термічне устаткування часто характеризується високою енергоємністю та нерівномірністю теплової обробки. Для підвищення ефективності, зниження експлуатаційних витрат та зменшення вуглецевого сліду необхідний точний інструмент прогнозування та контролю теплових режимів. Таким інструментом є математична модель, яка забезпечує глибоке розуміння фізико-хімічних процесів.

Мета роботи: Розробка та дослідження адекватної математичної моделі теплових процесів, що протікають у робочій камері устаткування для утилізації ОВ, з метою оптимізації його конструктивних та режимних параметрів.

Основні завдання:

1. Аналіз процесів: Дослідження механізмів тепло- та масообміну, а також кінетики термічного розкладу ОВ (сушіння, піроліз, газифікація).

2. Формулювання моделі: Розробка системи РЧП або інших адекватних інструментів, що описують розподіл температури з урахуванням руху матеріалу та внутрішніх джерел/стоків тепла.

3. Чисельна реалізація: Створення алгоритму та програмного коду для розв'язання моделі та проведення її верифікації з експериментальними даними.

4. Оптимізаційні експерименти: Дослідження впливу ключових параметрів (температура стінок, швидкість подачі, геометрія) на ефективність теплової обробки.

5.Розробка рекомендацій: Формулювання практичних рекомендацій для оптимізації к онструкції та режимів роботи устаткування.

Наукова Новизна:

1. ***Комплексна модель.*** Вперше розроблено математичну модель, яка, на відміну від спрощених аналогів, одночасно врахову: нестаціонарність процесу; складну геометрію робочої камери; нелінійні

термофізичні властивості матеріалу відходів, що змінюються при фазових перетвореннях; синхронний вплив усіх трьох видів теплообміну (провідність, конвекція, випромінювання) у гетерогенному середовищі.

2. *Прогностична методика.* Вперше розроблено аналітично-чисельну методику, що дозволяє прогнозувати час та ступінь термічної обробки ОВ із заданою температурою в будь-якій точці робочого об'єму.

3. *Виявлення критичних зон:* Встановлено та локалізовано зони в камері, де теплообмін є найменш ефективним, що дає змогу цілеспрямовано вдосконалити конструкцію.

Практична значущість:

1. Енергоефективність: Результати моделювання дозволяють точно визначити необхідні теплові режими та усунути теплові втрати, що призводить до **мінімізації споживання енергії** (до 10-15%).

2. Інженерне Проєктування: Модель слугує інструментом для проєктування нових установок та модернізації існуючих, дозволяючи швидко оцінювати ефективність різних конструктивних рішень (наприклад, розташування нагрівальних елементів).

3. Екологічна Безпека: Оптимізація режимів гарантує повніше розкладання шкідливих речовин та мінімізацію викидів.

4. Автоматичне Управління: Модель є основою для розробки інтелектуальних систем автоматичного управління, які можуть динамічно адаптуватися до зміни характеристик сировини (вологість, склад).

Суть математичного моделювання:

Модель розроблена на основі тривимірного (3D) рівняння теплопровідності для твердої фази (відходи/стінки) та рівнянь енергії/руху для газової фази (газоподібні продукти піролізу) з урахуванням:

$$\rho_{ср}(\partial T/\partial t + u\cdot\nabla T)=\nabla\cdot(k\nabla T)+S_{rad}+S_{source}/_{sink},$$

де: ρ — густина, c_p — теплоємність, T — температура, u — швидкість руху матеріалу, k — коефіцієнт теплопровідності, S_{rad} — джерело/стік від радіаційного теплообміну, $S_{source}/_{sink}$ — джерело/стік тепла від ендотермічних (сушіння, піроліз) та екзотермічних (горіння) реакцій.

Модель реалізовано в середовищі чисельного моделювання (наприклад, ANSYS Fluent або COMSOL Multiphysics).

Ключові отримані результати:

Картування температурного поля: Отримано деталізований розподіл температурного поля в робочій камері. Встановлено, що при швидкості подачі відходів 0.5т/год, час перебування матеріалу в зоні з температурою вище критичної ($T_{крит}$=550°C) становить 85% від загального часу.

Режимна оптимізація: Доведено, що збільшення швидкості обертання барабанного реактора на 15% (з 5 до 5.75 об/хв) значно покращує перемішування та дозволяє зменшити перепад температур у шарі відходів на 22%, забезпечуючи однорідність термічної обробки.

Верифікація: Досягнуто високої збіжності результатів моделювання та натурного експерименту за ключовими параметрами (середня температура газової фази та вихід кінцевого продукту) з точністю до ±5%.

Висновки та рекомендації до подальших досліджень

Висновки:

1. Розроблена багатозонна математична модель є адекватною та точною і успішно описує складні теплові процеси в робочій камері, враховуючи рух матеріалу та фазові перетворення.
2. Моделювання підтвердило, що рівномірність температурного поля є ключовим фактором для підвищення ефективності, продуктивності та якості переробки ОВ.
3. Оптимізація режимів роботи, отримана на основі моделі, дозволяє досягти суттєвої економії енергії (до 10-15%).

Рекомендації:

1. Впровадити отримані оптимальні режими роботи (швидкість обертання, температурний графік) на діючих промислових установках для верифікації економічного ефекту та отримання промислових даних.
2. Використовувати розроблену модель на етапі проєктування нових установок для вибору оптимальної геометрії та потужності нагрівальних елементів.
3. Продовжити дослідження у напрямку інтеграції моделі з системами машинного зору та штучного інтелекту для прогностичного контролю стану відходів у реальному часі та створення адаптивної системи управління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Директива (ЄС) 2018/2001 Європейського Парламенту та Ради від 11 грудня 2018 року про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел. 2018. URL: https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Monografia_final_21.12.2020.pdf

2. Альтернативна енергетика: [навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.] / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнєв, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. К: «Аграр Медіа Груп», 2012. 244 с. URL: http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/4582/3/Alt_energ_2012.pdf

3. Dreszer K., Vichalek R., Roszkowski A. Energia odnawialna – mozliwosci jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. Krakow: DRUKROL, 2003. 256 c.

4. William E. Eleazer†, William S. Odl, Yu-Sheng Wang, and Morton A. Barlaz. Department of Civil Engineering, Box 7908, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina 27695-7908 , № 31 (3), 1997. P.P. 911–917.

Жук Дмитро Вячеславович – аспірант, кафедра інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет,Вінниця, e-mail: DmitroZhuk333@gmail.com

Коц Іван Васильович – к.т.н, професор кафедри інженерних систем у будівництві, завідувач НДЛ гідродинаміки Вінницького національного технічного університету, ORCID: 0000-0003- 0870-6385, e-mail: ivan.kots.2014@gmail.com

Dmytro Zhuk – Postgraduate studend of the Department of Engineering Systems in Construction, Vinnytsia, National Technical University, e-mail: DmitroZhuk333@gmail.com

Ivan Kots – Ph.D., professor of the Department of Engineering Systems in Construction, head of the hydrodynamics research laboratory of the Vinnytsia National Technical University, ORCID: 0000-0003-0870-6385, e-mail: ivan.kots.2014@gmail.com

УДК 697.8

Г. С. Ратушняк
С. В. Замковий

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЕКОЦИДУ

Вінницькій національний технічний університет

Анотація

Розглянуто актуальність та методи моніторингу технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури, зокрема систем опалення, вентиляції та кондиціювання повітря (ОВК). За результатами аналізу аналітичних та експериментальних досліджень підкреслено доцільність використання стійких (резильєнтних) інженерних рішень, здатних забезпечувати якісний мікроклімат в умовах підвищеної безпекової напруженості та обмеженого доступу. Запропоновані підходи що включають використання багаторівневої фільтрації, автономних джерел живлення та локального резервування, телевізійний контроль та автоматичне регулювання допомагає підтримувати задані параметри мікроклімату в приміщеннях, що забезпечує найбільш оптимальні умови з найменшими витратами на підтримання оптимальної температури приміщення, вологості, концентрації вуглекислого газу (CO2), дозволить запропонувати заходи що забезпечать стабільне функціонування стратегічних об'єктів та швидкої оцінки пошкоджень та визначення пріоритетів відновлення функціональності систем (ОВК).

Ключові слова: інженерні системи, надійність, мікроклімат, діагностування, технічний стан.

Abstract

The relevance and methods of monitoring the technical condition of engineering infrastructure objects, particularly Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) systems, are considered.Based on the analysis of analytical and experimental studies, the expediency of using resilient engineering solutions capable of ensuring a high-quality indoor climate under conditions of increased security tension and limited access is emphasized.The proposed approaches, which include the use of multi-level filtration, autonomous power sources and local redundancy, television monitoring, and automatic control, help maintain the specified microclimate parameters in the premises. This ensures the most optimal conditions with minimum costs for maintaining the optimal room temperature, humidity, and carbon dioxide (CO2) concentration. These approaches will allow for the proposal of measures that ensure the stable functioning of strategic facilities and the rapid assessment of damage and prioritization of the restoration of HVAC system functionality.

Keywords: engineering systems, reliability, microclimate, diagnostics, technical condition.

Вступ

Повномасштабна військова агресія та спричинений нею воєнний екоцид в Україні створили безпрецедентні виклики для функціонування критичної інженерної інфраструктури, зокрема систем опалення, вентиляції та кондиціювання повітря (ОВК). Екоцид проявляється не лише у фізичному руйнуванні об'єктів (житлових будівель, ТЕЦ, водогонів), але й у довготривалому забрудненні територій токсичними речовинами, продуктами горіння та вибухівки. Традиційні підходи до розрахунку та забезпечення надійності систем мікроклімату не враховують комбінованої дії таких чинників, як: фізична руйнація елементів систем (ударна хвиля, уламки); тривалі перебої в енерго- та водопостачанні; хімічне та аерозольне забруднення повітря і ґрунту, що призводить до корозії та виходу з ладу обладнання (наприклад, фільтрів, теплообмінників); дефіцит ресурсів та неможливість оперативного обслуговування в небезпечних зонах.

Це вимагає розроблення нових, стійких (резильєнтних) інженерних рішень, здатних забезпечувати якісний мікроклімат (особливо в укриттях, лікарнях, тимчасових модульних містечках) в умовах високого ризику. Використання багаторівневої фільтрації, автономних джерел живлення та локального резервування, телевізійний контроль та автоматичне регулювання забезпечують органи управління актуальними даними для прийняття ефективних рішень щодо забезпечення

функціонування систем (ОВК) що критично важливо для підвищення стійкості систем (ОВК) в умовах воєнного екоциду.

Результати досліджень

Резервування, інтелектуальне управління технічного стану та функціонування систем (ОВК) як IoT діагностика є однією з сучасних технологій , що забезпечує високу точність , оперативність та безпеку контролю в умовах підвищеної безпекової напруженості. Так Інтелектуальне Управління та Діагностика (IoT та BMS) дозволяють проводити комплексну та безперервну діагностику критично важливих параметрів систам (ОВК) спричиненої непередбачуваними зовнішніми факторами , класифікувати та аналізувати фактори (забруднення, механічні пошкодження) та їхній вплив на елементи систем ОВК (теплообмінники, фільтри, автоматика). Дистанційний контроль: дозволяє проводити моніторинг об'єктів, розташованих в небезпечних або окупованих зонах, мінімізуючи ризики для персоналу.

Використання IoT-датчиків (вібрації, температури підшипників, струму двигунів, тиску та ін.) та машинного навчання (ML), забезпечують отримання важливої інформації про стан систем (ОВК). Результатом є адаптивне управління фільтрацією та вентиляцією, автоматично захищаючи внутрішнє середовище від критичного зовнішнього забруднення, система аналізує робочі параметри, прогнозує ймовірність відмови компонента (наприклад, вентилятора або компресора, забруднення фільтрів) до того, як вона фактично станеться. Це дозволяє провести обслуговування про активно, а не реактивно.

Отримані дані проходять комплексну обробку та інтегруються до бази даних де постійне збереження історичних даних про роботу обладнання, у разі збою дозволяє швидко провести аналіз кореневих причин і запобігти повторенню проблеми, а також оцінити динаміку їхнього розвитку. Результати аналізу є підґрунтям розроблення проєктних рішень та оперативного планування відновлювальних робіт. При цьому забезпечується мінімізація часу реагування на аварійні ситуації та знижуються ризики масштабних наслідків внаслідок пошкодження систем (ОВК).

Висновок

Діагностика (IoT та BMS) систем (ОВК) є досить ефективним способом для забезпечення безпеки, особливо в умовах воєнного часу. Цей підхід дає змогу оперативно та високоточно діагностувати вразливі компоненти системи (ОВК).Комплексне використання резервування, інтелектуальне управління технічного стану та функціонування систем (ОВК) як IoT діагностика не лише фіксує пошкодження, але й дозволяє прогнозувати ризики їх розвитку. Таким чином використання багаторівневої фільтрації, автономних джерел живлення та локального резервування, телевізійний контроль та автоматичне регулювання є надійним елементом системи управління з мінімізації загрози відмови систем (ОВК) та сприяє забезпеченню надійності, стійкості і безперебійності роботи життєво важливої інженерної системи (ОВК).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лялюк, О. Г. Моніторинг довкілля: навчальний посібник / О. Г. Лялюк, Г. С. Ратушняк. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 140 с.
2. ДБН В.2.5-67:2013 : Опалення, вентиляція та кондиціювання / М-во регіон. розвитку, буд-ва та житл.-комун. госп-ва України. — К., 2013. — 168 с.
3. ДБН В.2.6-31:2016 : Теплова ізоляція будівель / М-во регіон. розвитку, буд-ва та житл.-комун. госп-ва України. — К., 2016. — 70 с.
4. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 : Будівельна кліматологія / Мінрегіонбуд України. — К. : Мінрегіонбуд України, 2011. — 119 с. — (Державні стандарти України).
5. Verbert, K. Combining knowledge and historical data for system-level fault diagnosis of HVAC systems / K. Verbert, R. Babuška, B. De Schutter // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2017. – Vol. 59. – P. 260–273. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.engappai.2016.12.021.

Ратушняк Георгій Сергійович – професор, завідувач кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ratusnakg@gmail.com ORCID 0000- 0001-9656-5150

Замковий Сергій Васильович – аспірант, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: gosergz@gmail.com

Ratushnyak Heorhiy Serhiyovych – Professor, Head of the Department of Engineering Systems in Construction, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ratusnakg@gmail.com ORCID 0000- 0001-9656-5150

Zamkovy Serhiy Vasyliovych – Postgraduate Student, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: gosergz@gmail.com

УДК 628.8

А. А. Брицький
О. Д. Панкевич

ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІЮВАННЯ НА ПРИКЛАДІ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено комплексну оцінку енергоефективності систем вентиляції та кондиціювання адміністративної будівлі на основі аналізу теплотехнічних характеристик, аеродинамічного опору мережі, режимів роботи обладнання та можливостей впровадження рекуперації теплоти. Розглянуто чинні нормативні вимоги до мікроклімату та енергоспоживання будівель, а також сучасні енергозберігаючі технології. Сформовано пропозиції щодо підвищення енергоефективності, включаючи впровадження систем автоматичного керування, високоефективних теплоутилізаторів та модернізацію кондиціонерного обладнання.

Ключові слова: вентиляція, кондиціювання, енергоефективність, рекуперація теплоти, мікроклімат, адміністративна будівля, енергозбереження.

Abstract

A comprehensive evaluation of the energy efficiency of ventilation and air-conditioning systems in an administrative building was conducted. The study includes an analysis of thermal characteristics, aerodynamic resistance, equipment operation modes, and the potential for heat recovery. Current regulations on indoor climate and building energy consumption, as well as advanced energy-saving technologies, are reviewed. Recommendations for improving energy efficiency are developed, involving automation, high-performance heat exchangers, and modernization of air-conditioning systems.

Keywords: ventilation, air conditioning, energy efficiency, heat recovery, indoor climate, administrative building, energy saving.

Вступ

Раціональне використання енергетичних ресурсів у будівлях адміністративного призначення є одним із основних завдань сучасного проєктування та експлуатації інженерних систем У структурі енергоспоживання адміністративних об’єктів значну частку - до 40–45 % - становлять витрати на вентиляцію та кондиціювання, що робить ці системи одним із ключових об’єктів для підвищення енергетичної ефективності.. Зростання вартості енергоносіїв, підвищення навантаження на енергетичний сектор та необхідність скорочення експлуатаційних витрат зумовлюють потребу у впровадженні технологій, здатних забезпечити нормативний мікроклімат при мінімальних енерговитратах.

Актуальність дослідження зумовлена зростаючими вимогами до енергоефективності будівель та необхідністю оптимізації роботи інженерних систем, що забезпечують мікроклімат. Основними документами, що визначають підхід до е проектування енергоефективних систем вентиляції та кондиціювання адміністративних будівель є Закон України «Про енергозбереження» [1], ДБН [2-4], а також ДСН [5]. Нормативи визначають необхідність забезпечення повітрообміну з дотриманням норм щодо температури, вологості, швидкості руху повітря та концентрації шкідливих речовин, але одночасно акцентують на обов’язковому скороченні тепловтрат і підвищенні ефективності використання первинних енергоресурсів.

Виконання нормативних вимог щодо мікроклімату приміщень у поєднанні з мінімізацією енергетичних витрат є складною інженерною задачею, оскільки робота систем вентиляції та кондиціювання включає значні затрати енергії на підігрів або охолодження та транспортування повітря. Саме тому важливим напрямом дослідження в сучасній практиці є оцінка енергоефективності систем, виявлення основних втрат та обґрунтування ефективних технічних рішень, таких як рекуперація теплоти, аеродинамічна оптимізація та автоматизоване керування режимами роботи.

Основна частина

Системи вентиляції та кондиціювання адміністративних будівель характеризуються складною структурою теплотехнічних та аеродинамічних процесів, які визначають загальне енергоспоживання. Для забезпечення нормативного мікроклімату адміністративних будівель відповідно до чинних норм ДБН [2-4] та ДСН [5] необхідно підтримувати стабільні параметри повітряного середовища за різних умов експлуатації. Одним із головних джерел енергетичних втрат є видалення з приміщень значних обсягів повітря, яке має температуру, близьку до внутрішнього мікроклімату. У традиційних вентиляційних системах це тепло втрачається безповоротно, що зумовлює збільшення навантаження на системи опалення та охолодження. Така ситуація є особливо критичною для адміністративних будівель з тривалим режимом роботи, де повітрообмін здійснюється постійно або з високою інтенсивністю. У разі відсутності рекуперації система змушена компенсувати тепловтрати виключно за рахунок енергоресурсів, тоді як впровадження теплоутилізаторів дозволяє повернути до 30–60 % теплоти відпрацьованого повітря [6].

Тепловтрати суттєво зростають при нераціональній конфігурації повітропроводів, зокрема за наявності надлишкових поворотів, нерівномірності повітророзподілу або недостатнього діаметра каналів, що збільшує аеродинамічний опір. Зростання опору вентиляційної мережі навіть на 100 Па призводить до збільшення споживання електроенергії на 7–12 % [7], що в масштабах адміністративної будівлі формує істотні зайві витрати. Крім цього, відсутність або недостатність теплоізоляції повітропроводів, які проходять через холодні або технічні приміщення, спричиняє додаткові неконтрольовані втрати теплоти, що підвищує навантаження на обладнання.

Суттєву частину енергоспоживання формують вентилятори та кондиціонери. Більшість адміністративних будівель обладнані відцентровими вентиляторами з ККД 50–60 %, тоді як сучасні ЕС-вентилятори демонструють ефективність понад 85 % [8]. Подібна ситуація спостерігається і в кондиціонуванні: інверторні компресори забезпечують економію 25–35 % електроенергії порівняно з традиційними системами постійної частоти. Проте в багатьох будівлях вони відсутні, а кондиціонери працюють у режимах, не адаптованих до зовнішніх змін температури.

Аналіз нормативної документації, результатів енергетичного обстеження адміністративних будівель та сучасних досліджень [6, 9-11] свідчить, що найбільші потенціали економії енергоресурсів зосереджені у енергозбереження зосереджені у вдосконаленні роботи систем вентиляції та кондиціювання. Передусім це стосується правильної організації повітрообміну, упровадження рекуперації теплоти, зниження аеродинамічних втрат у повітропроводах та підвищення рівня автоматизації управління інженерним обладнанням. Використання теплоутилізаторів зі ступенем ефективності 0,65 - 0,80 дає змогу скоротити витрати теплоти на підігрів зовнішнього повітря на 40–55 %. Застосування більш раціональної конфігурації повітропроводів і сучасних вентиляторів дозволяє зменшити споживання електроенергії ще на 15–20 %. Упровадження систем автоматичного регулювання повітрообміну залежно від концентрації CO_2 та присутності людей забезпечує додаткове зниження витрат на 20–30 %, оскільки система працює не постійно, а відповідно до реального навантаження на приміщення.

У результаті комплексної модернізації, що охоплює теплоутилізацію, аеродинамічну оптимізацію, утеплення повітропроводів, встановлення інверторних кондиціонерів та автоматизованого управління, загальне енергоспоживання систем вентиляції та кондиціювання може бути зменшене на 30–45 %, що підтверджується сучасними експериментальними даними [6].

Висновок

Проведений аналіз показав, що найбільший потенціал підвищення енергоефективності систем вентиляції та кондиціювання адміністративної будівлі полягає у впровадженні рекуператорів теплоти, модернізації вентиляторного та кондиціонерного обладнання, зменшенні аеродинамічного опору мережі повітропроводів та інтеграції автоматизованих систем керування параметрами повітря. Реалізація цих заходів дозволяє комплексно зменшити теплові втрати, скоротити витрати електроенергії та забезпечити підвищення комфорту в приміщеннях при одночасному зниженні експлуатаційних витрат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про енергозбереження: Закон України від 01.07.1994 № 75/94-ВР.
2. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ : Мінрегіонбуд України, 2021.

3. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціювання. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013.
4. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення
5. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
6. Xie D., Yu L., Jiang T., Zou Y. Distributed Energy Optimization for HVAC Systems in University Campus Buildings. IEEE Access. 2018. Vol. 6. P. 59141–59151.
7. Ратушняк Г. С., Попова Г. С. Енергозбереження та експлуатація систем теплопостачання. Вінниця : Універсум, 2004.
8. Панкевич О. Д., Слободян Н. М., Ободянська О. І. Організація та технологія проєктування систем теплогазопостачання та вентиляції. Вінниця : ВНТУ, 2017.
9. Eurovent Energy Efficiency Standards for Ventilation Units. Eurovent Certified Performance, 2020.
10. Брич В. Я., Джеджула В. В., Дзядикевич Ю. В. Організаційно-економічний механізм енергозбереження. Тернопіль : ТНЕУ, 2018.
11. Панкевич О. Д., Патлатий А. О.Заходи з енергозбереження в системах опалення та вентиляції громадських будівель/ Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)», Вінниця, 22 червня 2023 р.

Брицький Андрій Андрійович – студент, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. zhuzula@gmail.com
Панкевич Ольга Дмитрівна – .т.н,, доцент кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, e-mail: pankevich@vntu.edu.ua

Brytskyi Andriy – student, Faculty for Civil Engineering, Thermal Power Engineering and Gas Supply, Vinnytsya national technical university, Vinnytsya city. zhuzula@gmail.com
Olga Pankevych – Cand. Sc. (Eng.), Ass. Prof. of the Department of Engineering Systems in Construction. Vinnytsia National Technical University e-mail: pankevich@vntu.edu.ua

УДК 628.1/.3:543.3

Горюн О. О.
Гуменчук А. Є.
Колачинський Ю. М.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ МІСЬКОЇ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОРТАТИВНОГО ПРИЛАДУ ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. *У роботі представлено результати лабораторного дослідження якісних показників води: pH, електропровідність (EC), загальна мінералізація (TDS), окисно-відновний потенціал (ORP) та температура води за чотирма зразками, відібраними з різних джерел у м. Вінниця. Аналіз здійснено за ключовими параметрами, що регламентуються чинними нормативами ДСТУ та санітарними правилами. Для кожного зразка визначено концентрації основних показників, виконано їх порівняння з нормативними значеннями та проведено оцінку можливих відхилень. Здійснено статистичну обробку результатів, включно з розрахунком середніх значень для підвищення достовірності оцінки. На основі отриманих даних встановлено потенційні ризики для споживачів та сформульовано комплекс рекомендацій щодо покращення якості води.*

Ключові слова: якість; вода; параметри; контроль; електропровідність; загальна мінералізація; окисно-відновний потенціал; температура; водопостачання;

Abstract *This work presents the results of a laboratory study of water quality indicators, including pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), oxidation-reduction potential (ORP), and water temperature, based on four samples collected from different sources in Vinnytsia. The analysis was performed according to key parameters regulated by current DSTU standards and sanitary guidelines. For each sample, the concentrations of the main indicators were determined, compared with normative values, and assessed for possible deviations. Statistical processing of the results was carried out, including the calculation of mean values to increase the reliability of the assessment. Based on the obtained data, potential risks for consumers were identified and a set of recommendations for improving water quality was formulated.*

Keywords: quality; water; parameters; monitoring; electrical conductivity; total dissolved solids; oxidation-reduction potential; temperature; water supply.

Вступ

Якість питної води є ключовим фактором здоров'я населення та екологічної безпеки міст. Зростання техногенного навантаження, зношеність інженерних мереж, а також різниця у природних та технічних характеристиках джерел водопостачання призводять до можливих відхилень основних фізико-хімічних показників від нормативних значень. Для оперативного контролю використовують методи, які забезпечують швидке та достовірне визначення параметрів якості води.

Застосування портативних електронних приладів дозволяє здійснювати експрес-оцінку стану води без складної лабораторної підготовки, що підвищує ефективність моніторингу та дозволяє оперативно виявляти потенційні ризики для споживачів.

Метою дослідження є оцінювання якості води з різних джерел міста на основі фізико-хімічних параметрів, визначених за допомогою портативного аналізатора (pH / TDS / EC), та порівняння отриманих значень із нормативними вимогами для питної води.

Результати досліджень

Контроль основних фізико-хімічних параметрів дозволяє своєчасно виявити відхилення від нормативних вимог [1 - 4], оцінити придатність води до споживання та визначити потенційні ризики для здоров'я людини. Основні нормативи ДСанПіН 2.2.4-171-10 [2] регламентують допустимі

концентрації показників (pH, мінералізація, солевміст тощо); ДБН В.2.5-74:2013 [3] містить загальні вимоги щодо систем водопостачання та якості води; ДСТУ 4077-2001 [4] визначає методики контролю кислотності.

У ході дослідження було проведено експрес-аналіз якості води з різних джерел міста за допомогою портативного pH/TDS/EC-метра, що забезпечує оперативність вимірювань та дозволяє виконувати первинну оцінку якості води без лабораторного обладнання. Вимірювання включали визначення таких показників: pH, електропровідність (EC), загальна мінералізація (TDS), окисно-відновний потенціал (ORP) та температура води.

Водневий показник pH характеризує кислотно-лужний баланс води. Нормований діапазон для питної води згідно [2, 3] становить 6,5 – 8,5. Відхилення pH можуть призводити до: корозії трубопроводів (при pH < 6,5), підвищення осадоутворення (при pH > 8,5).

TDS (Total Dissolved Solids, загальна мінералізація) - позначає сумарну концентрацію розчинених солей. Рекомендовані значення для питної води – до 1000 мг/л згідно [2]. Підвищена мінералізація може впливати на: смакові властивості води, утворення накипу, мікрокорозійні процеси, стан нирок при тривалому споживанні.

EC - електропровідність. Електропровідність прямо корелює з мінералізацією води. Нормативне значення для питної води - до 2500 µS/cm. EC використовується як індикатор забруднення солями, мінералами та техногенних домішок.

ORP (окисно-відновний потенціал). ORP характеризує здатність води окиснювати чи відновлювати речовини. Для якісної питної води рекомендовані значення +200…+450 mV. Показник не нормується ДСТУ, однак широко використовується для оцінки безпечності та ефективності водоочищення.

Температура води впливає на: смак та органолептичні властивості, ефективність знезараження, розчиненість кисню. Нормативні вимоги: не вище 20 °C для водопровідної води [2]. Для колодязів та джерел допускається 6 – 12 °C як природна температура.

Отримані результати для зразків 1 – 4 були зведені у таблиці та, що дозволило провести порівняльний аналіз між різними типами джерел міста Вінниці. У таблиці 1 наведено основні фізико-хімічні параметри води для зразків (1 – 4), відібраної з побутових та природних точок забору міста Вінниці (зразок 1, 2 криниці на вул. Бучми; зразок 3 водопровідна вода з крану, зразок 4 «Долина»).

Таблиця 1 – Результат дослідження та нормативних величин

№ зразка	pH	Норма pH	TDS (мг/л)	Норма TDS	EC (µS/см)	Норма EC	ORP (мВ)	T (°C)
1	7.05	6.5–8.5	595	≤1000	1181	200–800	128	24.8
2	6.96	6.5–8.5	697	≤1000	1425	200–800	144	20.1
3	6.91	6.5–8.5	292	≤1000	595	200–800	120	20.6
4	5.89	6.5–8.5	324	≤1000	663	200–800	148	18.9

Аналіз чотирьох зразків води, відібраних із різних джерел міста, показав значну варіативність фізико-хімічних параметрів. Водневий показник pH знаходився у межах від 5.89 до 7.05. Три зразки (№1 – 3) відповідали вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 [2] (6.5 – 8.5), тоді як зразок №4 характеризувався зниженим pH, що свідчить про підвищену кислотність води та може бути індикатором геохімічної специфіки або локального забруднення. Показник TDS коливався у діапазоні 292 – 697 мг/л. Значення для зразків №3 і №4 характеризували низьку мінералізацію, тоді як зразки №1 і №2 мали підвищений солевміст, хоча й не перевищували граничних значень ДСТУ 7525:2014 (≤1000 мг/л). Аналогічні закономірності відзначено для електропровідності EC: для зразків №3 і №4 вона не перевищувала типових значень (200 – 800 µS/см), у той час як для зразків №1 і №2 електропровідність була суттєво вищою (1181 та 1425 µS/см відповідно), що свідчить про підвищену концентрацію розчинених іонів. Значення окисно-відновного потенціалу ORP у всіх чотирьох зразках становили 120 – 148 мВ, що є типовим для природних вод без суттєвих домішок органічних відновників. Отже, аналіз показав, що основні відхилення пов’язані зі зниженим pH зразка №4 та підвищеною мінералізацією зразків №1, 2. Інші параметри перебували в межах нормативних вимог.

За результатами порівняння отриманих значень з нормативами (ДСанПіН) встановлено:

– pH усіх трьох зразків знаходиться в межах нормативного інтервалу 6,5 – 8,5, що свідчить про відсутність кислотно-лужних аномалій.

- Показники TDS та EC у зразків коливаються в діапазонах, характерних для слабомінералізованої та помірно мінералізованої води. Усі значення не перевищують граничних 1000 мг/л та 2500 µS/cm, відповідно.
- Значення ORP демонструють позитивні величини, що вказує на потенційно безпечний окиснювальний характер води.
- Температурні показники знаходяться в межах природної температури води, що підтверджує коректність відбору проб.

Таким чином, усі чотири зразки відповідають санітарним вимогам і можуть бути охарактеризовані як умовно безпечні при належному знезараженні.

Для того щоб оцінити загальний стан води міста, а не лише одиничні випадки визначено середні значення показників (таблиця 2).

Таблиця 2- Середні значення показників (зразки 1 – 4)

Показник	Середнє значення	Норматив	Коментар
pH	6.70	6.5–8.5	У межах норми
TDS	477 мг/л	≤1000 мг/л	У нормі, середня мінералізація
EC	966 µS/см	200–800 µS/см (типова питна вода)	Перевищення через зразки 1–2
ORP	135 мВ	Норми немає	Типове значення
Температура	21.1 °C	–	Природне значення

Таблиця 3 - Порівняння з нормативами та відхилення

Показник	Зразки в нормі	Зразки мають відхилення	Характер відхилення	Потенційні причини
pH (6.5–8.5)	1, 2, 3	4	знижений pH = 5.89	кислі домішки, геохімія або локальне забруднення
TDS (≤1000 мг/л)	Усі (1–4)	–	норма	норма
EC (200–800 µS/см)	3, 4	1, 2	висока електропровідність (1181–1425 µS/см)	підвищена мінералізація
ORP	Усі	–	нормальна окисна активність	нормальна окисна активність
Температура	Усі	–	природні значення	природні значення

На основі проведених вимірювань та нормативної бази можуть бути надані такі рекомендації:

1. Для джерел із підвищеним TDS та EC. Рекомендується застосування побутових або промислових систем пом’якшення води (іонний обмін, зворотний осмос).
2. При pH нижче нормативу. Потрібно перевірити джерело на наявність агресивних домішок та можливу корозію конструкцій. Доцільне встановлення нейтралізаційних фільтрів.
3. При pH вище 8,5. Застосовувати вугільні фільтри або аерацію для зниження лужності.
4. Низький ORP (< +200 mV). Може свідчити про органічне забруднення - рекомендується кип’ятіння або знезараження.
5. Температура вище 20 °C. Вказує на можливі застійні ділянки; рекомендується перевірка стану трубопроводів.
6. Періодичний моніторинг. Проводити вимірювання не рідше ніж раз на 3 місяці, а для відкритих джерел – щомісяця.

Комплексне вимірювання pH, TDS, EC, ORP та температури дозволяє: проводити експрес-оцінку стану водопостачання без лабораторних умов; визначати техногенний вплив на джерела (солевміст, електропровідність); оцінити ефективність природних фільтраційних процесів; виявляти потенційні ризики корозії та накопичення відкладень у трубопроводах; встановлювати непрямі ознаки мікробіологічного забруднення (за ORP); формувати рекомендації щодо доочищення. Такі вимірювання особливо важливі для міст з різнорідними джерелами водопостачання: колодязями, артезіанськими свердловинами, природними джерелами, річками, централізованим водопроводом.

Визначення ключових фізико-хімічних показників якості води за допомогою портативного pH/TDS/EC-метра є інформативним та ефективним способом оперативного контролю стану водних

джерел міста. Порівняння отриманих значень з нормативами дозволяє виявити відхилення, оцінити безпечність води для споживання та сформувати рекомендації щодо її доочищення або покращення якості. Такий підхід є доцільним для використання в рамках навчальних і наукових досліджень, а також для практичних потреб органів місцевого самоврядування та водоканалів.

Висновки

У ході дослідження проведено порівняльний аналіз показників: pH, електропровідність (EC), загальна мінералізація (TDS), окисно-відновний потенціал (ORP) та температура води, відібраної з декількох джерел м. Вінниці. Отримані результати дозволили оцінити стан якості питної води та ступінь її відповідності нормативним вимогам. Встановлено що частина досліджуваних проб відповідає нормативам за всіма контрольованимим параметрами. У зразка 1 виявлено відхилення показника pH, нижче нормативного діапазону. Це свідчить про підвищену кислотність води та можливий вплив природних або техногенних факторів,
та може спричиняти корозію труб. На основі результатів вимірювань сформульовані практичні рекомендації щодо покращення якості води, а також реомендовано повторний контроль у зразках, що мають відхилення показників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості»
2. ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною
3. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Зі Зміною № 1
4. ДСТУ 4077-2001 Якість води. Визначення pH (ISO 10523:1994, MOD)

Горюн Олег Олегович *- PhD, старший викладач кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail: oleggoriun@vntu.edu.ua*

Гуменчук Анастасія Євгеніївна – *студент групи СМ-23б факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії e-mail: flora.butterfly68954@gmail.com*

Колачинський Юрій Миколайович *- студент групи АДВ-23б факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії e-mail:Kmyurii7@gmail.com*

Oleh Horiun *— PhD, senior lecturer of the department of engineering systems in construction, faculty of construction, civil and environmental engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail : oleggoriun@vntu.edu.ua.*

Anastasia Humenchuk *- student of the Sm-23b group of the Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering e-mail: flora.butterfly68954@gmail.com*

Kolachynskyi Yurii Mykolaiovych *- student of the Adv-23b group of the Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering e-mail: Kmyurii7@gmail.com*

УДК 621.311

Г. С. Ратушняк
Є. І. Буяльський

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ ТА ОПАЛЕННЯ БАГАТОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто шляхи підвищення енергоефективності систем газопостачання та опалення багатоповерхових житлових будівель. Запропоновано дії для покращення ефективності та зменшення витрат газопостачання багатоповерхових житлових будівель.

Ключові слова: газопостачання, опалення, енергоефективність, витрати.

Abstract

Ways to increase the energy efficiency of gas supply and heating systems of multi-story residential buildings are considered. Actions are proposed to improve efficiency and reduce costs of gas supply to multi-story residential buildings.

Key words: gas supply, heating, energy efficiency, costs.

Вступ

Підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів є одним із пріоритетних напрямків науки і техніки, особливо це є актуальним в умовах небезпекової ситуації

Системи газопостачання та опалення багатоповерхових житлових будівель, відіграючи важливу роль у забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату у кожному будинку, викликають потребу у покращенні та вдосконаленні енергоефективності. У зв'язку з постійним зростанням енергетичних витрат та збільшенням екологічних вимог, оптимізація споживання газу у житлових комплексах набуває важливості. Нинішній стан сфери будівництва вимагає системних рішень щодо поліпшення енергоефективності систем газопостачання та опалення у багатоповерхівках. Використання найбільш іноваційного обладнання є важливим заходом до зменшення витрат.

Результати досліджень

Підвищення енергоефективності в системах газопостачання та опалення досягається за допомогою встановлення та модернізації енергоефективного газоспоживаючого обладнання. Газові котли поділяють за кількістю конутрів: одноконтурні – слугують тільки для опалення приміщення, двоконтурні – забезпечують і опалення, і гаряче водопостачання. Коли є можливість подальшого встановлення бойлеру, більш доцільнішим є встановлення одноконтурних котлів.

Оптимальним є поквартирне встановлення двоконтурних котлів для забезпечення комфортної температури у приміщенні та гарячого водопостачання. Переваги двоконтурних котлів за типом камери згорання: з відкритою камерою згорання – із відведенням продуктів згорання у окремий димовідвідний канал; з закритою камерою згорання – продукти згорання відводяться через коаксіальний димохід, за допомогою вбудованого вентилятора, що забезпечує кращу герметичність котла порівняно із котлами з відкритою камерою згорання. Є можливість влаштування димоходу через зовнішню стіну, що забезпечує якісніший стан повітря всередині приміщення; конденсаційні котли із закритою камерою згорання – це газові котли, які використовують теплову енергію, що утворюється під час конденсації водяної пари з продуктів згоряння, для додаткового нагріву води, роблячи процес опалення значно ефективнішим і екологічнішим.

Для контролю викидів вибухонебезпечних речовин, природного (CH4) та чадного (CO) газів, необхідно облаштовувати житлові будинки сигналізаторами загазованості. Сигналізатори загазованості

спрацьовують при виявленні витоків природного газу на ділянках трубопроводу, а також при виявленні потрапляння чадного газу в приміщення, через несправність газового обладнання. Це, в свою чергу, збільшує енергоефективність обладнання, шляхом зменшення витоків, тобто витрат, при забезпеченні теплом житлових будинків.

Для будівництва або модернізації системи опалення найбільш доцільним на сьогоднішній день є використання поліпропіленових труб, за закладеними потребами підібраного теплоносія (двоконтурного котла або ін.)

Організаційно-технологічні заходи з підвищення енергоефективності систем газопостачання та опалення передбачають вдосконалення процедури обліку та споживання енергоносіїв. Енергомодернізація багатоповерхових житлових будівель включає енергоаудит будівлі, термомодернізацію огороджувальних конструкцій, зменшення потужності газових приладів, економічний режим роботи пальників газових плит та газових колонок, вдосконалення системи вентиляції, встановлення термоголовок на батареях. Ці заходи з підвищення енергоефективності будівель сприяють скороченню витрат енергоносіїв до 40%.

Висновки

Розглянуто шляхи підвищення енергоефективності систем газопостачання та опалення багатоповерхових житлових будівель. Обґрунтовано шляхи вдосконалення та модернізації обладнання для отримання більшої енергоефективності, а також організаційні заходи оптимізації споживання енергоносіїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII URL Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19
2. ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція та енергоефективність будівель"[Чинний від 2022-09-01]. - К.: Мінрегіон України, 2022 р. – 27 с
3. Про енергозбереження Закон України від 01.07.1994р № 75/94-ВР від 01.07.9 Оновлення (редакція) від 23.07.2017 Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text
4. ДБН В.2.5-20:2018 Газопостачання. Київ Мінрегіон України, 2019р.
5. Ратушняк Г.С., Ободянська О.І. Управління змістом проектів із забезпечення надійності зовнішніх газорозподільних мереж. Монографія. Вінниця. 2014.128 с.
6. Ратушняк Г.С., Попова Г.С. Енергозбереження та експлуатація систем теплопостачання: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ. 2004. 138 с.

Ратушняк Георгій Сергійович – к.т.н., професор, завідувач кафедри Інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, e-mail: ratusnakg@gmail.com. ORCID 0000- 0001-9656-5150

Буяльський Євгеній Ігорович – магістр, Вінницький національний технічний університет, e-mail: zhenyabuyalskiy@gmail.com.

Ratushniak Georgy Serhiyovych - Ph.D., professor, head of the Department of Engineering Systems in Construction at the Vinnytsia National Technical University, e-mail: ratusnakg@gmail.com. ORCID 0000- 0001-9656-5150

Buialskyi Yevhenii Igorovich – master, Vinnytsia National Technical University, e-mail: zhenyabuyalskiy@gmail.com.

УДК 697.7:621.577

Чебан О. Б.
Коц І. В.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто питання підвищення енергоефективності систем теплопостачання житлових будівель шляхом інтеграції геотермального теплового насоса (ГТН). Представлено результати математичного моделювання динаміки теплового балансу будинку та продуктивності ГТН, включаючи моделювання теплообміну у вертикальному ґрунтовому теплообміннику. Встановлено, що використання ГТН дозволяє зменшити споживання первинної енергії на 40-60% порівняно з традиційними газовими котлами, досягаючи коефіцієнта перетворення (COP) 3.5-4.5. Виявлено оптимальні параметри буріння та експлуатації ґрунтових зондів для забезпечення стабільності теплознімання протягом опалювального сезону. Результати мають високу практичну значущість для проєктування систем теплопостачання з мінімальним вуглецевим слідом.

Ключові слова: Геотермальний тепловий насос (ГТН), енергоефективність, теплопостачання, COP, математичне моделювання, ґрунтовий теплообмінник, енергозбереження.

Abstract

The issue of improving the energy efficiency of residential heating systems through the integration of a geothermal heat pump (GHP) is considered. The results of mathematical modeling of the thermal balance dynamics of a building and the performance of the GHP are presented, including the simulation of heat exchange in a vertical ground heat exchanger. It has been established that the use of GHPs allows reducing primary energy consumption by 40–60% compared to traditional gas boilers, achieving a coefficient of performance (COP) of 3.5–4.5. Optimal drilling and operation parameters of ground probes have been identified to ensure stable heat extraction throughout the heating season. The results have high practical significance for the design of heating systems with a minimal carbon footprint.

Keywords: Geothermal heat pump (GHP), energy efficiency, heating supply, COP, mathematical modeling, ground heat exchanger, energy saving.

Вступ

Актуальність дослідження зумовлена глобальною необхідністю зниження енергозалежності, зменшенням викидів парникових газів та стрімким зростанням цін на традиційні енергоносії (природний газ, електрика). Житловий сектор є одним із найбільших споживачів енергії. Геотермальні теплові насоси (ГТН) представляють собою найбільш перспективне рішення для забезпечення сталого та економічно вигідного теплопостачання, оскільки вони використовують відновлювану низькопотенційну теплоту ґрунту, що забезпечує високий коефіцієнт перетворення енергії (COP). Необхідність точного прогнозування та оптимізації роботи ГТН в умовах змінних кліматичних та геологічних факторів вимагає застосування адекватного математичного моделювання.

Мета роботи: Розробка та дослідження оптимізованої енергоефективної системи теплопостачання житлового будинку на основі геотермального теплового насоса шляхом математичного моделювання її роботи для обґрунтування технічних та економічних параметрів.

Основні завдання дослідження:

1. Аналіз систем: Провести порівняльний аналіз енергоефективності та економічної доцільності ГТН та традиційних систем опалення.

2. Формулювання моделі: Розробити динамічну математичну модель теплового балансу житлового будинку та теплообміну в ґрунтовому теплообміннику (ґрунтовому зонді).

3. Чисельна реалізація: Створити чисельний алгоритм для розрахунку продуктивності ГТН (COP) та температурного поля ґрунту в зоні розташування зондів.

4. Оптимізація параметрів: Визначити оптимальні конструктивні параметри ґрунтового теплообмінника (глибина, відстань між зондами) та режими роботи ГТН для забезпечення максимального COP.

5. Економічна оцінка: Провести техніко-економічне обґрунтування терміну окупності системи ГТН порівняно з існуючими альтернативами.

Наукова новизна:

Комплексна динамічна модель: Вперше розроблено динамічну 3D-модель теплового балансу системи "Будинок – ГТН – Ґрунт", яка одночасно враховує нестаціонарність навантаження будинку, теплові властивості ґрунту та його сезонну регенерацію.

Методика прогнозування деградації ґрунту: Розроблено методику прогнозування довгострокової температурної деградації ґрунтового масиву навколо зондів, що дозволяє запобігти падінню ефективності ГТН у наступні роки експлуатації.

Оптимізація розміщення: Встановлено оптимальне співвідношення між потужністю ГТН та геометричними параметрами зондів, що мінімізує початкові капітальні витрати при збереженні високого COP.

Практична значущість:

1. Розроблена модель служить інструментом для інженерного проєктування та обґрунтування вибору типу та кількості ґрунтових зондів для конкретних геологічних умов.

2. Впровадження системи ГТН дозволяє досягти значної економії експлуатаційних витрат (до 60% порівняно з газовим опаленням) та зменшити викиди CO_2.

Основні результати та суть математичного моделювання

Суть математичного моделювання:

Моделювання ґрунтується на розв'язанні нестаціонарного рівняння теплопровідності для ґрунтового масиву з урахуванням кондуктивного та конвективного теплообміну:

$$\rho \cdot c_p(\partial T/\partial t) = \nabla \cdot (k \nabla T) + q(x,y,z,t,$$

де: T— температура, ρ – густина, c_p — об'ємна теплоємність ґрунту, k— теплопровідність ґрунту, а q(x,y,z,t) — джерело/стік тепла, що моделює роботу зонда.

Модель дозволяє динамічно розраховувати:

1. Тепловий баланс будинку: Погодинне навантаження на опалення/охолодження.
2. Температуру в ґрунті: Динаміка зміни температури ґрунту навколо зонда.
3. Коефіцієнт COP: Розрахунок реального коефіцієнта перетворення енергії ГТН залежно від температури джерела тепла (ґрунту).

Ключові отримані результати:

1. Енергетична ефективність: Моделювання підтвердило, що середньорічний коефіцієнт перетворення (COP) становить 3.8-4.2 для типового односімейного будинку в кліматичних умовах України, що забезпечує економію первинної енергії близько 55%.
2. Оптимізація зондів: Виявлено, що для системи потужністю 10 кВт оптимальна глибина буріння зондів становить 80-100 м з мінімальною рекомендованою відстанню між зондами 5-6 м для запобігання тепловій інтерференції та деградації ґрунту.
3. Температурна стабільність: Прогнозний аналіз показав, що при оптимізованих параметрах, падіння температури ґрунту наприкінці опалювального сезону (через 10 років експлуатації) не перевищує 2-3°C, що гарантує стабільну роботу системи.

Висновки:

1. Розроблена комплексна динамічна математична модель є адекватним інструментом для проєктування та оптимізації систем теплопостачання на базі ГТН.
2. Системи ГТН демонструють високу енергоефективність (COP приблизно 4.0) та значну економічну перевагу порівняно з традиційними системами опалення.
3. Геометрична оптимізація ґрунтового теплообмінника є критично важливою для забезпечення довгострокової стабільності роботи системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В 2.2.5-97 Будинки і споруди. Захисні споруди цивільної оборони URL:http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/55.1

2. Опалення, вентиляція та кондиціювання: ДБН В.2.5-67:2013. [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Мін-регіон України, 2013. – (Державні будівельні норми України).

3. Мікроклімат приміщень. [Електронний ресурс]. URL: https://studfile.net/preview/5726365/

4. Адсорбційні осушувачі повітря. [Електронний ресурс] URL: https://myhumi.com.ua/uk/adsorbuyuchiosushuvachi

5. Конденсаційний та адсорбційний осушувач повітря. [Електронний ресурс]. URL:: http://destech.com.ua/ua/blog-kompanii/kondensacionnye-ili-adsorbcionnyj-osushitel-vozduha

6. Директива (ЄС) 2018/2001 Європейського Парламенту та Ради від 11 грудня 2018 року про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел. 2018. URL: https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Monografia_final_21.12.2020.pdf

7. Альтернативна енергетика: [навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.] / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнєв, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. К: «Аграр Медіа Груп», 2012. 244 с. URL: http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/4582/3/Alt_energ_2012.pdf

8. Dreszer K., Vichalek R., Roszkowski A. Energia odnawialna – mozliwosci jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. Krakow: DRUKROL, 2003. 256 c.

9. William E. Eleazer†, William S. Odl, Yu-Sheng Wang, and Morton A. Barlaz. Department of Civil Engineering, Box 7908, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina 27695-7908 , № 31 (3), 1997. P.P. 911–917.

Чебан Олександр Борисович **–** магістрант кафедри інженерних систем у будівництві, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: *cheban.ob@gmail.com*

Коц Іван Васильович **–** кандидат технічних наук, професор кафедри інженерних систем у будівництві, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Email: *ivan.kots.2014@gmail.com*

Cheban Oleksandr B. – Master's student, Department of Engineering Systems in Construction, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: *cheban.ob@gmail.com*

Kots Ivan V. – Ph.D. in Engineering, Professor, Department of Engineering Systems in Construction, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: *ivan.kots.2014@gmail.com*

УДК 621.311:69

Мудрицький О. В.
Панкевич В. В.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЯК СКЛАДОВА СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ У МАЛОПОВЕРХОВОМУ БУДІВНИЦТВІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація *У роботі розглянуто роль енергоефективності як ключового елементу стратегії сталого розвитку в малоповерховому будівництві. Проведено аналіз основних принципів енергозбереження, конструктивних та технологічних рішень, що сприяють зменшенню енергоспоживання в житлових будинках. Визначено взаємозв'язок між енергоефективністю будівлі, використанням відновлюваних джерел енергії та екологічною безпекою середовища. Наведено порівняльні характеристики показників енергоспоживання для будинків різних рівнів енергоефективності. Показано, що впровадження енергоощадних технологій у малоповерховому будівництві дозволяє не лише зменшити викиди CO_2, а й скоротити експлуатаційні витрати та підвищити комфорт проживання.*

Ключові слова: енергоефективність, сталий розвиток, малоповерхове будівництво, енергозбереження, відновлювані джерела енергії, будівельні технології.

Abstract *The paper examines the role of energy efficiency as a key component of the sustainable development strategy in low-rise construction. The main principles of energy saving, constructive and technological solutions aimed at reducing energy consumption in residential buildings are analyzed. The interrelation between building energy efficiency, the use of renewable energy sources, and environmental safety is identified. Comparative characteristics of energy consumption indicators for buildings with different levels of energy efficiency are presented. It is shown that the implementation of energy-saving technologies in low-rise construction not only reduces CO_2 emissions but also decreases operating costs and improves living comfort.*

Keywords: energy efficiency, sustainable development, low-rise construction, energy saving, renewable energy sources, building technologies.

Вступ

Сучасні тенденції розвитку будівельної галузі ґрунтуються на концепції сталого розвитку, яка передбачає гармонійне поєднання економічної ефективності, екологічної безпеки та соціальної відповідальності. Одним із ключових напрямів цієї концепції є енергоефективність, що визначає рівень раціонального використання енергетичних ресурсів протягом життєвого циклу будівлі.

Питання впровадження енергоощадних технологій у малоповерховому будівництві набуває особливої важливості в сучасних умовах підвищення цін на енергоносії, зростання енергоспоживання та необхідності забезпечення енергетичної незалежності України. Малоповерхове житлове будівництво посідає значну частку в загальному обсязі нового житлового фонду, тому застосування ефективних конструктивних рішень і сучасних інженерних систем дозволяє істотно знизити витрати енергії на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання. Використання енергоощадних технологій сприяє підвищенню комфортності житла, зменшенню негативного впливу на довкілля, а також відповідає сучасним вимогам сталого розвитку та екологічної безпеки. В Україні питання енергоефективності регламентується низкою нормативних документів [1-4] та дозволяють кількісно оцінювати рівень енергоспоживання будівель.

Метою дослідження є аналіз сучасних підходів до підвищення енергоефективності малоповерхових будівель, визначення основних факторів, що впливають на рівень енергоспоживання, та оцінка впливу енергозберігаючих технологій на показники сталого розвитку.

Результати досліджень

Енергоефективність будівлі визначається сукупністю рішень, спрямованих на мінімізацію втрат тепла та оптимізацію споживання енергії під час експлуатації. Основними складовими енергоефективного проектування є:

– раціональне планування будівлі з урахуванням орієнтації на сторони світу;

– використання сучасних теплоізоляційних матеріалів;

– впровадження систем вентиляції з рекуперацією тепла;

– застосування відновлюваних джерел енергії (сонячні колектори, теплові насоси, фотоелектричні панелі);

– автоматизація систем керування мікрокліматом.

У малоповерховому будівництві найбільший потенціал економії енергії досягається завдяки удосконаленню теплотехнічних характеристик огороджувальних конструкцій та впровадженню автономних систем енергозабезпечення.

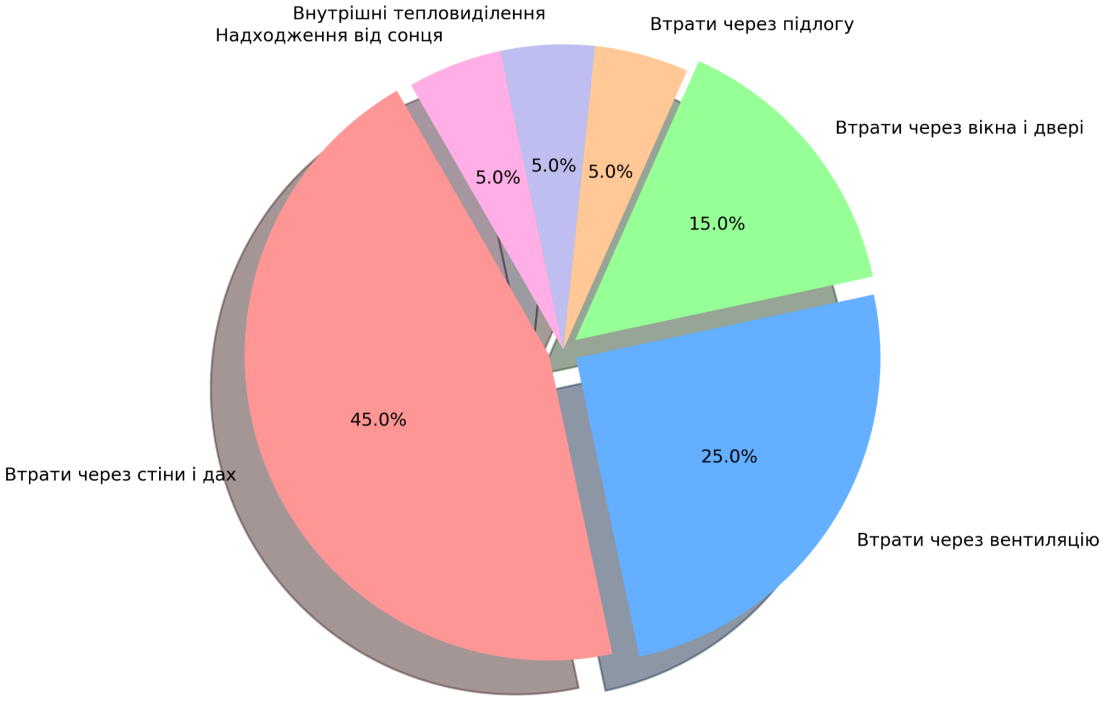


Рисунок 1 – Енергетичний баланс малоповерхового житлового будинку

На рисунку 1 подано спрощену схему енергетичного балансу малоповерхового житлового будинку, у якій виділено основні напрямки втрат і надходжень енергії. Найбільші втрати припадають на огороджувальні конструкції — до 45 %, вентиляцію — до 25 %, вікна та двері — до 15 %. Оптимізація цих складових дозволяє підвищити загальну енергоефективність будівлі на 30–40 %. Сучасні дослідження [5-7] підкреслюють ефективність використання новітніх теплоізоляційних матеріалів у будівництві, що дає змогу знизити теплові втрати до 30–40 %.

Таблиця 1 – Порівняння енергетичних характеристик житлових будинків різних класів енергоефективності.

Клас енергоефективності	**Річне споживання енергії, кВт·год/м²**	**Основні конструктивні рішення**	**Орієнтовна економія енергії, %**
Звичайний будинок (E)	250–300	Стандартні матеріали, відсутність утеплення	–
Покращений (C–D)	150–200	Утеплення стін і даху,	25–35

		металопластикові вікна	
Енергоефективний (B)	90–120	Системи рекуперації, багатошарове скління, утеплений фундамент	45–55
Пасивний (A–A+)	15–50	Сонячні колектори, тепловий насос, високоефективна ізоляція	75–85

Згідно з таблицею 1, перехід від традиційного до енергоефективного типу будівлі дозволяє скоротити споживання енергії більш ніж удвічі. Найвищих показників можна досягти при використанні пасивних технологій — таких як герметичний тепловий контур, рекуперація повітря, використання поновлюваних джерел енергії та “розумне” керування мікрокліматом.

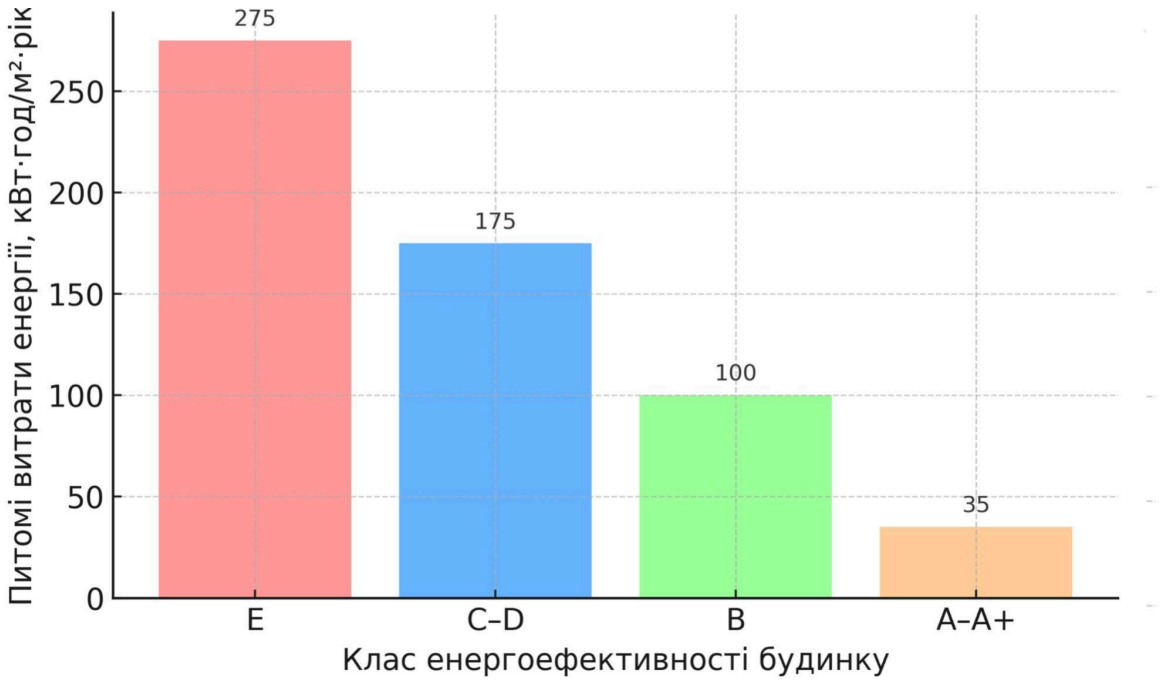


Рисунок 2 – Порівняння питомого енергоспоживання будинків різних класів енергоефективності

На рисунку 2 показано порівняльну діаграму питомого енергоспоживання будинків різних класів енергоефективності. Видно, що впровадження енергоощадних технологій у малоповерховому будівництві дозволяє скоротити річні витрати енергії до 80 % порівняно зі стандартними будівлями.

Крім технічних аспектів, енергоефективність має також соціально-економічне значення. Вона забезпечує підвищення якості життя мешканців за рахунок стабільного мікроклімату, зниження витрат на комунальні послуги та зменшення екологічного навантаження на довкілля. У поєднанні з концепцією сталого розвитку це сприяє формуванню енергетично незалежних та екологічно безпечних населених пунктів.

Висновок

У процесі роботи проаналізовано сучасні підходи до підвищення енергоефективності в малоповерховому житловому будівництві та підтверджено практичну доцільність їх застосування на рівні проєктування й експлуатації. Використання комплексу заходів — орієнтація будинку, ретельна теплоізоляція огороджувальних конструкцій, багатошарове скління, застосування рекуперaційних систем і інтеграція відновлюваних джерел енергії разом із «розумним» керуванням мікрокліматом — дає найбільший синергетичний ефект. За результатами аналізу, перехід від традиційних рішень до

енергоефективних і пасивних технологій дозволяє зменшити річне енергоспоживання будинку в рази, істотно скоротити викиди CO_2 та знизити експлуатаційні витрати, одночасно підвищивши комфорт мешканців.

Практичні рекомендації для проєктувальників та власників приватних будинків полягають у пріоритетному спрямуванні інвестицій на підвищення енергоефективності будівлі шляхом забезпечення високоякісної теплоізоляції та герметичності огороджувального контуру. Доцільним є впровадження систем рекуперації повітря та комбінованих джерел енергії: поєднання теплових насосів із сонячними колекторами чи фотоелектричними панелями. Важливим напрямом є також автоматизація систем опалення та вентиляції з метою оптимізації енергоспоживання.

На рівні регіонального планування та енергетичної політики це зумовлює необхідність оновлення нормативної бази й запровадження стимулюючих механізмів, спрямованих на підвищення доступності енергоефективних технологій для населення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». Київ: Мінрегіон України, 2021. 27 с.
2. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». Київ: Мінрегіон України, 2013. 72 с.
3. Методика визначення енергетичної ефективності будівель: Наказ Мінрегіону України №169 від 11.07.2018 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18. . (Дата звернення: 15.10.2025).
4. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель». Київ: Держспоживстандарт України, 2013. 48 с.
5. Панкевич О. Д., Гуменчук А. Є. Ефективні теплоізоляційні матеріали та їх застосування в будівництві // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)». Вінниця, 2024. С. 34–41.
6. Ратушняк Г. С., Панкевич В. В. Ієрархічна класифікація факторів впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівель // Сучасні технології в будівництві. 2020. Вип. 27, №2. С. 204–209.
7. A. Humenchuk.,O. Pankevych Analysis of thermal insulation materials and their use in construction. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 11-20 травня 2024 р. 2024. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/viewFile/19787.
8. Sartori I., Hestnes A. G. Building energy performance: an overview of current problems and challenges // Energy and Buildings. 2007;39(3):219–228.
9. EN 15603:2008 Energy performance of buildings — Overall energy use and definition of energy ratings. European Committee for Standardization, 2008. 44 p.
10. International Energy Agency. Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Policy Options. Paris: IEA, 2013. 86 p.

Мудрицький Олександр Володимирович *– студент групи ТГ-24м факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії e-mail: m.6146639996@gmail.com*

Панкевич Володимир Вячеславович *- PhD, старший викладач кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет e-mail: pan@vntu.edu.ua*

Oleksandr Mudrytskyi *- student of the TG-24m group of the Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering e-mail: m.6146639996@gmail.com*

Volodymyr Pankevych *– PhD, Senior Lecturer of the Department of Engineering Systems in Construction. Vinnytsia National Technical University e-mail: pan@vntu.edu.ua*

ДК 620.9

Д. В. Степанов, к.т.н., доц., ВНТУ
С. Й. Ткаченко, д.т.н., проф., ВНТУ
Д. Я. Лисюк, студент

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНДЕНСАЦІЙНОГО ЕКОНОМАЙЗЕРА НА ПРОМИСЛОВІЙ КОТЕЛЬНІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезах розглянуто актуальну проблему підвищення енергоефективності та екологічності роботи промислових парових котелень, що працюють на біомасі, зокрема на лушпинні соняшника. Об'єктом дослідження обрано котельню Вінницького олійно-жирового комбінату, де встановлені парові котли, що працюють у режимі високих навантажень без резервування потужностей. За таких умов виникають значні теплові втрати при аварійних зупинках і недоотримання теплової енергії.

Запропоновано впровадження конденсаційного економайзера для утилізації теплоти відхідних газів котлів на біопаливі для підвищення енергетичної, екологічної та економічної ефективності. Виконано моделювання роботи контактного теплоутилізатора з активною насадкою типу БКТО фірми LATHERM. Як низькотемпературний теплоносій використовується сира технічна вода.

Виявлена можливість утилізувати значну теплоту, що може бути використана на нагрів технічної води. Це забезпечить економію палива у вигляді лушпиння соняшника, зниження температури відхідних газів і поліпшення ефективності роботи хімводоочищення. Додатково конденсаційний економайзер виконає функцію очищення димових газів від золи, що зменшує техногенне навантаження на довкілля.

Виконані економічні розрахунки, розраховані капіталовкладення та їх терміни окупності. Враховано також додаткові експлуатаційні витрати, пов'язані з очищенням теплообмінних поверхонь і циркуляцією теплоносія. Підтверджено, що впровадження конденсаційного економайзера є ефективним технічним рішенням для підвищення енергетичної, екологічної та економічної ефективності промислових котелень, що працюють на біомасі.

Ключові слова: біомаса, паровий котел, конденсаційний економайзер, рекуперація відхідного тепла, енергоефективність, екологічні показники, лушпиння соняшнику

Abstact

The article addresses the urgent issue of improving the energy efficiency and environmental performance of industrial steam boiler plants operating on biomass, particularly sunflower husk. The case study focuses on the boiler plant of the Vinnytsia Oil and Fat Plant, equipped with steam boilers of a total steam capacity of 40 t/h, operating under high loads without reserve capacity. Such conditions lead to significant thermal losses during emergency shutdowns and reduced heat supply reliability.

The purpose of this research is to assess the energy, environmental, and economic efficiency of installing a condensation-type economizer for waste heat recovery from biomass-fired boilers. A simulation of the contact heat recovery unit with an active packing (LATHERM BKTO model) was carried out. The flue gas temperature after the boilers is approximately 190 °C, and raw technical water with a flow rate of 8.9 kg/s is used as a low-temperature coolant.

Modeling results show that installing two BKTO-1.5 economizers enables the recovery of 640–655 kW of heat power, heating technical water to 28–35 °C. This ensures fuel savings (sunflower husk), a decrease in flue gas temperature, and improved performance of the water treatment system. The condensation economizer also provides wet cleaning of flue gases from ash, reducing the environmental impact of the boiler plant.

Economic analysis revealed that the annual fuel savings amount to 660–690 thousand UAH, while the equipment cost is about 1 million UAH, resulting in an acceptable payback period. Although additional operating costs are expected, such as cleaning and water filtration, the implementation of a condensation economizer significantly improves the energy, environmental, and economic efficiency of industrial biomass boiler systems.

Keywords: biomass, steam boiler, condensation economizer, waste heat recovery, energy efficiency, environmental performance, sunflower husk.

Вступ. Постановка задачі

Сучасна промислова теплоенергетика України перебуває на етапі активного пошуку шляхів підвищення енергоефективності та зменшення негативного впливу на довкілля. Зростання вартості енергоресурсів і посилення екологічних вимог зумовлюють необхідність удосконалення технологій спалювання палива та модернізації існуючих котельних систем [1-4].

На сьогодні значна частина промислових котелень в Україні, зокрема у харчовій промисловості, працює в умовах підвищених навантажень і часто не має резервних потужностей. Це знижує надійність теплопостачання та призводить до додаткових енергетичних і економічних втрат під час аварійних або вимушених зупинок обладнання.

Котельне господарство Вінницького олійно-жирового комбінату є показовим прикладом таких систем. Воно експлуатує твердопаливні парові котли, що працюють на лушпинні соняшника — відновлюваному біопаливі, утвореному як побічний продукт основного виробництва. Ефективніше використання цієї сировини дозволить не лише зменшити енерговитрати підприємства, а й підвищити частку товарної продукції з лушпиння у вигляді паливних гранул.

Температура димових газів після існуючих котлів становить 160…200 °С, що свідчить про значний потенціал утилізації теплоти. Одним із найбільш перспективних шляхів її використання є встановлення конденсаційних або неконденсаційних економайзерів, які дозволяють підвищити коефіцієнт корисної дії котельні без істотного втручання у конструкцію котлоагрегатів. За даними авторів [5-9], застосування конденсаційного економайзера може забезпечити зростання ефективності енергетичного використання палива більш ніж на 15 %.

Характерною особливістю таких систем є потреба у наявності низькотемпературного теплоносія, який забезпечує конденсацію водяної пари з димових газів [4-7]. Для умов промислової котельні цю функцію може виконувати сира технічна або хімічно очищена вода, що застосовується у виробничих процесах.

Таким чином, актуальним є дослідження можливостей впровадження конденсаційного газового економайзера в котельні Вінницького олійно-жирового комбінату з метою підвищення енергетичної, екологічної та економічної ефективності її роботи.

Мета роботи – оцінити енергетичну, екологічну та економічну ефективність встановлення конденсаційного газового економайзера на промисловій котельні на біомасі.

Результати досліджень

Для проведення оцінки ефективності впровадження конденсаційного економайзера як системи утилізації теплоти відхідних газів було обрано промислову котельню Вінницького олійно-жирового комбінату. Котельня обладнана паровими котлами сумарною паропродуктивністю 40 т/год, що працюють на біопаливі — лушпинні соняшника. Середня температура відхідних димових газів за котлами становить близько 190 °С, що свідчить про наявність значного потенціалу вторинного тепла.

Потужність економайзера з боку газів, з врахуванням частки газів $\eta_{об}$, що йде через економайзер

$$Q_{ек1} = G_г \cdot \left(I_{Г_1} - I_{Г_2}\right) \cdot B \cdot \eta_{об}.$$

Для моделювання процесів теплоутилізації застосовано контактний теплообмінник з активною насадкою типу БКТО, розроблений фірмою LATHERM [9]. Перед початком розрахунків виконано визначення основних характеристик продуктів згоряння біопалива, а також температурно-витратних параметрів системи охолодження.

Витрата води, що нагрівається

$$G_в = \frac{Qee}{c_в \rho_в \left(t_{в_2} - t_{в_1}\right)}.$$

Розрахункова витрата сирої технічної води, яка використовується у технологічному циклі підприємства, становить 8,9 кг/с. Цей показник є граничним для реалізації конденсаційного режиму, оскільки саме наявність достатньої кількості холодного теплоносія забезпечує інтенсивну конден-

сацію водяної пари з димових газів.

З метою мінімізації гідравлічних опорів і стабілізації роботи котлів прийнято, що через економайзери проходитиме близько 80 % загальної кількості димових газів після котлів. Моделювання теплотехнічних процесів показало [11-13], що орієнтовна утилізована теплова потужність конденсаційного економайзера становитиме 640–655 кВт. За таких умов температура технічної води на виході з теплообмінника підвищується до 28–35 °С, що забезпечує додаткове енергозбереження у системі водопідготовки та зменшує питомі витрати біопалива

$$\Delta B = \frac{Q_{ек2}}{Q_н^р \cdot \eta_к}$$

Використання конденсаційного економайзера забезпечує не лише зниження втрат теплоти з димовими газами, але й покращує екологічні показники роботи котельні. У процесі конденсації відбувається вологе осадження твердих частинок золи, що сприяє очищенню димових газів і зменшенню техногенного впливу на навколишнє середовище.

Економічна оцінка показала, що при вартості двох економайзерів БКТО-1,5 близько 1 млн грн, очікуваний річний економічний ефект від зниження витрат палива становить 660–690 тис. грн [14]. Це відповідає прийнятному терміну окупності проєкту. Водночас необхідно враховувати додаткові експлуатаційні витрати, пов’язані з періодичним очищенням теплообмінних поверхонь, фільтрацією води в контурі активної насадки та витратами електроенергії на циркуляцію теплоносіїв.

Отримані результати підтверджують доцільність впровадження конденсаційного економайзера у промислових котельнях, що працюють на біомасі. Така технологія дозволяє одночасно підвищити енергетичну ефективність, екологічну безпечність та економічну результативність роботи котельного господарства без істотної реконструкції існуючого обладнання.

Висновки

Проведений аналіз підтверджує актуальність проблеми підвищення енергоефективності промислових котелень, що працюють на біомасі, зокрема на лушпинні соняшника. Використання вторинних енергетичних ресурсів димових газів є одним із найефективніших шляхів зниження питомих витрат палива та підвищення загального коефіцієнта корисної дії котельних установок.

На основі проведеного моделювання встановлено, що впровадження конденсаційного економайзера типу БКТО-1,5 у котельні Вінницького олійно-жирового комбінату дозволяє утилізувати теплову потужність на рівні 640–655 кВт, що забезпечує підігрів технічної води до температури 28–35 °С. Це сприяє економії біопалива та покращує роботу системи водопідготовки підприємства.

Експлуатація конденсаційного економайзера сприяє також зниженню викидів твердих частинок у відхідних газах завдяки ефекту вологого осадження, що позитивно впливає на екологічні характеристики котельні та зменшує її техногенне навантаження на довкілля.

За результатами техніко-економічного аналізу встановлено, що річний економічний ефект від зниження витрат палива становить 660–690 тис. грн при вартості обладнання близько 1 млн грн, що відповідає прийнятному терміну окупності інвестицій. Незважаючи на наявність додаткових експлуатаційних витрат, проект характеризується високою економічною доцільністю.

Упровадження конденсаційного економайзера є ефективним технічним рішенням, яке забезпечує комплексне підвищення енергетичної, екологічної та економічної ефективності роботи промислової котельні. Отримані результати підтверджують можливість масштабного застосування подібних теплоутилізаційних систем у промислових об’єктах, що використовують біопаливо, з метою зниження енергоспоживання та підвищення екологічної безпеки виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С. Й. , Чепурний М. М. , Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання – Вінниця: ВНТУ, 2005. 137 с.
2. Шумський В. І., Сич В. В. Енергетична ефективність промислових котелень: аналітичний огляд сучасних технологій утилізації теплоти димових газів. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2018. №3. С. 21–28.
3. Wang S., Li H. Energy recovery and emission reduction in biomass-fired boilers through flue gas condensation. Renewable Energy. 2021. Vol. 170. P. 1126–1138.
4. Zhao Y., Zhang L., Wu H. Experimental study on the performance of condensing heat exchangers in industrial biomass boiler systems. Applied Thermal Engineering. 2020. Vol. 180. P. 115–123.
5. Bujak J. Modeling and optimization of heat recovery from flue gas in biomass boilers. Energy Conversion and Management. 2015. Vol. 96. P. 450–459.
6. Сидоренко І. М., Ткачук В. О. Підвищення енергоефективності промислових котелень з використанням технологій вторинного тепловикористання. Технічна теплофізика і промислова енергетика. 2022. №2. С. 37–44.
7. European Commission. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants (LCP BREF). Brussels: Publications Office of the European Union, 2023.
8. Мазур В. Г., Руденко Ю. М. Підвищення ефективності котельних установок на біопаливі за рахунок використання конденсаційних теплообмінників. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2019. №5. С. 45–52.
9. Твердопаливний конденсаційний економайзер Latherm. URL: https://economizer.com.ua/ua/tverdopalyvni-kondensatsijni.html (дата звернення: 10.11.2025)
10. Утилізатор тепла димових газів твердопаливний або газовий конденсаційний (промисловий економайзер) URL: https://www.aspit.com.ua/services/ekonomajzery/tverdopalyvnyj-abo-hazovyj-kondensatsijnyj-teploutylizator-ekonomajzer/ (дата звертання 10.11.2025 р.)
11. Бєлов С. В., Кузьменко О. О. Дослідження процесів тепломасообміну у конденсаційних економайзерах з різними типами насадок. Теплофізика і теплотехніка. 2020. Т. 42, №4. С. 15–22.
12. Теплообмін при конденсації пари з парогазової суміші. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fbteg/kulinchenko_teploper/12.htm (дата звернення 19.03.2025).
13. Шафаренко М. В., Воробйова О.В. Особливості конденсації пари з парогазової суміші. URL: http://conf.biotech.kpi.ua/article/view/258857 (дата звернення 19.03.2025).
14. Ткаченко С.Й., Степанов Д. В., Лисюк Д. Я. Ефективність конденсаційного економайзера на промисловій котельні // Доповідь на Науково-технічній конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінниця, 2024. URL: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/23776/19624 (дата звернення: 10.11.2025)

Степанов Дмитро Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Stepanovdv@ukr.net

Ткаченко Станіслав Йосипович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Stahit6937@gmail.com

Лисюк Денис Ярославович, студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет

Stepanov Dmitro, candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Stepanovdv@ukr.net

Tkachenko Stanislav, d.t.s, Professor, Department of heat power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Stahit6937@gmail.com

Lysiuk Denis, student on Department of thermal power engineering, Vinnytsia National Technical University

УДК 620.9

Боднар Л. А.
Швець М. О.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВЛОВЛЮВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ ВУГЛЕЦЮ В БІОЕНЕРГЕТИЦІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Україна володіє значним потенціалом біомаси, доступної для виробництва енергії. В процесі перетворення біомаси в біопаливо викидається значна кількість вуглекислого газу. Проаналізовано методи перетворення біомаси в біопаливо. Проведено оцінювання викидів вуглекислого газу в процесах очищення біогазу. Проведено огляд літературної інформації по використанню технологій вловлювання вуглекислого газу в біоенергетиці.

Ключові слова: біоенергетика, біомаса, вуглекислий газ, технології вловлювання і зберігання вуглецю.

Abstract

Ukraine has a significant potential of biomass available for energy production. In the process of converting biomass into biofuels, a significant amount of carbon dioxide is emitted. Methods of converting biomass into biofuels are analyzed. Carbon dioxide emissions in biogas purification processes are estimated. A review of literature on the use of carbon dioxide capture technologies in bioenergy is conducted.

Keywords: bioenergy, biomass, carbon dioxide, carbon capture and storage technologies.

Вступ

Біоенергетика – галузь енергетики, яка передбачає використання біомаси як палива [1]. Існує дві основні категорії методів перетворення біомаси в біопаливо [2]:

- термохімічне перетворення (газифікація, піроліз, спалювання, гідротермічне зрідження);
- біохімічне перетворення: анаеробне зброджування біомаси (з виробництвом біогазу); ферментація біомаси.

Побічними продуктами зазначених вище процесів є вуглекислий газ.

Під час газифікації біомаси, залежно від технології і способу дуття (повітряне, кисневе, парове, комбіноване) утворюється генераторний газ, що містить такі компоненти: CO, CO_2, H_2, N_2, CH_4). В повітряному генераторному газі може міститися до 15 % CO_2. У біогазі міститься до 40 % CO_2 [3]. Крім того, в процесі виробництва біоводню також утворюється CO_2. Повна екологічна чистота біоенергетики може бути забезпечена за допомогою технологій вловлювання і зберігання вуглекислого газу.

Мета роботи – огляд літературної інформації по використанню технологій вловлювання і зберігання вуглецю в біоенергетиці; оцінка викидів вуглекислого газу в технологіях виробництва палива з біомаси.

Основна частина

Для вловлювання CO_2, використовують технології вловлювання та зберігання вуглецю (за кордоном carbon capture and storage, CCS). Ці технології вважаються перспективними з точки зору позитивного впливу на зміну клімату. Це найрадикальніший і дорогий шлях боротьби з потеплінням клімату. Суть технології полягає в такому: діоксид вуглецю спочатку необхідно уловити і відокремити від точкового джерела за допомогою використання різних хімічних або механічних процесів. Бездомішковий потік CO_2 потім стискається до стану рідини високого тиску, для зручності транспортування, як правило, в трубопроводах. Потім CO_2 доставляється до відповідного місця зберігання, де він, вловлений і іммобілізований (позбавлений рухливості), вводиться на відстань, більше ніж кілометр нижче поверхні землі, у шари гірських порід [4].

Біоенергетика з використанням технології уловлювання та зберігання вуглецю (BECCS) або як ще називають Біо-CCS є біоенергетичною технологією пом'якшення впливу викидів парникових газів на зміну клімату, завдяки комбінуванню виробництва біопалива з біомаси, разом з уловлюванням і зберіганням вуглецю.

Огляд літературної інформації показав [5], що виходячи з проєктів, що наразі перебувають на ранніх та просунутих стадіях розгортання, уловлювання з біогенних джерел може досягти близько 60 млн тонн CO2 / рік до 2030 року, що значно менше, ніж потрібно для досягнення нульових викидів до 2050 року (NZE). Сьогодні в експлуатації знаходиться [6] 18 великих установок CCS, 6 перебувають на стадії будівництва та 20 на різних етапах розробки. Лише 5 об'єктів у всьому світі активно використовують технології BECCS. У сукупності ці об'єкти захоплюють приблизно 1,5 млн. т/рік CO_2. Найбільші установки розташовані в США.

В ЄС в Швеції ведеться будівництво установки BECCS Stockholm [7]. Ця установка вловлюватиме і зберігатиме CO_2 в обсязі 800 тис. тон /рік. Установка вловлюватиме CO_2 з димових газів, стискатиме та охолоджуватиме його до рідкого стану, після чого транспортуватиме для постійного зберігання глибоко під Північним морем. Введення в експлуатацію заплановано на 2028 рік.

Огляд літературної інформації показав, що вартість вловлювання CO_2 є досить значною. Зокрема в процесах спалювання біомаси, вартість вловлювання становить від 88 до 288 \$/т CO_2, в процесах виробництва етанолу 20…175 \$/т CO_2, в процесах газифікації біомаси 30…76 \$/т CO_2 [8]. Тобто наразі це досить дорога технологія і в Україні не використовується.

Біоенергетична асоціація України (БАУ) оцінює український потенціал виробництва біометану/біогазу у 21,8 млрд куб. м на рік [9]. Сьогодні в Україні побудовано 5 біометанових заводів, які здатні виробляти 20 млн. $м^3$ біометану на рік. В процесі збагачення біогазу, виділяється значна кількість вуглекислого газу. Таким чином, якщо прийняти, що в біогазі міститься приблизно 35 % CO_2, то у разі виробництва 21,8 млрд куб. м на рік біогазу і його подальшого очищення, обсяг викидів CO_2 може сягнути 7,63 млрд. $м^3$. Отже, в майбутньому для України впровадження CCS є перспективним.

На прикладі тваринницької ферми, що налічує 1500 голів худоби (650 дійних корів, 400 биків, 450 шт. молодняку) проведено розрахунок біогазової установки та визначено: кількість виробленого біогазу, кількість біогазу, необхідного для реалізації технологічного процесу, кількість товарного біогазу, проведено розрахунок матеріального балансу очищення біогазу до біометану. В розрахунках прийнято такий склад біогазу: CH_4=55%, CO_2=55%, H_2O=1%, N_2=1%. Склад біометану: CH_4=97%, CO_2=1,5%, N_2=1,5%. Ступінь вилучення води взято 100 %, азоту – 50 %, втрати метану в системі очищення 2%. Визначено масові частки компонентів біогазу та біометану, масову та об'ємну витрату компонентів біогазу, біометану, відхідних газів процесу очищення.

Отже, в середньому з біогазової установки можна отримати 33880…40939 $м^3$/місяць товарного біогазу, а після його збагачення 19217…23221 $м^3$/місяць біометану. При цьому в процесі очищення викидається 14000...17000 $м^3$/місяць вуглекислого газу.

Отже, повна екологічна чистота біоенергетики та теплової енергетики може бути забезпечена шляхом уловлювання та зберігання вуглекислого газу. BECCS енергетика є необхідною і перспективною з точки збереження навколишнього середовища та зменшення парникового ефекту [10].

ВИСНОВКИ

Біоенергетика відіграє важливу роль в енергетичному переході. Біоенергетика з уловлюванням та зберіганням вуглецю (BECCS) відіграє важливу роль у Сценарії NZE та компенсує викиди в секторах, де повної декарбонізації надзвичайно важко досягти. Проаналізовано літературну інформацію по стану BECCS енергетики. Виявлено, що в світі досить мало діючих установок по вловлюванню і зберіганню вуглецю. Крім того, вартість вловлювання CO_2 є досить значною. Зокрема в процесах спалювання біомаси, вартість вловлювання становить від 88 до 288 \$/т CO_2, в процесах виробництва етанолу 20…175 \$/т CO_2, в процесах газифікації біомаси 30…76 \$/т CO_2. Проведено оцінку викидів вуглекислого газу в технологіях виробництва палива з біомаси. Проведено дослідження кількості викидів вуглекислого газу в процесі збагачення біогазу. Показано, що для ферми, що налічує 1500 голів худоби, в процесі очищення біогазу до біометану, утворюється 14000...17000 $м^3$/місяць вуглекислого газу. З огляду на значний потенціал України по виробництву біогазу, в майбутньому впровадження CCS є перспективним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Біоенергетика в Україні. URL: https://uabio.org/bioenergy-in-ukraine/
2. Біоенергетичні технології. URL: http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-1/section-2/2-3/2-3-2
3. Біогаз. URL: https://biteco-energy.com/ua/info/biogas/

4. Bellona. Уловлювання та зберігання вуглецю: українські перспективи для промисловості та забезпечення енергетичної безпеки [Електронний ресурс] URL https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/UKRAINE_CCS_Energy_Security_Industry_Ukrainian.pdf
5. Bioenergy with Carbon Capture and Storage. URL: https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/bioenergy-with-carbon-capture-and-storage
Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS) WBA Factsheet URL: https://www.worldbioenergy.org/uploads/WBA_BECCS%20factsheet.pdf
6. Farooq Sher, Saman Hameed. Bioenergy with carbon capture and storage technology to achieve net zero emissions. Renewable and Sustainable Energy Reviews 210 (2025). URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032124009559
7. Stockholm world's first city to start capture and remove biogenic CO2 from the atmosphere. URL: https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/stockholm-worlds-first-city-to-start-capture-and-remove-biogenic-co2-from-the-atmosphere/
8. Bioenergy and Carbon Capture and Storage URL: https://jp.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/bioenergy-and-carbon-capture-and-storage/
9. Українська енергетика. URL: https://ua-energy.org/uk/posts/bioenerhetyky-otsiniuiut-potentsial-vyrobnytstva-biohazu-u-218-mlrd-kub-mrik.
10. Роль біоенергетики в енергетичному переході та вплив на глобальне використання біомаси. URL: https://saf.org.ua/news/2273/

Боднар Лілія Анатоліївна, к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики ВНТУ. e-mail: Bodnar06@ukr.net
Швець Максим Олексійович, студент групи ТЕ-22 б, maximgodness@gmail.com

Bodnar Lilia, Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Bodnar06@ukr.net.
Shvets Maksym, student, maximgodness@gmail.com

UDK 621.43

O. V. Vlasenko
I. O. Kovalchuk

ANALYSIS OF BIOGAS USE IN A KVGM-20 WATER HEATING BOILER

National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Abstract

An analysis of the environmental and thermal performance of the KVGM-20 water heating boiler when operating on biogas and natural gas has been carried out. The relevance of the work lies in the need to replace fossil fuels with renewable energy sources, in particular biogas.

Keywords: biogas, hot water boiler, natural gas, efficiency, heat balance, emissions, nitrogen oxides, heat of combustion.

Introduction

The depletion of traditional energy resources, the growth of the negative impact of the energy industry on the environment and, accordingly, increased environmental requirements, significant fluctuations in energy prices, the desire to strengthen energy and economic security, shortcomings in the supply of energy resources and other factors have led to an urgent need to review the current state of the energy sector and find opportunities for its renewal and reboot.

One of the most comprehensive and realistic ways to address these problems and adapt to climate change, which is already underway, is to implement a complete “energy transition” (energy transition) from fossil energy resources to renewable ones. This is indeed possible, since today's development of high-tech and science-intensive technologies has already opened up real prospects for renewable energy [1].

NO_x emissions of the KVGM-20 water heating boiler when switching from natural gas to biogas, based on data from environmental and heat engineering adjustment.

Research results

Biogas is a renewable energy source based on light hydrocarbons produced by anaerobic digestion of organic matter. The typical composition of biogas varies depending on the composition of the feedstock and the conditions in the anaerobic reactor [2].

The chemical composition of biogas obtained from biogas plants is represented by methane and carbon dioxide with a small content of hydrogen sulfide and ammonia. Biogas also contains traces of elements such as hydrogen, nitrogen, carbon monoxide. The gas mixture is saturated with water vapor, and dust particles may also be present. The specific heat of combustion (Q) is determined mainly by the CH_4 content, since small amounts of H_2 and H_2S have practically no effect on this indicator. Accordingly, the ignition temperature and ignition limit also depend on the CH_4 content [3].

In equivalent terms, 1000 m3 of natural gas is equal to 1500 m3 ^{of} biogas [4].

For the analysis, the summarized data of the ecological and thermal adjustment of the KVGM-20 boiler [5] were used. The calculation was carried out for two types of fuel: natural gas with a calorific value Q^n_p = 9111 kcal/m³ and biogas with Q^n_p = 5732 kcal/m³. The main comparative indicators of the boiler operation at a load of 80% are summarized in Table 1.

Table 1. Comparison of performance indicators of the KVGM-20 boiler on natural gas and biogas.

Indicator	Unit of measurement	Natural gas	Biogas
Lower calorific value (Q^n_p)	kcal/m³	9111	5732
Excess air coefficient (α)	-	1.04	1.5
Weighted average efficiency (reverse balance)	%	93.73	93.72
Specific NO_x emissions	g/ Gcal	237.0	210.0
Specific CO emissions	g/ Gcal	30.8	27.0

Data analysis shows that despite the significantly lower calorific value of biogas and the need to burn it with a higher excess air ratio, the boiler efficiency under reverse balance remains practically unchanged. This indicates the possibility of effective fuel replacement without significant heat losses in this mode.

From an environmental point of view, switching to biogas in this configuration shows a significant improvement. The specific NOx emissions for biogas are lower than for natural gas. A similar positive trend is observed for CO emissions.

Conclusions

Thus, the analysis showed that biogas can be used effectively (efficiency ~93.7%) in the KVGM-20 hot water boiler. This is achieved by operating with a significant excess of air (α=1.5). At the same time, an improvement in environmental indicators was established: specific emissions of nitrogen oxides and carbon monoxide per 1 Gcal of heat produced are lower than when burning natural gas.

LIST OF REFERENCES

1. Energy transition in Ukraine [Online]. Access mode: https://energytransition.in.ua/wp-content/uploads/2018/11/Perehid-Ukrainy-na-vidnovlyuvanu-energetuky-do-2050_zvit.pdf
2. Simulation of biogas co-combustion in CFB boiler : Combustion analysis using the CPFD method [Online]. Access mode: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X24006415
3. Methods for increasing the energy and environmental efficiency of an industrial biogas boiler [Online]. Access mode: Electronic resource: https :// events . pstu . edu / konkurs - energy / wp - content / uploads / sites /2/2018/03/1-% D 0%91% D 1%96% D 0% BE % D 0% B 3% D 0% B 0% D 0% B 7. pdf
4. Methods for increasing the energy and environmental efficiency of an industrial biogas boiler [Electronic resource]. URL: https://events.pstu.edu/konkurs-energy/wp-content/uploads/sites/2/2018/03/1-%D0%91%D1%96%D0%BE%D0%B3%D0%B0%D0%B7.pdf
5. Calculation theoretical warehouse products burning and temperatures combustion organic fuels: Methodical instructions to implementation calculated works with courses "Combustion of fuel and equipment for its combustion". Compiled by: O.A. Siry,L.S. Butovsky , O.O. Granovskaja – K.: "KPI named after" Igor Sikorsky", 2017.- 39 p.

Vlasenko Olha V. **–** Doctor of Philosophy, Assistant Professor of the Department of Thermal and Alternative Energy, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, e-mail: olgakytsak7@gmail.com

Kovalchuk Iryna O. **–** student of the Department of Thermal and Alternative Energy, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, e-mail: irarakuta@ukr.net

Supervisor: ***Vlasenko Olha V.*** **–** Doctor of Philosophy, Assistant Professor of the Department of Thermal and Alternative Energy, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, e-mail: olgakytsak7@gmail.com

УДК 621.18-5

Боднар Л. А.
Гусар С. В.

ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЖИМНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ ПО ЗМЕНШЕННЮ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проаналізовано ефективність режимно-технологічних заходів по скороченню викидів оксидів азоту. Проаналізовано ефективність таких заходів: застосування малотоксичних пальників; ступенева подача повітря в топку; рециркуляція димових газів; застосування малотоксичних пальників і ступеневої подачі повітря; застосування малотоксичних пальників та рециркуляції димових газів; застосування малотоксичних пальників разом з ступеневою подачею повітря і рециркуляцією димових газів; використання трьохступеневої подачі повітря та палива.

Ключові слова: оксиди азоту; рециркуляція димових газів; низькоемісійні пальники; ступенева подача повітря.

Abstract

The paper analyzes the effectiveness of regulatory and technological measures to reduce nitrogen oxide emissions. The effectiveness of the following measures is analyzed: the use of low-toxic burners; staged air supply to the furnace; flue gas recirculation; the use of low-toxic burners and staged air supply; the use of low-toxic burners and flue gas recirculation; the use of low-toxic burners together with staged air supply and flue gas recirculation; the use of three-stage air and fuel supply.

Keywords: nitrogen oxides; flue gas recirculation; low-emission burners; staged air supply; air and fuel supply.

Вступ

Зниження викидів шкідливих речовин від енергетичних установок є однією з актуальних задач сьогодення. Оксиди азоту найбільше утворюються у високотемпературній зоні газового факела, тому стримування їх емісії пов'язано з інтенсивним охолодженням зони горіння чи зменшенням температури в ній за рахунок рециркуляції баластових мас (димових газів) [1]. Для забезпечення умов стримування утворення оксидів азоту розроблено ряд заходів. Первинні (режимно-технологічні) заходи спрямовано на зменшення утворення оксидів азоту в топці або камері згоряння енергетичної установки. До цих заходів належать: використання малотоксичних пальників, ступенева подача повітря та палива, рециркуляція димових газів, поєднання за значених способів, тощо [2-6]. Зазначені методи мають різну ефективність, але дозволяють зменшити викиди оксидів азоту.

Мета роботи – дослідження ефективності режимно-технологічних заходів по скороченню викидів оксидів азоту.

Основна частина

Для складання державної та галузевої звітності, а також для прогнозного оцінювання обсягів викидів забруднювальних речовин, в Україні використовується галузевий керівний документ [6].

Для розрахунку показника емісії оксидів азоту k_{NOx}, г/ГДж, з урахуванням заходів скорочення викиду використовується формула [6]

$$k_{NOx} = (k_{NOx})_0 \, f_н (1-\eta_I)(1-\eta_{II}\beta), \qquad (1)$$

де $(k_{NOx})_0$ – показник емісії оксидів азоту без урахування заходів скорочення викиду, г/ГДж;

$f_н$ – ступінь зменшення викиду NO_x під час роботи на низькому навантаженні;

η_I – ефективність первинних (режимно-технологічних) заходів скорочення викиду;

η_{II} – ефективність вторинних заходів (азотоочисної установки);

В – коефіцієнт роботи азотоочисної установки.

Слід зазначити, що в Україні навіть на великих енергетичних об'єктах азотоочисні установки не використовуються (селективне каталітичне відновлення СКВ, селективне некаталітичне відновлення СНКВ).

Орієнтовні значення ефективності первинних заходів зменшення викиду оксидів азоту наведено в таблиці Д.7 [6]. Значення ефективності застосування первинних заходів η_l, окремих та їх комбінацій, визначаються за результатами випробувань енергетичної установки після їх впровадження і затверджуються відповідними актами.

Для енергетичної установки, що за звітний період спожила 100 тис. м^3 природного газу (газопровід Уренгой-Ужгород) проаналізовано вплив режимно-технологічних заходів по зменшенню викидів оксидів азоту.

На рисунку 1 наведено отримані результати.

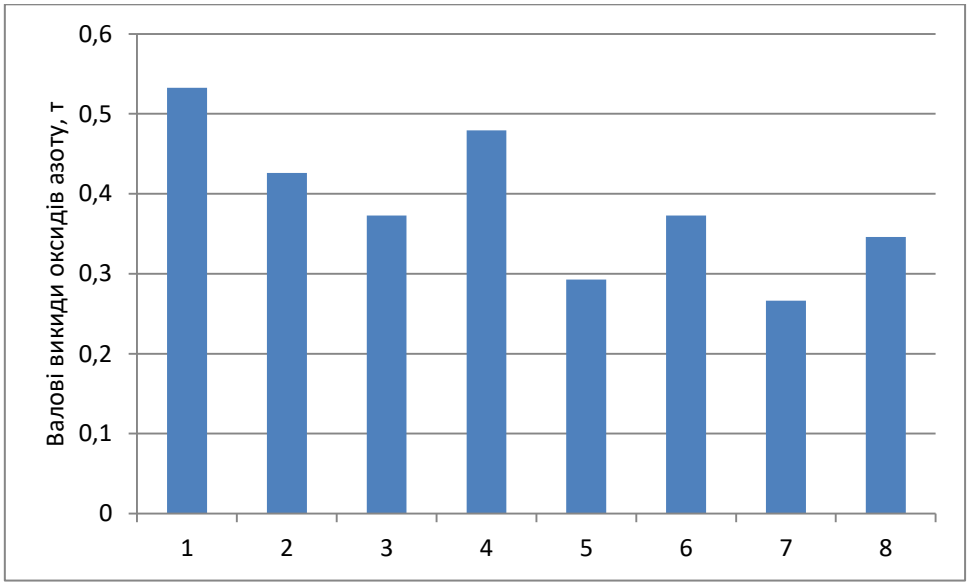


Рисунок 1 – Валові викиди оксидів азоту. 1 – викиди оксидів азоту без заходів по скороченню; 2 – застосування малотоксичних пальників, η_1=0,2; 3 – ступенева подача повітря η_1=0,3; 4 – рециркуляція димових газів η_1=0,1; 5 – малотоксичні пальники+ступенева подача повітря η_1=0,45; 6 – малотоксичні пальники+рециркуляція димових газів η_1=0,3; 7 – малотоксичні пальники+ступенева подача повітря+рециркуляція димових газів η_1=0,5; 8 – трьохступенева подача повітря та палива η_1=0,35.

Отримані дані свідчать про ефективність режимно-технологічних заходів по скороченню викидів оксидів азоту. Залежно від заходу по скороченню викидів оксидів азоту, зменшення викидів становить 10…50 %. Найменше зменшення викидів, згідно методики, дає рециркуляція продуктів згорання (на 53 кг порівняно з базовим варіантом). В методиці [6], коефіцієнт, що враховує ефективність методу становить η_1=0,1. Тут слід зазначити, що є різні способи організації рециркуляції димових газів. Зменшення викидів залежить від способу організації рециркуляції. Один із способів полягає в тому, що димові гази з температурою 300 – 400 °С відбираються перед повітропідігрівником і спеціальним рециркуляційним насосом подаються в топку, при цьому температура факела знижується на 120 – 130 °С. Для водогрійних котлів без хвостових поверхонь нагріву димові гази забирають з димоходу і подають до спеціального пальника. Найбільше поширення отримало введення димових газів рециркуляції в суміші з дуттьовим повітрям [7]. Подача рециркуляційних газів з паливом більш ефективно знижує вихід оксидів азоту, ніж підмішування їх у дуттьове повітря. При однаковій мірі рециркуляції, наприклад при спалюванні газу, в першому випадку вихід NO*x* знижується на 45,4%, а у другому – на 22,7% [7]. В роботі [3] зазначено, що підмішування газів рециркуляції в повітря перед пальником у кількості 20…25% вдається знизити вміст оксидів азоту на 40…50%.

Згідно ГКД 34.02.305–2002, найбільш ефективно комбінувати методи, зокрема використання малотоксичних пальників в поєднанні з ступеневою подачею повітря зменшує викиди на 45 %, а застосування малотоксичних пальників в поєднанні зі ступеневою подачею повітря і рециркуляцією димових газів зменшує викиди на 50 %.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано літературну інформацію по методах зменшення викидів оксидів азоту. В роботі досліджено ефективність режимно-технологічних заходів по скороченню викидів оксидів азоту. Проаналізовано ефективність таких заходів: застосування малотоксичних пальників; ступенева подача повітря в топку; рециркуляція димових газів; застосування малотоксичних пальників і ступеневої подачі повітря; застосування малотоксичних пальників та рециркуляції димових газів; застосування малотоксичних пальників разом з ступеневою подачею повітря і рециркуляцією димових газів; використання трьохступеневої подачі повітря та палива. Отримані в роботі результати свідчать про ефективність режимно-технологічних заходів по скороченню викидів оксидів азоту. Залежно від заходу по скороченню викидів оксидів азоту, зменшення викидів становить 10…50 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С. Й., Боднар Л. А. Екологічні аспекти виробництва енергії. Вінниця: ВНТУ, 2017. 83 с.
2. Сігал О. І., Бикоріз Є. Й., Плашихін С.В. Застосування пальників з низькою емісією оксидів азоту при спалюванні природного газу та рідкого палива. Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики. Збірник праць. Під редакцією О.І. Сігала. Київ. ІВЦАЛКОН. 2022. С. 111-115.
3. Єфімов О. В., Тютюник Л. І., Касілов В. Й., Іванова Л.А. Захист навколишнього середовища від шкідливих викидів оксидів азоту при роботі котлів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнологічні процеси й устаткування*. , . 2018 р. №11. С. 36– 39.
4. Natural gas boiler flue gas recirculation to reduce NOx emissions. URL: https://www.cibsejournal.com/cpd/modules/2016-12-nox/
5. Тесленко О. І. Техніко-економічні показники технологій зменшення викидів оксидів азоту від потужних опалювальних котлів. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. Вип. 3. С. 30-36. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE_2019_3_7.
6. ГКД 34.02.305–2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. 40 с.
7. Енергетика. Історія, сучасність, майбутнє. URL: http://energetika.in.ua/ua/books/book-1/part-2/section-8/97-entsiklopediya/elektroenergetika-ta-okhorona-navkolishnogo-seredovishcha-funktsionuvannya-energetiki-u-suchasnomu-sviti/chastina-3-elektroenergetika-ta-okhorona-navkolishnogo-seredovishcha/rozdil-2-vpliv-teploenergetiki-na-navkolishne-seredovishche/271-2-3-metodi-znizhennya-vikidiv-toksichnikh-rechovin-v-atmosferu

Боднар Лілія Анатоліївна, к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики ВНТУ. e-mail: Bodnar06@ukr.net
Гусар Сергій Васильович, студент гр. ТЕ-22 б, ФБЦЕІ, gysarsergeite22b@gmail.com

Bodnar Lilia, Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Bodnar06@ukr.net.
Husar Serhii , student, gysarsergeite22b@gmail.com

УДК 604.4:662.6:579; 628.474.33

М. О. Паламарчук
О. В. Березюк

ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ БІОМАСИ НА ВИТРАТИ ПАЛИВА ІЗ УТИЛІЗАЦІЄЮ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ПРИ ЇЇ СПАЛЮВАННІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У даній роботі наведено дані щодо впливу вологості біомаси на витрати палива із утилізацією відхідних газів при її спалюванні.

Ключові слова: біомаса, спалювання, утилізація відхідних газів, енергоефективність, вологість, регресійний аналіз.

Abstract

This paper presents data on the impact of biomass moisture on fuel consumption with the utilization of exhaust gases during its combustion.

Keywords: biomass, combustion, waste gas utilization, energy efficiency, humidity, regression analysis.

Вступ

Одним з альтернативних енергетичних ресурсів, використання якого може суттєво допомогти у вирішенні проблеми нестачі первинних енергоносіїв в Україні є біомаса [1]. Донедавна значна частина стеблових рослинних відходів аграрного виробництва, лісопильної та деревообробної промисловості з багатьох причин не знаходила подальшого технологічного застосування [2]. Однак в умовах постійного зростання цін на енергоресурси та підвищеного попиту на екологічно чисті відновлювані джерела енергії, проведення утилізації біомаси шляхом виготовлення з них різних видів твердого палива надає можливість економити на традиційних енергоресурсах, що є загальною тенденцією переходу промисловості до використання альтернативних, відновлюваних джерел енергії, підвищення енергоефективності виробництва в цілому [3]. У багатьох країнах біомасу використовують для отримання енергії, оскільки теплова віддача палива, яке отримане з таких відходів рослинного походження, цілком відповідає традиційному паливу. Одна тонна вугілля може бути замінена 4,2 м^3 біомаси.

Основний текст

Базові положення закону України "Про альтернативні джерела енергії" [4] визначають правові, економічні, екологічні та організаційні засади використання альтернативних джерел енергії та сприяння розширенню їх використання у паливно-енергетичному комплексі, зокрема зазначають, що енергія біомаси є одним із різновидів альтернативних джерела енергії. В Україні потенціал біомаси дозволяє щорічно одержувати при їхньому використанні енергетичний ефект, еквівалентний спалюванню більше ніж 1,5 млн. тонн вугілля. Проте використання деяких матеріалів у якості джерела енергії неможливе у їхньому первинному стані. Тому ці матеріали потрібно переробити шляхом зневоднення щоб вони були придатні до використання у якості палива за умови очищення газів з використанням сучасних технологій для запобігання забрудненню повітряного середовища шкідливими речовинами та мінімізації ризиків для здоров'я населення [5-9]. Висока вологість біомаси може призвести до зайвих енергозатрат під час їхнього спалювання у котельнях [2].

У Данії та Нідерландах поширеність спалювання відходів складає 54,3% і 36,6%, відповідно [10]. Лише протягом 1995-2014 рр. поширеність спалювання твердих побутових відходів (ТПВ) у ЄС збільшилася майже удвічі, зростаючи найбільш інтенсивно серед інших методів поводження за гіперболічною залежністю [11].

Згідно даних публікації [12] нижча теплота згорання ТПВ становить 6,285...8,38 МДж/кг, а за умови зменшення вологості ТПВ з 43 % до 20 % нижча теплота згорання ТПВ становить 9,14 МДж/кг. Розглянуто можливість утилізації ТПВ на наявних комунальних ТЕЦ з генеруючою

потужністю 12 МВт, що можуть працювати на енергетичному паливі (суміші ТПВ, зневоднених до 20 % відносної вологості та кам'яного вугілля з масовою часткою 16 %) із розрахунковою нижчою теплотою згорання 10,99 МДж/кг.

В науковій роботі [13] визначено, що вміст вологи і тиск ущільнення горючих компонентів ТПВ і були двома ключовими параметрами для отримання якісних паливних брикетів, які мають теплотворну здатність не менше 20 МДж/кг, еквівалентну теплотворній здатності бурого вугілля, і можуть бути спалені разом із вугіллям на електростанціях. Дослідження проводились при кімнатній температурі без використання в'яжучого при тиску 69...138 МПа і відносній вологості ТПВ 6...20 %, і дозволили встановити, що вміст вологи не повинен перевищувати 15 % для отримання високоякісних брикетів з суміші паперу та інших горючих матеріалів у ТПВ.

Дослідження [14] довело неможливість самостійного горіння ТПВ при вологості, з якою вони потрапляють зі сміттєвозів до сміттєспалювального заводу, що вказує на необхідність їхнього зневоднення перед спалюванням, а також виявлено, що зменшення відносної вологості ТПВ на 25...40% призводить до збільшення їхньої питомої теплоти згоряння в 1,6...2,2 рази. В статті [15] за допомогою запропонованого вологоміра [16] проведено дослідження процесів зневоднення ТПВ шнековим пресом за допомогою планування експерименту другого порядку, яке дало змогу визначити адекватні квадратичні регресійні моделі показників зневоднення від основних параметрів впливу. Регресійні залежності, що описують динаміку поширеності методів (з отриманням енергії та без отримання енергії) спалювання ТПВ в Україні отримано в роботі [17].

Зменшення відносної вологості цукрової тростини з 42% до 10% під час спалювання в печі з нерухомим шаром дозволяє скоротити тривалість спалювання в 3,4...6 разів [18].

У матеріалах статті [19] запропоновано установку для брикетування відходів деревообробної промисловості, що дозволяє підвищити їхню питому теплоємність при використанні як твердого палива.

Результати проведеного дослідження [20] показали, що перспективним методом утилізації деревних відходів є їхнє пресування у паливні брикети із використанням як зв'язуючої речовини натурального походження сульфатного мила – відходу який утворюється в процесі виварювання лізину із деревної маси в целюлозно-паперовому виробництві. Це дозволяє мінімізувати екологічну небезпеку від забруднення довкілля деревними відходами та відходами целюлозно-паперового виробництва, а також отримати якісне біопаливо. Використання зв'язуючої речовини дозволило знизити потужність двигуна на 40 %, а також збільшити густину отриманих паливних брикетів на 10 %.

У матеріалах статті [1] розглянуто технологічні режими виготовлення паливного брикету з ряду техногенних відходів, які за своїм агрегатним фізичним станом непридатні для безпосереднього використання в технологічних процесах і апаратах. Застосування розглянутої технології на практиці здатне повернути відходи промисловості у вигляді паливних брикетів. Такі брикети можна використовувати для всіх видів топок, в котлах будь-якої потужності – від опалення приватних будинків до великої ТЕЦ. Відзначено, що включення в енергообіг альтернативних джерел енергії може стати вагомим внеском у розв'язання проблеми дефіциту первинних енергоносіїв, поліпшивши при цьому екологічну обстановку країни.

В роботі [21] обґрунтовано, що використання вживаної деревини (ВЖД) є альтернативним додатковим ресурсом сировини за умови утилізації та перероблення її на вироби з деревини: заготовки криволінійної форми, меблевий щит, столярну та стружкову плиту, а також паливні гранули та паливні брикети. Розроблено методику розрахунку потенціалу ВЖД та його балансу за категоріями. Розраховано потенціал деревної біомаси – відходів деревини та ВЖД в Україні, який склав у 2012 р. 6,438 млн. т, зокрема ВЖД – 2,0 млн. т. На основі кластерного аналізу здійснено моніторинг ВЖД за обласними центрами України. Визначено основні фізико-механічні властивості отриманої продукції за розробленими технологіями. На основі одержаних математичних моделей встановлено закономірності впливу використання ВЖД на фізико-механічні показники одержаної продукції. Запропоновано режимні параметри для впровадження отриманих результатів досліджень у виробництво.

У матеріалах статті [22] наведені результати дослідження процесу пресування біомаси з метою отримання паливних гранул, брикетів, зокрема визначено вплив тиску і температури пресування на щільність отримуваного продукту. Результати проведених досліджень показали, що підвищення температури пресування вище 90-100 °С і тиску вище 120-140 МПа є недоцільним, оскільки мало

впливає на збільшення щільності біопалива та призводить до збільшення енерговитрат на його виготовлення. Отримані результати можуть використовуватися для визначення оптимальних конструкційно-технологічних параметрів процесу пресування дисперсних матеріалів для формування паливних брикетів.

Авторами монографії [23] узагальнено результати розробки та систематизації технологічних основ виготовлення твердого біопалива з рослинних відходів та композитів на їх основі. Наведено методику оцінки пружних коефіцієнтів двохкомпонентного композитного біопалива на основі рослинних відходів. Визначено вплив конструктивних параметрів філь'єри матриці на якісні показники виготовленого біопалива та енергетичні характеристики пресового обладнання. Запропоновано та експериментально досліджено технологічні рішення виготовлення пелет поліпшеної якості з опалого листя, композитного палива на основі рослинних відходів і бурого вугілля, рослинних відходів і побутових відходів ПЕТФ.

У матеріалах статті [24] отримано регресійні залежності тиску пресування відходів деревини у паливні брикети від коефіцієнта ущільнення як у вигляді поліномів шостого порядку, так і за допомогою степеневої функції. При цьому встановлено, що степенева функція забезпечує кращу достовірність апроксимації з меншою кількістю коефіцієнтів регресії. Визначено умови утворення паливних брикетів достатньої міцності для транспортування та спалювання в енергетичних установках. Досліджено вплив щільності матеріалу тирси на тиск пресування.

За результатами дослідження, проведеними в роботі [25], на щільність паливних брикетів впливає в основному тиск пресування, що створюється в робочій камері преса чи формувальній головці, повинен створити зусилля рівне або більше зусиллю виштовхування брикету із формувальної головки. Останнє в основному залежить від форми та довжини робочого каналу, сил тертя, що визначаються зусиллями бокового тиску брикетів на стінки робочих каналів пресу. Із зміною осьового тиску в камері пресування буде змінюватися і боковий тиск, на величину та динаміку зміни якого значний вплив мають фізико-механічні властивості матеріалу.

В науковій роботі [26] виконано моделювання теплоти, утилізованої з димових газів в циклоні типу ЦН-15-900 після парогенератора на біомасі у CFD-пакеті SolidWorks Flow Simulation. Отримано залежність теплового потоку у вбудованому теплообміннику-утилізаторі від швидкості та температури димових газів на вході у циклон.

В табл. 1 показані значення витрат палива для різної вологості палива – біомаси на прикладі дерев’яної тріски як без утилізації відхідних газів (без використання економайзера), так і з утилізацією відхідних газів (з використанням економайзера) для котельні з номінальною потужністю 5 МВт [27].

Таблиця 1. – Значення витрат палива для різної вологості палива – біомаси на прикладі дерев’яної тріски [27]

Вологість палива, %	Витрата палива без утилізації відхідних газів, кг/год	Витрата палива з утилізацією відхідних газів, кг/год
10	1177,6	1106,9
15	1271,9	1177,7
20	1380,3	1258,8
25	1506,2	1352,6
30	1654,3	1455,7
35	1830,6	1574,3
40	2053,6	1725,0
45	2329,4	1886,8
50	2678,9	2089,6
55	3135,6	2351,7
60	3756,3	2704,6
65	4647,7	3206,9

Використовуючи дані табл. 1 методом найменших квадратів [28] за допомогою розробленої комп’ютерної програми "RegAnaliz", що захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір [29], і детально описана в роботі [30, 31], можна отримати парні регресійні залежності, які описують вплив вологості біомаси на витрати палива із утилізацією відхідних газів при її спалюванні, що вимагає проведення подальших досліджень.

Висновки

Наведено дані щодо впливу вологості біомаси на витрати палива із утилізацією відхідних газів при її спалюванні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Корчевський О. М., Сурженко А. М., Садовой М. І. Визначення раціональних параметрів для отримання багатокомпонентних брикетів. Вісті Донецького гірничого інституту. 2014. № 2(35). С. 9-15.
2. Кузенко Д. В., Левко С. І. Методика та результати експериментальних досліджень коефіцієнта бокового тиску рослинних матеріалів. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2014. № 4, Т. 2. С. 174-182.
3. Vlasov J., Bogatova E., Iliushenko D., Khitro E. Study of briquetting of woodworking waste with industrial press equipment. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM. 2019. No. 19(3.2). P. 829-834.
4. Верховна Рада України. Закон України № 555-IV "Про альтернативні джерела енергії" 20 лютого 2003. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text (дата звернення: 23.10.2024).
5. Rusnak I. et al. Conceptual options for the development and improvement of medical science and psychology. International Science Group, 2023. 117 p.
6. Березюк О. В., Горбатюк С. М., Гудзевич Л. С., Шевчук Т. І., Паламарчук М. О. Вплив на показники загальної захворюваності дорослого населення м. Київ викидів забруднювальних речовин у атмосферу. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2025. № 2. С. 182-188. https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-2-182-188
7. Піскун Р. П., Горбатюк С. М. Ультраструктура кори головного мозку при експериментальній дисліпопротеїдемії та її фармакокорекції. Biomedical and biosocial anthropology. 2007. № 9. С. 274-275.
8. Khrebtii H. et al. Innovative ways of improving medicine, psychology and biology. Primedia eLaunch, 2023. 305 p.
9. Чорна В. В., Хлєстова С. С., Гуменюк Н. І. Показники захворюваності і поширеності та сучасні погляди на профілактику хвороб. Вісник Вінницького національного медичного університету. 2020. Т. 24, №1. С. 158-164.
10. Орлова Т. А. Екологічна оцінка земельних ділянок, зайнятих об'єктами поводження з відходами. Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. 2006. Вип. 25. С. 167-181.
11. Березюк О. В., Краєвський В. О., Березюк Л. Л. Динаміка поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами в ЄС. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2020. № 1. С. 104-109.
12. Рижий В. К., Римар Т. І., Тимофєєв І. Л. Утилізація твердих побутових відходів на наявних комунальних ТЕЦ. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2011. № 712 : Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. С. 17-22.
13. Li Y., Liu H., Zhang O. High-pressure compaction of municipal solid waste to form densified fuel. Fuel Processing Technology. 2001. Vol. 74, No. 2. P. 81-91. https://doi.org/10.1016/S0378-3820(01)00218-1
14. Сігал О. І., Крикун С. С., Павлюк Н. Ю. та ін. Дослідження кількості теплоти, що виділяється при спалюванні змішаних твердих побутових відходів м. Києва. Промислова теплотехніка. 2017. Т. 39, № 3. С. 78-84.
15. Березюк О. В. Експериментальне дослідження процесів зневоднення твердих побутових відходів шнековим пресом. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2018. № 5. С. 18-24. https://doi.org/10.31649/1997-9266-2018-140-5-18-24
16. Bereziuk O. V., Lemeshev M. S., Bohachuk V. V., Duk M. Means for measuring relative humidity of municipal solid wastes based on the microcontroller Arduino UNO R3, Proc. SPIE, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2018. 2018. Vol. 10808. Art. no. 108083G. https://doi.org/10.1117/12.2501557
17. Березюк О. В., Лемешев М. С. Динаміка поширеності методів спалювання твердих побутових відходів в Україні. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2022. № 1. С. 6-10. https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-160-1-6-10
18. Sánchez C. Z., Gauthier-Maradei P., Escalante H. H. Effect of particle size and humidity on sugarcane bagasse combustion in a fixed bed furnace. Revista ION. 2013. Vol. 26, No. 2. P. 73-85.
19. Березюк О. В. Установка із вібраційним гідроприводом для брикетування відходів деревообробної промисловості. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2007. № 4. С. 149-152.
20. Мальований М. С. та ін. Використання звязуючого натурального походження для удосконалення технології створення паливних брикетів із деревних відходів. Водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг : колективна монографія. Київ: Ярошенко Я. В., 2023. С. 91-105.
21. Гайда С. В. Технології та рекомендації до використання вживаної деревини в деревообробленні. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. 2013. Вип. 39.1. С. 48-67.
22. Костюнін М., Карманов В., Михайлик В. Дослідження процесу пресування дисперсних матеріалів з метою отримання паливних гранул, брикетів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2013. № 17(2). С. 341-345.
23. Клименко В. В. та ін. Технологічні основи виготовлення біопалива з рослинних відходів та їх композитів : монографія. Кропивницький : ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. 162 с.
24. Савуляк В. І., Березюк О. В., Пурдик В. П., Білошицький С. П. Експериментальне визначення необхідних умов і параметрів процесу та приводу пресування паливних брикетів з відходів деревини. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2010. № 5. С. 96-99.
25. Левко С. І. Огляд теорій процесу пресування. Вісник Львів. НАУ «Агроінженерні дослідження». 2010. №15. С. 458-467.
26. Степанова Н. Д., Глеба Я. О., Паламарчук М. О. Утилізація теплоти димових газів після парогенератора на біомасі. Інноваційні технології в будівництві-2024 : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, 20-22 листопада 2024, м. Вінниця. Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2024/paper/view/22679/18720
27. Мельник В. А., Білевич А. О., Бойко В. О. та ін. Досвід реалізації інтенсифікації теплообміну в підігрівниках цукрових заводів. Цукор України. 2015. № 3(111). С. 11-14.
28. Михалевич В. М., Шевчук О. І., Буга Н. Л. Математичні системи комп'ютерної алгебри як засіб підвищення ефективності і якості освітнього процесу з вищої математики. Сучасні інформаційні технології та іноваційні методики

навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми : зб. наук. прац. Випуск 14. Київ-Вінниця : ДОВ «Вінниця», 2007. С. 357-360.

29. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz"). Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49486. Київ : Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації: 03.06.2013.

30. Березюк О. В. Встановлення регресій параметрів захоронення відходів та потреби в ущільнювальних машинах на основі комп'ютерної програми "RegAnaliz". Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2014. № 1. С. 40-45.

31. Bereziuk O. V. Determination of the regression of the solid waste compaction factor on the height of the polygon on the base of the computer program "RegAnaliz". Automation of technologies and productions. 2015. No. 2 (8). P. 43-45.

Рекомендована кафедрою безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки ВНТУ

Паламарчук Микола Олександрович – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: padamarcukn@gmail.com

Березюк Олег Володимирович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: berezyukoleg@i.ua

Palamarchuk Mykola O. – postgraduate student of the Department of Heat and Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: padamarcukn@gmail.com

Bereziuk Oleg V. – Doct. Sc. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Life Safety and Safety Pedagogy, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: berezyukoleg@i.ua

ДК 620.9

Н. В. Резидент, к.т.н., доц., ВНТУ
Д. К. Лейміч, студент

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНІ В МІСТІ ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезах розглянута проблема підвищення економічної, енергетичної та екологічної ефективності двопаливної водогрійної котельні шляхом встановлення контактного теплоутилізатора з активною насадкою. Розроблено математичну модель для визначення інтенсивності тепломасообміну в контактному теплоутилізаторі з активною насадкою та можливості конденсації водяної пари в димовій трубі, проведені числові дослідження тепломасообміну в апараті при зміні режимних параметрів. Підтверджено ефективність впровадження конденсаційного обладнання для покращення енергетичних, економічних та екологічних показників роботи опалювальної котельні

Ключові слова: енергоефективнсть, водогрійна котельня, біомаса, контактний теплоутилізатор з активною насадкою, автоматизація водогрійного котла

Abstact

The abstracts consider the problem of increasing the economic, energy and environmental efficiency of a dual-fuel hot water boiler room by installing a contact heat exchanger with an active nozzle.

A mathematical model has been developed to determine the intensity of heat and mass transfer in a contact heat exchanger with an active nozzle and the possibility of water vapor condensation in the flue pipe, and numerical studies of heat and mass transfer in the apparatus when changing operating parameters have been conducted.

The effectiveness of the introduction of condensing equipment to improve the energy, economic and environmental performance of the heating boiler room has been confirmed

Keywords: energy efficiency, hot water boiler, biomass, contact heat recovery unit with active nozzle, hot water boiler automation

Вступ. Постановка задачі

Підвищення ефективності роботи водогрійних котелень є одним із ключових напрямів забезпечення енергетичної та економічної стійкості теплогенерувальних систем, особливо в умовах зростання вартості енергоресурсів та необхідності зниження техногенного навантаження на довкілля. Традиційні котельні, що експлуатуються на підприємствах і в комунальній енергетиці, характеризуються значними втратами теплоти з відхідними газами, недосконалістю систем регулювання горіння та недостатнім рівнем утилізації вторинних енергоресурсів. Це обумовлює потребу у впровадженні інноваційних теплоенергетичних рішень, спрямованих на оптимізацію теплотехнічних процесів і мінімізацію питомих витрат палива [1, 2].

З огляду на зазначене, важливою науково-практичною задачею є розроблення та обґрунтування заходів, що забезпечують підвищення ефективності котельні шляхом удосконалення тепломасообмінних процесів, збільшення ступеня утилізації теплоти димових газів, покращення режимів роботи пальникових пристроїв і вдосконалення загальної структури теплоенергетичної установки. Особливу увагу необхідно приділити застосуванню контактних теплоутилізаторів, конденсаційних економайзерів, активних насадок та інженерних рішень, здатних підвищити інтенсивність теплопередачі та забезпечити глибоке охолодження продуктів згоряння.

Основним завданням дослідження є встановлення закономірностей зміни енергетичної ефективності котельні при впровадженні сучасних систем утилізації тепла та визначення оптимальних параметрів їх роботи [3, 4].

Таким чином, мета роботи полягає в комплексному дослідженні можливостей підвищення ефективності котельні шляхом впровадження технологічних рішень, орієнтованих на інтенсифікацію

теплоутилізації та раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів, що забезпечить зниження експлуатаційних витрат, покращення екологічних характеристик та підвищення загальної надійності теплоенергетичної системи.

Результати досліджень

Інтенсифікація теплоутилізації впроваджується на двопаливній котельні в місті Хмельницький. Теплова потужність котельні 9,9 МВт забезпечується газовим та твердопаливними котлами. Пропонується застосувати контактний економайзер з активною насадкою КТАН-2,3УГдля використання теплоти відхідних газів з котлів КЗОТ BRS. Середня температура відхідних димових газів за котлами становить близько 230°С, що свідчить про наявність значного потенціалу вторинного тепла.

Основні аналітичні співвідношення та формули, що становлять основу моделі, наведено у працях [3 - 7]. На основі розробленого математичного опису та з врахуванням допущень і спрощень проведені дослідження впливу ключових режимних параметрів роботи водогрійного котла на показники функціонування контактного теплоутилізатора з активною насадкою для утилізації теплоти відхідних газів. В даному дослідженні представлені результати експериментів по визначенню впливу температури відхідних газів з котла та коефіцієнт надлишку повітря у відхідних газах котла КЗОТ BRS на основні теплотехнічні показники контактного теплоутилізатора з активною насадкою.

На основі узагальнення отриманих експериментальних та розрахункових даних встановлено, що зміна коефіцієнта надлишкового повітря в діапазоні 1,45…1,85 призводить до зростання теплової потужності контактного теплоутилізатора до 2700…3650 кВт. Отримані значення свідчать про здатність теплоутилізатора забезпечувати суттєвий додатковий тепловий потік, що створює можливість часткового розвантаження котлоагрегатів або збільшення корисного відпуску теплоти водогрійною котельнею. У результаті підвищується загальний коефіцієнт використання палива, що, у свою чергу, зумовлює зменшення питомої витрати палива та зниження техногенного впливу на навколишнє середовище.

Додатково досліджено вплив температурних параметрів газового потоку та величини надлишкового повітря на коефіцієнт теплопередачі контактного теплообмінника. Встановлено, що величина коефіцієнта теплопередачі перебуває в межах 320…400 Вт/(м²·К). Такі порівняно високі значення для газоводяного теплообмінника, незважаючи на низькі швидкості руху газів, пояснюються особливостями складного тепломасообміну, що реалізується в апараті. Зокрема, окрім конвективної складової теплообміну, суттєву роль відіграє інтенсивний процес конденсації водяної пари на охолоджених поверхнях із формуванням і стеканням тонкої плівки рідини, що додатково підвищує ефективність теплопередачі.

Отримані результати підтверджують енергетичну, економічну та екологічну доцільність упровадження конденсаційних контактних економайзерів з активною насадкою у водогрійних котельнях, що працюють на біомасі. Застосування таких апаратів забезпечує суттєве підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та зменшення негативного впливу котельних установок на довкілля.

Висновки

Проведений аналіз підтвердив актуальність проблеми підвищення ефективності водогрійних котелень у зв’язку з необхідністю зниження паливних витрат та техногенного навантаження на довкілля. Існуючі котельні характеризуються значними втратами теплоти з димовими газами, що обґрунтовує необхідність упровадження сучасних систем утилізації тепла.

Визначено, що впровадження інноваційних теплоутилізаційних технологій, зокрема контактних економайзерів з активною насадкою, є перспективним напрямом підвищення енергетичної ефективності котелень. Такі системи забезпечують інтенсифікацію тепломасообмінних процесів та дозволяють глибше охолоджувати продукти згоряння.

На основі математичного моделювання та експериментальних досліджень встановлено закономірності впливу ключових режимних параметрів роботи котла (температури відхідних газів і коефіцієнта надлишкового повітря) на ефективність контактного теплоутилізатора.

Встановлено, що збільшення коефіцієнта надлишкового повітря в межах 1,45…1,85 сприяє підвищенню теплової потужності теплоутилізатора до 2700…3650 кВт. Це забезпечує можливість

часткового розвантаження котлоагрегатів або підвищення відпуску теплоти котельнею, що безпосередньо покращує загальний паливний коефіцієнт корисного використання.

Дослідження показали, що коефіцієнт теплопередачі контактного теплообмінника становить 320…400 Вт/(м²·К), що є високим для газоводяних теплообмінників. Такий ефект зумовлений поєднанням конвективних процесів та інтенсивної конденсації водяної пари на холодних поверхнях з утворенням рідинної плівки.

Отримані результати демонструють, що застосування конденсаційних контактних економайзерів з активною насадкою у котельнях, які працюють на біомасі, є енергетично, економічно та екологічно обґрунтованим. Використання таких апаратів забезпечує підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів і суттєве скорочення негативного впливу на довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Комбіновані рішення: стаття про поєднання теплових насосів та ORC для утилізації низькопотенційної теплоти // MDPI Energies. – 2024. – URL: https://www.mdpi.com/1996-1073/17/20/5204 (дата звернення: 16.11.2025).
2. Лейміч Д.К., Резидент Н.В. Перехід на альтернативні види палива як ефективний напрям модернізації котелень// Доповідь на Науково-технічній конференції факультету будівництва, цавільної та екологічної інженерії, Вінниця, 2023. URL: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/24541/20296 (дата звернення: 16.11.2025).
3. Butcher, T. A. Condensing economizers for efficiency improvement and emissions reduction // U.S. Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information. – 2010. – URL: https://www.osti.gov/servlets/purl/ 244535 (дата звернення: 16.11.2025).
4. Принципові теплові схеми котелень на біомасі з глибокою утилізацією теплоти продуктів згорання / М. М. Жовмір, Н. О. Маслова. Київ, 2020. URL: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/63602 (дата звернення: 16.11.2025).
5. Басок Б.І., Дубовський С.В., Пастушенко Е.П., Мороз М.В., Веремійчук Г.М. Активна утилізація теплоти димових газів біопаливного котла // Енерготехнології та ресурсозбереження, 2023, №4, С. 67 – 80.
6. Назарова І.О. Підвищення енергоекологічної ефективності біопаливних котелень //Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, 202, №4, С. 149-154.
7. Приклад техніко-економічного аналізу впровадження рекуператорів відхідного тепла у котельнях // E3S Web of Conferences. – 2023. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2023/94/ e3sconf_fci2023_02014.pdf (дата звернення: 16.11.2025).

Резидент Наталія Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, ResidentNV@ukr.net

Лейміч Денис Костянтинович, студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет

Resident Nataliya, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat and Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ResidentNV@ukr.net

Leymich Denys, Student of the Department of Heat and Power Engineering, Vinnytsia National Technical University

УДК 681.12

О. Ю. Співак
К. Ю. Таранюк
Я. І. Котюжанський

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ТЕПЛОНОСІЯ В СУШАРЦІ З ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ ЧИСЛОВИМ МЕТОДОМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблена математична модель для оптимізації швидкості теплоносія в сушарках з псевдозрідженим шаром. В якості предмета дослідження вибрано сушарку для сушіння цукру-піску. Виконано числовий експеримент, який показ показав, що при подачі теплоносія з швидкістю 0,52 м/с під решітку сушарки з псевдозрідженим шаром для сушіння цукру-піску з мінімальними розмірами часток 0,2 мм буде забезпечено швидкість теплоносія, близьку до максимальної без винесення дрібних часточок сировини разом з відпрацьованим теплоносієм.

Ключові слова: сушіння, псевдозріжений шар, сушіння цукру, дисперсні матеріали.

Abstract

A mathematical model has been developed to optimize the coolant velocity in fluidized bed dryers. A dryer for drying granulated sugar was selected as the subject of the study. A numerical experiment was performed, which showed that when the coolant is supplied at a velocity of 0.52 m/s under the grate of a fluidized bed dryer for drying granulated sugar with a minimum particle size of 0.2 mm, the coolant velocity will be close to the maximum without removing small particles of raw material together with the spent coolant.

Key words: *drying, fluidized bed, sugar drying, dispersed materials*.

Вступ

Для надійної роботи сушарки з псевдозрідженим шаром необхідно підібрати швидкість теплоносія під решіткою з сировиною, достатню для витання часток сировини і, крім того, ця швидкість не повинна перевищувати ту, за якої починається винесення часток з сушильної камери разом з відпрацьованим теплоносієм.

Як правило, це робиться емпіричним шляхом, поступово підвищуючи подачу нагрітого теплоносія під решітку на самій сушарці добиваються витання часток сировини над решіткою. Для цього сушарка повинна мати конструкцію дроселів, які б забезпечували плавну зміну подачі теплоносія в досить великих межах, а нагнітальна машина – мати суттєвий запас потужності, що призводить до нераціонального використання енергії в ній.

Разом з тим, застосування теоретичного розрахунку швидкості значно звужує як необхідний діапазон роботи дросельних заслонок, так і потужність нагнітальної машини, дозволяє визначати необхідні межі швидкості з досить таки прийнятною точністю.

Мета роботи: числовими методами дослідити вплив швидкості теплоносія на витання частинок цукру-піску з умовним діаметром 0,15-0,2 мм в псевдозрідженому шарі і розрахувати швидкість теплоносія числовим методом, змоделювавши процес.

Основна частина

Дана модель складається з 7 лінійних рівнянь і є оптимізаційною, критерієм оптимізації виступає швидкість теплоносія, що забезпечує максимальну інтенсивність сушіння без винесення часточок з сушарки потоком сушильного агента.

Відомо [1,3], що фіктивна (на повний переріз апарата) швидкість початку псевдозрідження

$$\omega_{пс} = \frac{Re \cdot \nu_{ср}}{\rho_{ср} \cdot d_e}, \quad (1)$$

де Re – критерій Рейнольдса;

d_e – еквівалентний діаметр полідисперсних частинок матеріалу, м;

$\nu_{ср}$ – в'язкість теплоносія за середньої температури, $м^2/с$;

$\omega_{пс}$ – фіктивна швидкість початку псевдозрідження, м/с.

$\rho_{ср}$ – густина теплоносія за середньої температури, $кг/м^3$;

При цьому, еквівалентний діаметр полідисперсних часток матеріалу

$$d_e = \frac{1}{\sum_1^n \frac{m_i}{d_i}}, \quad (2)$$

де d_i – середній ситовий розмір і-тої фракції, м.

n – число фракцій;

m_i – вміст і-тої фракції, масові частки;

Критерій Архімеда

$$Ar = \frac{d_e^3 \cdot \rho_{ср} \cdot g \cdot \rho_ч}{\nu_{ср}^2}, \quad (3)$$

де $\rho_ч$ – густина частинок, $кг/м^3$.

Критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}, \quad (4)$$

Верхня межа допустимої швидкості теплоносія в псевдозрідженому шарі визначає швидкість винесення найбільш дрібних частинок.

$$\omega_{вв} = \frac{\nu_{ср}}{d_ч \cdot \rho_{ср}} \left(\frac{Ar_{0,2}}{18 + 0,575\sqrt{Ar_{0,2}}} \right), \quad (5)$$

де $Ar_{0,2}$ – критерій Архімеда для частинок цукру піску діаметром 0,2 мм;

$d_ч$ – найменший діаметр частинки, м.

Граничне число псевдозрідження

$$К_\omega = \frac{\omega_{вв}}{\omega_{пс}}, \quad (6)$$

Робочу швидкість ω сушильного агента рекомендовано вибирати [4] в межах від $\omega_{пс}$ до $\omega_{вв}$. Ця швидкість залежить від граничного числа псевдозрідження $К_{пр} = \omega_{вв}/\omega_{пс}$: за $К_{пр}$ понад 40-50 робоче число псевдозрідження рекомендується вибирати в інтервалі від 3 до 7; за $К_{пр}$ менше 20-30 значення $К_\omega$ можна вибирати в інтервалі від 1,5 до 3. Приймаємо $К_\omega = 1,5$, враховуючи те, що відношення верхньої межі швидкості до швидкості початку витання для часточок умовним діаметром до від 0,15 до 0,2 мм незначне.

Тоді робоча швидкість сушильного агента

$$\omega = K_{\omega} \cdot \omega_{пс}, \qquad (7)$$

Для розрахунку швидкості теплоносія для витання часток в псевдозрідженому шарі складена програма в прикладному пакеті MathCad. Тут ми подаємо тільки результати розрахунку в графічному вигляді (Рис. 1).

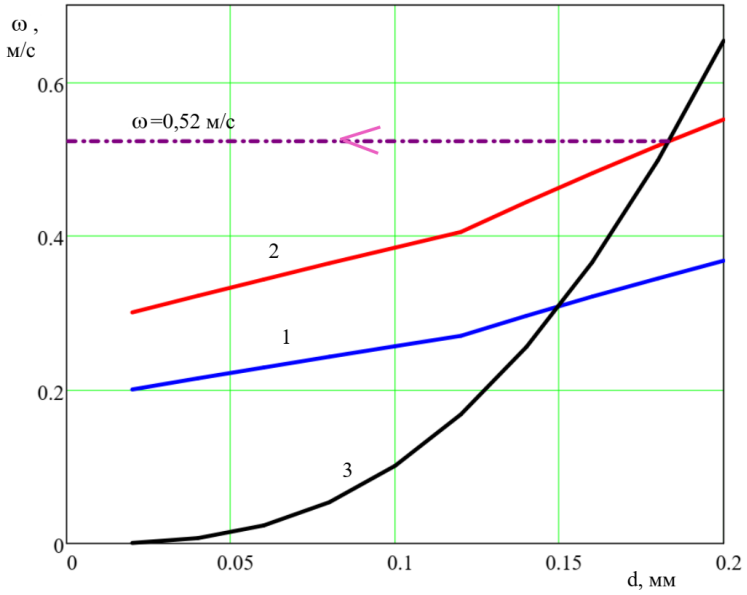


Рисунок.1 – Розрахунок оптимальної швидкості теплоносія
1 – швидкість початку псевдозрідження; 2 – робоча швидкість;
3 – швидкість початку винесення часток з сушильної камери

Представлені графічні залежності показують, що оптимальна робоча швидкість теплоносія знаходиться на перетині ліній 2 і 3, одна з яких (лінія 3) показує швидкість початку виносу часточок малого розміру з сушильної камери. Методом графічного трасування встановлено, що ця швидкість рівна 0,52 м/с. Вона значно більша за швидкість початку витання (лінія 1), тож можна стверждувати, що за такої швидкості шар висушуваного матеріалу точно прийде в псевдозріджений стан, але виносу часток більше 0,18 мм (а ми задавалися розміром 0,2 мм) ще не буде.

Висновки

Розроблена математична модель для оптимізації швидкості теплоносія в сушарках з псевдозрідженим шаром. В якості предмета дослідження вибрано сушарку для сушіння цукру-піску. максимальною. Виконано числовий експеримент, який показ показав, що при подачі теплоносія з швидкістю 0,52 м/с під решітку сушарки з псевдозрідженим шаром для сушіння цукру-піску з мінімальними розмірами часток 0,2 мм буде забезпечено швидкість теплоносія, близьку до максимальної без винесення дрібних часточок сировини разом з відпрацьованим теплоносієм.

Розроблена математична модель дозволяє визначати оптимальну швидкість теплоносія числовим методом, без застосування тривалого і громіздкого методу підбору швидкості практичним способом, але потребує емпіричного підтвердження розрахунків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С. Й. Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2008. 98 с.

2. Гайвась Б. І. Математичне моделювання конвективного сушіння матеріалів з урахуванням механотермодифузійних процесів /Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. 2010. вип. 12, С. 9-37.

3. Артюхов А. Є. Дослідження умов формування вихрового псевдозрідженого шару в малогабаритних масообмінних апаратах / А. Є. Артюхов, В. М. Маренок, В. І. Склабінський // Вісник Сумського державного університету. 2007. № 3. С. 10–17.

4. Апарати завислого шару. Теоретичні основи і розрахунок / Юхименко М. П., Вакал С. В., Кононенко М. П., Філонов А. П. Суми: Собор, 2003. 304 с.

Рекомендована до опублікування кафедрою теплоенергетики ВНТУ

Співак Олександр Юрійович – к-т. техн. наук, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: spivak@vntu.edu.ua.

Таранюк Костянтин Юрійович – магістрант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: taranuykkostya@gmail.com.

Котюжанський Ярослав Івановичч – магістрант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: yarik22722272@gmail.com

Oleksandr Spivak – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: spivak@vntu.edu.ua.

Kostyantun Taranyuk – undergraduate t of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: taranuykkostya@gmail.com.

Yaroslav Kotyuzhansky – undergraduate of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: yarik22722272@gmail.com

УДК 621.18

Боднар Л. А.
Степанов Д. В.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ТРІСЦІ ДЕРЕВИНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проведено дослідження показників водогрійного котла потужністю 1800 кВт для спалювання тріски деревини. Проаналізовано літературну інформацію по методиках розрахунку водогрійних котлів середньої потужності на твердому біопаливі. Зазначено, що впровадження котлів на твердому біопаливі сприятиме заміщенню викопних видів палива, оновленню існуючого обладнання для спалювання рослинної твердої біомаси, розвитку виробництва нового обладнання та його вдосконалення. Показано, що в сучасній літературі вкрай обмаль інформації по методах розрахунку котлів середньої потужності на твердій біомасі, а наявна інформація не систематизована і не узагальнена. Показано, що в Нормативному методі теплового розрахунку котлоагрегатів відсутня інформація по особливостях розрахунку котлів на твердій біомасі, а саме: відсутні рекомендації по розрахунку теплообміну в топці котла, в теплообміннику з інтенсифікованим теплообміном для котлів на твердій біомасі. Досліджено вплив частки виносу золи, коефіцієнта надлишку повітря, вологості деревини, коефіцієнта A_{ash} на температуру димових газів на виході з котла і порівняно з даними експлуатації. Запропоновано особливості розрахунку водогрійного котла на тріски деревини. Порівняно розрахункові показники температури газів на виході з котла з даними експлуатації. Показано, що в літературі обмаль інформації по рекомендованим значенням теплової напруги дзеркала горіння для сучасних способів спалювання рослинної твердої біомаси. Вказано, що дослідження процесів спалювання твердої біомаси і розробка методик розрахунку, формування бази даних по необхідних для розрахунку коефіцієнтах є досить актуальним завданням.

Вказано, що на даному етапі досліджень методику розрахунку теплообміну в топці котла, наведену в нормативному методі теплового розрахунку котлоагрегатів варто використовувати для розрахунку водогрійних котлів середньої потужності. Незважаючи на спрощення, що закладені в математичну модель, результати розрахунків і даних експлуатації відрізняються не суттєво.

Ключові слова: *тріска деревини, водогрійний котел, коефіцієнт корисної дії, температура відхідних газів, коефіцієнт теплової ефективності, інтенсифікація теплообміну.*

Abstract

The paper studies the performance of a 1800 kW water heating boiler for burning wood chips. Literature information on methods for calculating medium-power water heating boilers using solid biofuels is analyzed. It is noted that the introduction of solid biofuel boilers will contribute to the replacement of fossil fuels, the renewal of technological parks of existing equipment, the development of the production of new equipment, and its installation and maintenance activities. It is shown that in modern literature there is very little information on methods for calculating medium-power boilers on solid biomass, and the available information is not systematized and not generalized. It is shown that in the Normative Method for Thermal Calculation of Boiler Units there is no information on the features of calculating boilers on solid biomass, namely: there are no recommendations for calculating heat exchange in the boiler furnace, in a heat exchanger with intensified heat exchange for boilers on solid biomass. . The influence of the ash removal fraction, excess air coefficient, wood moisture, and Азл coefficient on the temperature of flue gases at the boiler outlet and compared with operating data were investigated. The features of calculating a wood chip water heating boiler were proposed. The calculated gas temperature indicators at the boiler outlet were compared with operating data. It was shown that there is little information in the literature on the recommended values of the thermal stress of the combustion mirror for modern methods of burning solid plant biomass. It was indicated that the study of solid biomass combustion processes and the development of calculation methods, the formation of a database on the coefficients required for calculation are quite relevant tasks.

It was indicated that at this stage of research, the method for calculating heat transfer in the boiler furnace, given in the normative method of thermal calculation of boiler units, should be used for calculating medium-power water heating boilers. Despite the simplifications incorporated in the mathematical model, the results of calculations and operating data do not differ significantly.

Keywords: *wood chips, hot water boiler, efficiency, exhaust gas temperature, coefficient of thermal efficiency, heat transfer intensification.*

Вступ

Заміщення викопних видів палив твердою біомасою є важливим завданням сьогодення. Наразі найбільш широко використовуються такі види твердої біомаси: тріска деревини, гранули (лушпиння соняшника, солома), брикети, солома в тюках, енергетичні культури, тощо. Як зазначено в роботі [1] широке впровадження об'єктів генерації на твердій біомасі сприяє залученню сучасних передових технічних рішень у сферу теплозабезпечення, оновленню технологічних парків існуючого обладнання, розвитку виробництва нового обладнання, діяльності з його монтажу та обслуговування. Залежно від виду біомаси, її складу, вологості, теплоти згорання, розміру частинок, насипної густини та зольності, властивості золи плавитись чи спікатись, використовують різні технології спалювання [2]. В зв'язку з цим, виникає завдання з розробки методик розрахунку котлів на твердій біомасі з різними технологіями спалювання. Як зазначено в роботі [3], темпи впровадження таких котлів випереджають науково-технічне забезпечення їх розробки. Автори [4] також зазначають, що розробка котлів на деревних гранулах часто основана на досвіді, отриманому емпіричним шляхом, тому розробка є тривалою і дороговартісною. У вітчизняній літературі вкрай обмаль інформації по експериментальних дослідженнях котлів малої та середньої потужності на твердій біомасі та рекомендацій стосовно їх проєктування та розрахунку. В роботі [5] запропоновано в загальному вигляді модель розрахунку твердопаливного котла потужністю до 100 кВт, що заснована на нормативному методі розрахунку, але зазначено, що модель не апробована. Авторами [5] поставлено задачу виконати розрахунок за розробленою моделлю та порівняти з результатами випробувань котла. В роботі [6] визначено експериментальним шляхом розрахункові характеристики ретортних топок при роботі на різних видах деревного палива з різною вологістю і фракційним складом. Дослідження проводились для котлів потужністю 100 кВт. Отримані в даній роботі [6] дані є основою для конструювання промислових топкових пристроїв більшої потужності.. В роботі [7] представлено спроєктовану конструкцію котла на біомасі потужністю 600 кВт. Котел спроєктовано для підігрівання термоолії для ORS-циклу. Конструкція топки створена на основі аналітичних розрахунків, а розміщення сопел для подавання повітря в котел виконано на основі CFD моделювання в програмному забезпеченні ANSYS. В роботі надано теоретичні рекомендації по раціональній конструкції котла: по виконанню колосникової решітки, по розміщенню сопел для подачі повітря, по шляхах організації двоходового руху газів в топці.

На основі експериментальних даних, нами запропоновано методику розрахунку газогенераторного водогрійного котла на деревині [8]. В роботі [9] авторами експериментально досліджено показники роботи повітряного теплогенератора потужністю 1500 кВт, що працює на соломі, а також запропоновано особливості розрахунку таких котлів.

Наявна в літературі інформація по експериментальних дослідженнях показників котлів потребує систематизації та узагальнення.

Наразі в Україні для розрахунку парових і водогрійних котлів використовується Нормативний метод теплового розрахунку котлоагрегатів (НМ). Нормативний метод розроблено для проєктувальників, конструкторів, інженерно-технічного персоналу ТЕС та котелень і в 3-й редакції опубліковано в 1998 році. З того часу з'явилось багато різноманітних конструкцій котлів на твердій біомасі, для яких відсутні методики розрахунку. Як показали дослідження, застосування НМ для розрахунку котлів малої і середньої потужності, особливо на твердій біомасі, без певної адаптації і корекції неможливо.

Метою даної роботи є аналіз методів розрахунку водогрійних котлів середньої потужності на твердому біопаливі, дослідження показників роботи водогрійного котла потужністю 1800 кВт на тріски деревини, порівняння результатів з даними експлуатації котла, розробка рекомендацій по розрахунку.

Основна частина

Водогрійний котел встановлений на одному з підприємств м. Вінниця. В якості палива використовується тріска деревини. Температурний режим котла 90/70 °С. Потужність котла становить 1800 кВт.

Згідно даних експлуатації котла, температура газів на виході з котла коливається в межах 210…220 °С. На основі розробленої нами математичної моделі проведено числові розрахунки водогрійного котла. Отримані результати порівняно з даними експлуатації. Оскільки під час опалювального періоду вологість тріски деревини може змінюватись, то оцінено роботу котла на паливі з вологістю 20 та 40 %. Розміри топки та теплообмінника взято згідно замірів.

Розрахунок теплообміну в топці виконано згідно НМ, але з певними спрощеннями. Для розрахунку коефіцієнта поглинання променів частинками золи, 1/(м·МПа)

$$k_{ash} \cdot \mu_{ash} = \frac{10^4 \cdot A_{ash}}{\sqrt[3]{(T''_t)^2}} \frac{\mu_{ash}}{1+1,2 \cdot \mu_{ash} \cdot s}, \quad (1)$$

необхідний коефіцієнт A_{ash}, табличне значення якого становить від 0,6 для торфу до 1 для антрацитового штибу. Але значення цього коефіцієнта для твердої біомаси в літературі не наводиться. Для розрахунків взято A_{ash}=0,6 як для торфу. На рисунку 2 оцінено вплив коефіцієнта A_{ash} на розрахункову температуру відхідних газів та порівняно отримані результати з даними експлуатації. Взято такі значення A_{ash}: 0,6 (торф), 0,75 (сланці, буре вугілля), 0,8 (кам'яне вугілля), 1 (антрацитовий штиб). Коефіцієнт надлишку повітря в топці взято 1,4.

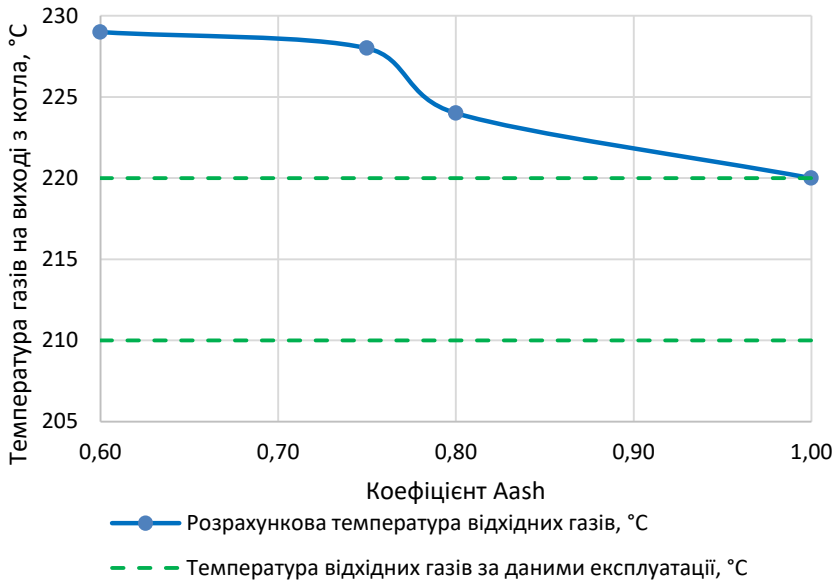


Рис. 2. Вплив коефіцієнта Aash на значення температури відхідних газів

Як показали дослідження, найбільші відхилення розрахункових даних і експлуатаційних становлять 3,9…8,3 %. Отримані результати свідчать про незначний вплив коефіцієнта $A_{зл}$ на температуру газів. Слід зазначити, що тріска деревини має низьку зольність (0,6 %), в той час як лушпиння соняшника 2,4%, солома 4,5%, лушпиння рису 19,5%. Тому дослідження процесів спалювання твердої біомаси і розробка методик розрахунку, формування бази даних по необхідних для розрахунку коефіцієнтах є досить актуальним завданням.

Слід також зазначити, що в котлі реалізоване двостадійне спалювання палива, коли вся необхідна для горіння кількість повітря розділена на два потоки: перший потік надходить під колосникову решітку, другий подається через отвори в стінках топки. В літературі чимало досліджень про позитивний вплив двостадійного спалювання на екологічні показники котлів. В роботі [10] вказано, що вторинне повітря посилює змішування димових газів з киснем, що сприяє спалюванню горючих газів. Автори зазначають [4], що за допомогою ефективної стратегії розподілення повітря в топці можна знизити викиди твердих частинок майже в 5 разів. Такий ефект пояснюють тим, що за рахунок малого коефіцієнта надлишку первинного повітря відбувається низька швидкість перетворення калію в леткі речовини. Разом з тим нами не знайдено рекомендацій по розрахунку теплообміну в топці при двостадійному горінні палива. Тому розрахунок проводився по загальному коефіцієнту надлишку повітря.

Для розрахунку коефіцієнта теплової ефективності екранів ψ, необхідне значення коефіцієнта ζ, що враховує зниження теплосприйняття екрану при його забрудненні чи закритті його поверхні ізоляцією. Значення ζ залежить від типу екрана і виду палива і наводиться в таблиці 4.2 [10]. Його значення коливається від 0,1 до 0,65. В розрахунках прийнято ζ=0,6 як для настінних гладкотрубних екранів в шарових топках. Слід зазначити, що табличних значень цього коефіцієнта для твердої біомаси немає.

Досліджено також вплив частки винесення золи $a_{вин}$ на температуру відхідних газів (рис. 3). Частка виносу золи впливає на концентрацію золи в продуктах згорання і на коефіцієнт поглинання

променів частинками золи $a_{вин}$. Тобто має вплив на випромінювальну здатність полум′я. Значення частки винесення золи в нормативному методі наводиться для камерних ($a_{вин}$ =0,65…0,9) і шарових топок ($a_{вин}$ =0,1...0,5). Значення коефіцієнта залежить від продуктивності котла, способу шлаковидалення, від типу палива, типу колосникової решітки (поворотні колосники, ланцюгова решітка прямого ходу, зворотного ходу). В сучасних водогрійних котлах середньої потужності на твердій біомасі використовують такі способи спалювання в шарі: на нерухомій решітці, на перештовхувальній решітці, на обертальній решітці, на рухомій решітці, на вібраційній решітці. Такий новий вид палива як пелети спалюють в ретортах, за допомогою стокерних пальників. Для вказаних способів спалювання твердої біомаси немає рекомендованих значень частки винесення золи. Крім того, топки сучасних котлів часто виконують двоходовими шляхом встановлення перегородки. Це також впливає на винесення золи з топки.

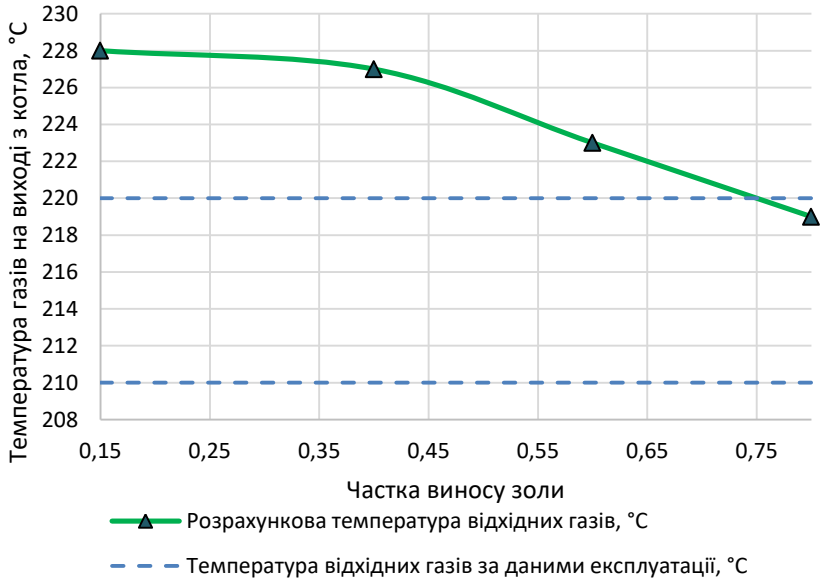


Рис.3. Дослідження частки винесення золи на температуру відхідних газів

Для розрахунків взято $a_{вин}$=0,15…0,8. Як показують результати досліджень, при частці $a_{вин}$=0,15, розходження між розрахунковою температурою газів і даними експлуатації становить 3,5…7,8 %.

Під час опалювального періоду вологість тріски деревини може коливатись. В роботі [13] проаналізовано вплив вологості деревної тріски на процес горіння, на утворення викидів CO, NO_x та ККД котла. Протягом досліджуваного періоду (15 діб) вологість тріски коливалась від 34 до 44 %. При цьому авторами [13] досліджено, що при зниженні вологості на 4%, ККД котла зменшується на 1%, що пов’язано зі збільшенням CO в димових газах з 60 мг/м^3 до 105 мг/м^3 , а отже втратами теплоти з хімічним недопалюванням. В роботі досліджено параметри роботи котла на тріски деревини робочою вологістю 20 та 40%. При цьому втрати теплоти з хімічною неповнотою згорання взято для всього досліджуваного діапазону значень вологості деревини і коефіцієнта надлишку повітря 1,5 %. На рисунку 4 наведено результати розрахунків температури газів на виході з котла при роботі на тріски деревини вологістю W^p=20 % і W^p=40 %. Коефіцієнт теплової ефективності поверхні взято φ=0,8 та 0,9. Для розрахунку інтенсифікованого теплообміну в теплообміннику котла використано рекомендації наведені в монографії [3] та [11-12]. Отримані результати порівняно з даними експлуатації котла. Як видно з рис.4, для всього діапазону зміни коефіцієнта надлишку повітря, температура газів досить близька до 210…220 °С (дані експлуатації котла). Для коефіцієнта надлишку повітря 1,3, вологості тріски 20 і 40 %, та φ= 0,8 розрахункова температура становить 218…222 °С. В цілому, відхилення від верхньої межі температури за даними експлуатації (для W^p=20 % , W^p=40 %, φ= 0,8) становлять 0,9…5,8 %, та 5,7…10,06 % від нижньої.

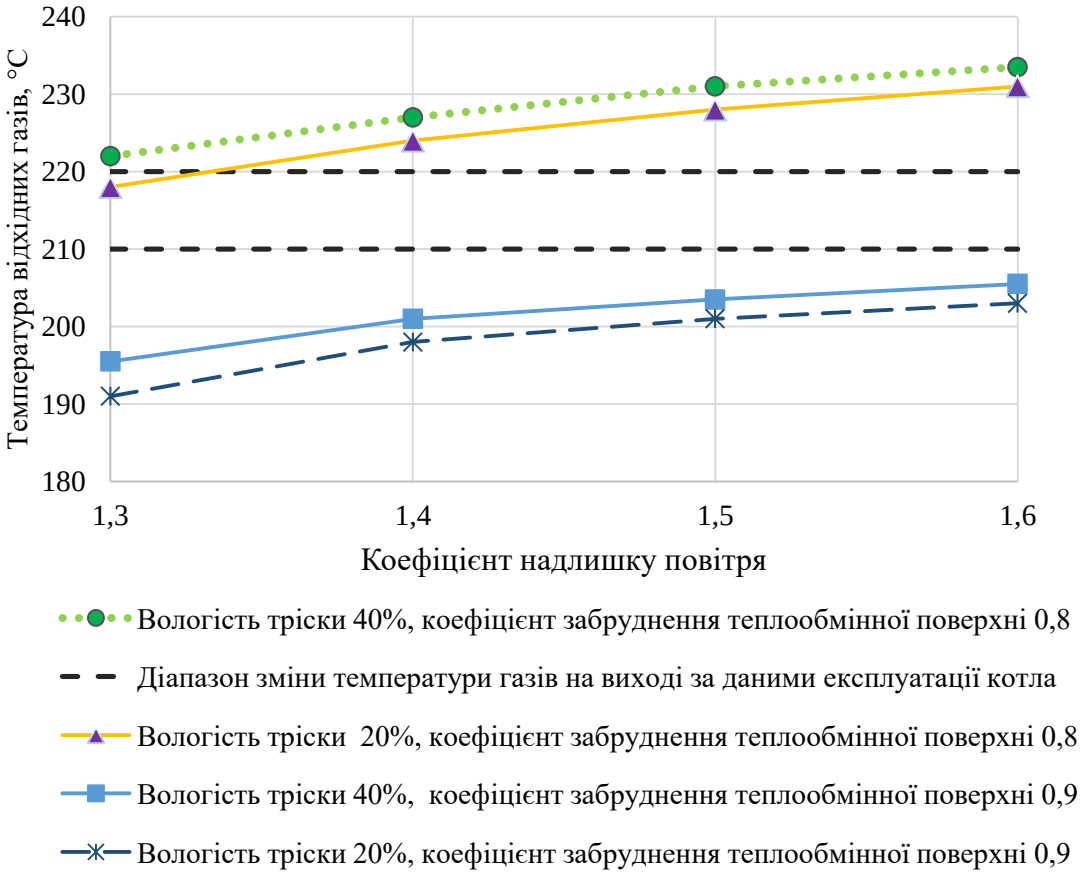


Рис.4. Дослідження впливу коефіцієнта надлишку повітря на температуру відхідних газів залежно від вологості тріски деревини та коефіцієнта теплової ефективності теплообмінної поверхні

Для теплообмінної поверхні з φ= 0,9, розрахункова температура знаходиться в межах від 191 до 205 °С залежно від вологості палива. Відхилення від експлуатаційних даних становить 2,1…13,2%. Слід зазначити, що в котлах з горизонтальним розташуванням теплообмінника, проблема забруднення твердими частинками особливо актуальна. Сучасні виробники для очищення поверхні встановлюють системи пневмоочищення. В конструкції котла, що досліджується, автоматичних засобів очищення від золового забруднення немає.

Отже, як показали результати досліджень, методику розрахунку теплообміну в топці котла, наведену в НМ варто використовувати для розрахунку водогрійних котлів середньої потужності. Незважаючи на зазначені вище спрощення, що закладені в математичну модель, результати розрахунків і даних експлуатації відрізняються не суттєво.

ВИСНОВКИ

Огляд літературної інформації показав, що наразі в Україні відсутня єдина нормативно-розрахункова база для інженерного розрахунку для всіх видів котлів (водогрійних, парових) на твердій біомасі. Похибки при проєктуванні і конструюванні котлів можуть призвести до неефективної роботи котла, завищених показників викидів шкідливих речовин, а також до аварійних ситуацій. Тому експериментальні дослідження показників роботи котлів на різних видах твердої біомаси, що реалізовують різні технології спалювання є актуальними і необхідними. Це дозволить сформувати базу даних та рекомендації необхідні для проєктування.

В роботі досліджено вплив ряду факторів, рекомендації щодо вибору яких не наведено в нормативних та іншій джерелах, проте вони впливають на розрахункові показники ефективності роботи котла. Виявлено, що зміна коефіцієнту A_{ash} для розрахунку випромінювання газів в діапазоні 0,6…1,0 призводить до зміни розрахункової температури відхідних газів на 3,6%. Зміна частки виносу золи в межах 0,15…0,8 призводить до зміни температури відхідних газів на 4,1%. При зміні коефіцієнта надлишку повітря від 1,3 до 1,6 зміна розрахункової температури відхідних газів складає до 6,7%. Суттєвий вплив на температуру газів на виході з котла має коефіцієнт теплової ефективності

теплообмінної поверхні трубного пучка φ. Для коефіцієнта φ = 0,8 розрахункова температура газів становить 218…222 °С, тобто відхилення від експериментальних даних складають 0,9…10,1 %. Для теплообмінної поверхні з φ = 0,9 розрахункова температура відхідних газів складає 191…205°С, а відхилення від експериментальних даних – 2,1…13,2%.

Співставлення результатів моделювання та експериментальних досліджень дозволяє зробити висновок, що тепловий розрахунок водогрійних котлів середньої потужності на трісці деревини може бути виконаний з використанням Нормативного методу із врахуванням запропонованих рекомендацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Г. Г. Гелетуха, Ред., *Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник.* Київ, Україна : Поліграф плюс, 2016. 104 с.

[2] T. Nussbaumer, “Low emission biomass combustion in automated boilers for heat and power,” IEA Bioenergy: Task 32. 46 pages. 2024. Режим доступу: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2024/09/Nussbaumer_IEA-Bioenergy-Task32-Emissions-Report_2024_08_20.pdf

[3] Д. В. Степанов, Л. А. Боднар, *Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності*. Монографія, Вінниця, Україна: ВНТУ, 2011. 151 с.

[4] T. Zadravec, B. Rajh, F. Kokalj, “CFD modelling of air stages combustion in a wood pellet boiler using the coupled modelling approach”, *Thermal Science and Engineering Progress.* Vol.20. December. 2020. https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100715

[5] А. П. Фалендиш, О. В. Клецька, Є. А. Бітюра, «Модель розрахунку твердопаливного котла невеликої потужності,» *Збірник наукових праць Українського державного університетету залізничного транспорту*, вип. 166, С. 185 – 190. 2016.

[6] Г. Г. Гелетуха, “Науково-технічні засади виробництва енергії з біологічних видів палива.” дис. доктора техн. наук, Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, 2021 р.

[7] K. Ronewicz, T. Turzynski, D. Kardas, “Design and distribution of air nozzles in the biomass boiler assembly,” *Transactions of the institute of fluid-flow machinery*. №125. P. 13-28. 2013.

[8] L.A. Bodnar, D. V. Stepanov, A. N. Dovgal, “Experimental investigations of the energy and environmental indices of operation of a low capacity combined gas producer and hot-water boiler,” *Journal of engineering physics and thermophysics*. Volume 88, pages 962-967, August, 2015. https://doi.org/10.1007/s10891-015-1271-x.

[9] Л. А. Боднар, Д. В. Степанов, Р. В. Сливко, «Експериментальні дослідження показників роботи теплогенератора потужністю 1500 кВт на соломі,» *Наукові праці Вінницького національного технічного університету* [Електронний ресурс]. №1. 2017. Режим доступу: https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/497/494

[10] М.М. Чепурний, Д.В. Степанов, Є.С. Корженко, *Теплові розрахунки парогенераторів*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2005. 155 с.

[11] Л. А. Боднар, «Раціональні методи інтенсифікації теплообміну в газотрубних котлах,» *Науково-технічний збірник "Сучасні технології матеріали і конструкції в будівництві"*, №2, С.93 – 98. 2018.

[12] Л. А. Боднар, «Ефективність інтенсифікації теплообміну в теплогенераторі на щепі деревини,» *Всеукраїнський науково-технічний журнал. Техніка, енергетика, транспорт АПК* , №4. С. 124 – 128. 2017.

[13] M. Bosnjakovic, N. Veljic, C. Soldan, “Influence of moisture content in wood chips on the boiler operation,” *7 th international conference Vallis Aurea: research&innovation*, Pozega-Slavonia, Croatia, 2020. P. 91-101. Режим доступу: https://hrcak.srce.hr/omp/index.php/ftrr/catalog/view/18/17/1132

Боднар Лілія Анатоліївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри теплоенергетики, e-mail: Bodnar06@ukr.net

Степанов Дмитро Вікторович – к.т.н., доцент, завідувач кафедри теплоенергетики, e-mail: stepanovdv@ukr.net

Bodnar Lilia, Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Bodnar06@ukr.net.

Stepanov Dmytro – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of power engineering, Head of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: stepanovdv@ukr.net

ДК 620.9

Н. В. Резидент, к.т.н., доц., ВНТУ
А. І. Грига, студент

ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАЛИНІВСЬКОЇ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЛІКАРНІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезах розглянута проблема підвищення економічної, енергетичної та екологічної ефективності двопаливної водогрійної котельні шляхом встановлення оребреного утилізатора теплоти відхідних газів котлів на біомасі. Розроблено математичну модель теплогідродинамічних процесів в оребреному теплоутилізаторі, проведені числові дослідження впливу режимних та конструктивних параметрів на енергетичні, економічні та екологічні показники теплоутилізатора. Підтверджено ефективність впровадження оребреного утилізатора теплоти відхідних газів котлів на біомасі для зменшення витрат життєвого циклу теплообмінника та викидів парникових газів.

Ключові слова: енергоефективність, котельня, біомаса, оребрений теплоутилізатор, витрати життєвого циклу, викиди парникових газів

Abstact

The theses consider the problem of increasing the economic, energy and environmental efficiency of a dual-fuel hot water boiler by installing a finned heat recovery unit for waste gases from biomass boilers.

A mathematical model of thermal hydrodynamic processes in a finned heat exchanger has been developed, and numerical studies of the influence of operating and design parameters on the energy, economic and environmental performance of the heat exchanger have been conducted.

The effectiveness of implementing a finned waste heat recovery unit for biomass boilers to reduce heat exchanger life cycle costs and greenhouse gas emissions has been confirmed.

Keywords: energy efficiency, boiler house, biomass, finned heat exchanger, life cycle costs, greenhouse gas emissions

Вступ. Постановка задачі

Підвищення ефективності роботи котелень, що використовують біомасу як паливо, є одним із ключових напрямів модернізації сучасних систем теплопостачання. Біоенергетика в Україні та світі посідає важливе місце у забезпеченні енергетичної безпеки, зменшенні залежності від викопних енергоресурсів та інтеграції принципів сталого розвитку. В умовах зростання вартості традиційних енергоносіїв, нестабільності енергетичних ринків та посилення екологічних вимог, проблема підвищення енергетичної, економічної та екологічної ефективності біокотелень набуває особливої актуальності [1].

Енергетична актуальність зумовлена необхідністю оптимізації використання місцевих відновлюваних ресурсів. Біомаса (деревна тріска, пелети, аграрні відходи) є доступним та відновлюваним паливом, однак ефективність її спалювання значною мірою залежить від конструктивних особливостей котельного обладнання, режимів роботи та наявності систем утилізації тепла. Значні втрати теплової енергії з димовими газами, нерівномірність подачі палива, недосконалі теплообмінники та відсутність автоматизованого контролю призводять до зниження загального ККД котельні. Тому впровадження сучасних енергоощадних технологій – теплоутилізаторів, високоефективних систем подачі палива, автоматизованого регулювання горіння – дає змогу суттєво підвищити енергетичну віддачу обладнання та надійність його роботи [2, 3].

Економічна актуальність підсилюється необхідністю зменшення витрат на виробництво теплової енергії в умовах постійного зростання цін на паливо та експлуатаційних витрат. Підвищення ефективності біокотелень дозволяє скоротити питомі витрати палива, зменшити зношуваність обладнан-

ня, оптимізувати технологічні процеси та мінімізувати кількість позапланових простоїв. Це безпосередньо впливає на собівартість тепла, конкурентоспроможність теплогенерувальних підприємств і можливість впровадження гнучких тарифних моделей. Додаткові економічні вигоди виникають і завдяки зниженню витрат на утилізацію відходів та зменшенню кількості викидів, за які часто передбачені екологічні платежі [4].

Екологічна актуальність ґрунтується на потребі скорочення забруднення атмосферного повітря та зменшення вуглецевого сліду енергетичних об'єктів. Спалювання біомаси, хоча й вважається майже вуглецево нейтральним, все ж супроводжується утворенням твердих частинок, оксидів азоту, чадного газу та летких органічних сполук. Неефективні котельні спричиняють надмірне викидання цих домішок, що негативно впливає на якість повітря та здоров'я населення. Використання сучасних систем очищення, оптимізація процесів горіння, підвищення температурної та теплотехнічної стабільності обладнання дозволяють суттєво скоротити екологічне навантаження. Крім того, підвищення ефективності сприяє більш раціональному використанню біомаси, що зменшує антропогенний вплив на екосистеми [5].

Серед теплоутилізаційного обладнання особливу увагу слід звернути на оребрені теплообмінники. Вони відрізняються компактністю, зручністю обслуговування, простотою у виготовленні [6, 7].

Таким чином, мета роботи полягає в оцінці енергетичної, економічної та екологічної ефективності впровадження оребрених теплоутилізаторів на котельні, що працює на біомасі.

Результати досліджень

Теплоутилізаційне обладннаня впроваджується на пароводогрійній котельні Калинівської районної лікарні. Теплова потужність котельні 3,7 МВт забезпечується паровим газовим та твердопаливними водогрійними котлами на біомасі. Пропонується застосувати оребрений утилізатор теплоти відхідних газів котлі на біомасі. Діаметр трубок прийнятий 38 мм, діаметр ребра 60 мм. Крок ребер 10 мм. Середня температура відхідних димових газів за котлами становить близько 170°С, що свідчить про наявність значного потенціалу вторинного тепла.

Математична модель складена на основі рівнянь, наведених в [6 - 8]. За допомогою математичної моделі проведені дослідження впливу ключових режимних та конструктивних параметрів теплоутилізатора на його енергетичну, економічну та екологічну ефективність.

Результати досліджень показали, що теплова продуктивність теплоутилізатора знаходиться в діапазоні 60–180 кВт за умови зміни температури димових газів від 130 до 210 °С, що підтверджує його високу енергетичну ефективність.

Економічний аналіз показав, що отримана економія теплоти перевищує сумарні витрати життєвого циклу теплоутилізатора у 8,4–14,1 рази, що свідчить про його значну економічну вигоду.

Екологічна ефективність обумовлена скороченням викидів парникових газів на 313–957 т CO_2 протягом 15-річного періоду роботи.

Зміна температур газового та водяного потоків практично не впливає на значення коефіцієнта теплопередачі пристрою.

Проведені дослідження дали змогу визначити, що найкращими геометричними параметрами є діаметр труби 38 мм та діаметр ребра 60 мм.

Отримані результати підтверджують доцільність застосування оребрених теплоутилізаторів на котельнях з точки зору енергетичної, економічної та екологічної ефективності.

Висновки

Підвищення ефективності котелень на біомасі є стратегічно важливим завданням, оскільки воно сприяє зміцненню енергетичної безпеки, зниженню залежності від викопних ресурсів та забезпечує відповідність сучасним вимогам сталого розвитку.

Модернізації біокотелень обумовлена необхідністю раціонального використання біомаси та зменшення втрат тепла, зокрема за рахунок впровадження теплоутилізаційного обладнання. Сучасні технології підвищують ККД котлів та стабільність їх роботи.

Економічні переваги такої модернізації проявляються у зниженні витрат на паливо, скороченні експлуатаційних витрат і зменшенні витрат на утилізацію відходів. Це підвищує конкурентоспроможність теплогенерувальних підприємств та зменшує собівартість теплової енергії.

Екологічний ефект забезпечується зменшенням викидів забруднюючих речовин і парникових газів, а також у більш раціональним використанням біомаси. Це дозволяє знизити негативний вплив роботи котелень на довкілля та здоров'я населення.

Проведені дослідження оребреного теплоутилізатора в котельні Калинівської районної лікарні показали, що таке обладнання дає можливість ефективно утилізувати теплоту димових газів із з виробництвом 60–180 кВт теплоти, що свідчить про його високий енергетичний потенціал. Економія теплоти у 8,4–14,1 раза перевищує витрати життєвого циклу обладнання. Розрахунковий рівень скороченням викидів CO_2 склав 313–957 тон протягом 15 років роботи теплоутилізатора.

Оптимізаційні розрахунки показали, що оптимальними конструктивними характеристиками теплоутилізатора є діаметр труб 38 мм та діаметр ребер 60 мм, при цьому коефіцієнт теплопередачі залишається стабільним у широкому діапазоні робочих температур.

Загалом проведене моделювання підтвердило енергетичну, економічну та екологічну доцільність впровадження оребрених теплоутилізаторів на котельнях, що працюють на біомасі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підруч./ С.О.Кудря. К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
2. Приклад техніко-економічного аналізу впровадження рекуператорів відхідного тепла у котельнях // E3S Web of Conferences. – 2023. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2023/94/ e3sconf_fci2023_02014.pdf (дата звернення: 16.11.2025).
3. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник/За ред.. Г.Гелетуха. – К.: Поліграф плюс, 2015. – 72 с.
4. Назарова І.О. Підвищення енергоекологічної ефективності біопаливних котелень //Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, 202, №4, С. 149-154.Войцицький А. П., Дубровський В.П., Боголюбов В.М.
5. Техноекологія : підручник/за ред.В.М. Боголюбова. Київ: Аграрна освіта, 2009. 533 с.
6. Джанґ, Х., Джанґ, Т., Тянь, Г. та ін. «Heat Transfer Simulation and Structural Optimization of Spiral Fin-and-Tube Heat Exchanger» / Electronics — 2024. — Vol. 13, No. 23. URL: https://www.mdpi.com/2079-9292/13/23/4639?utm_source (дата звернення: 16.11.2025)
7. Суятна, Н. Р., Джуангса, Ф. Б., Дарманто, П. С. «Multi-Objective Finned-Tube Heat Exchanger Optimization Using a Genetic Algorithm» / JTMS (Institut Teknologi Bandung) — 2023. — Vol. 29, No. 2, с. 146–162. URL:https://www.researchgate.net/publication/376951675_Multi-Objective_Finned-Tube_Heat_Exchanger_Optimization_Using_a_Genetic_Algorithm (дата звернення: 16.11.2025)
8. Співак О. Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Частина І. Вінниця : ВНТУ, 2021. 113 с.

Резидент Наталія Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, ResidentNV@ukr.net

Грига Андрій Ігорович, студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет

Resident Nataliya, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat and Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ResidentNV@ukr.net

Gryga Andriy, Student of the Department of Heat and Power Engineering, Vinnytsia National Technical University

УДК 66.047.3

О. Ю. Співак
Н. С. Педченко
А. С. П'ятак

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНІ СХЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ В КОНВЕКТИВНИХ КАМЕРНИХ СУШАРКАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто способи організації руху теплоносія в сушарках з використанням теплоутилізаційного обладнання для збереження енергії на сушіння сільськогосподарської сировини. В якості предмета дослідження вибрано конвективну камерну сушарку. Вибрано 3 найперспективніші способи. Визначено переваги та недоліки для кожного з них.

Ключові слова: сушіння; камерна сушарка; енергозбереження в сушарках; рекуперація теплоти

Abstract

Methods of organizing the movement of the coolant in dryers using heat recovery equipment to save energy for drying agricultural raw materials are considered. A convective chamber dryer is selected as the subject of the study. The 3 most promising methods are selected. The advantages and disadvantages of each of them are determined.

Keywords: drying; chamber dryer; energy saving in dryers; heat recovery

Вступ

Найбільші втрати теплоти в конвективних сушильних установках відбуваються з викиданням відпрацьованого сушильного агента, який має досить значний тепловий потенціал в навколишнє середовище. Тому досить актуальним є розроблення методів і способів рекуперації теплоти відпрацьованого сушильного агента.

Найбільш поширеним шляхом зменшення теплових втрат з відпрацьованим теплоносієм є зниження його температури на виході, витрати, застосування рециркуляції сушильного агента, але всі ці способи призводять до зменшення сушильного потенціалу теплоносія, оскільки зростає його вологовміст.

Другий шлях − раціональне використання теплоти відпрацьованого теплоносія в різних типах утилізаційних установок та теплових насосів [1].

Основна частина

Якщо застосовувати різні типи утилізаторів і регенераторів теплоти можна значно підвищити економічність роботи та ефективність використання палива в промислових сушильних установках. Особливо ефективно цей спосіб діє в камерних конвективних сушарках, оскільки в них найпростіше добитися герметичності робочої камери. Утилізатори теплоти (теплообмінники), придатні для рекуперації теплоти в сушарках можна розділити на такі групи:

- рекуперативні (газоповітряні, повітряноповітряні);
- регенеративні (з проміжним теплоносієм);
- змішувальні.

Основні принципові схеми сушильних установок з утилізаторами теплоти представлені на Рис.1.

Найпростішою схемою з рекуператором є застосування теплообмінника типу повітря-повітря, в якому вхідне повітря для сушіння підігрівається відпрацьованим теплоносієм (Рис.1,а). Хоча коефіцієнт теплопередачі в таких рекуператорах невеликий, і рідко перевищує 60-70 Вт/(м^2·К), в них можна передавати досить значну потужність за рахунок збільшення площі теплообміну. Недоліком такого способу є те, що за досягнення відпрацьованим теплоносієм в рекуператорі точки роси з нього починає виділятися конденсат, який погіршує гідродинамічні характеристики теплообмінника і вимагає встановлення системи відведення конденсату.

Якість утилізації теплоти, як і якість готового висушеного продукту можна покращити, застосувавши схему з двома теплообмінниками: газоповітряним і газоводяним (Рис.1, б). В цьому випадку теплоносій не викидається в навколишнє середовище, а осушений знову підігрівається в рекуператорі 1 і направляється в калорифер для підігрівання. Висушений продукт (особливо з сільскогосподарської сировини) при цьому отримується значно вищої якості, оскільки не окислюється киснем теплоносія внаслідок його заниженої концентрації.

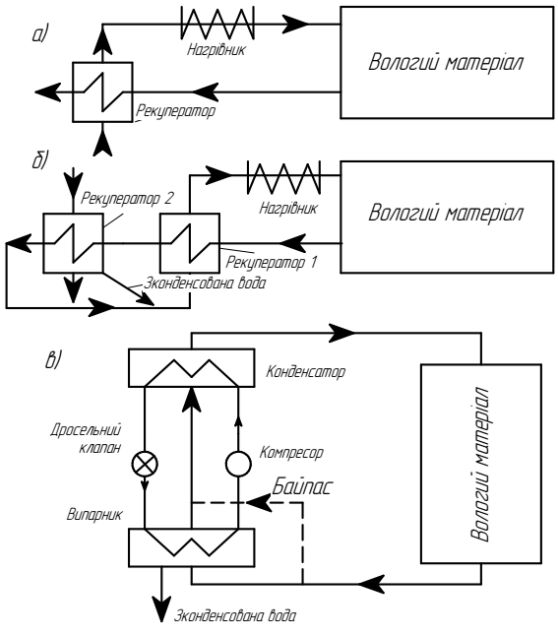


Рисунок 1 – Принципові схеми сушильних установок з утилізацією теплоти:
а) – з рекуператором; б) – з рекуператором і осушувачем
в) – з теплонасосним осушувачем

За високої відносної вологості відпрацьованого теплоносія найбільш ефективним буде застосування теплонасосного осушувача з байпасуванням повітря. Застосування байпасу і проходження частини повітря повз випарник збільшує температуру повітря перед конденсатором і тим самим знижуватиме кількість теплоти необхідну для нагрівання.

На Рис.2 представлено питоме енергоспоживання в сушильних установках з різними типами утилізаційних пристроїв [2-4].

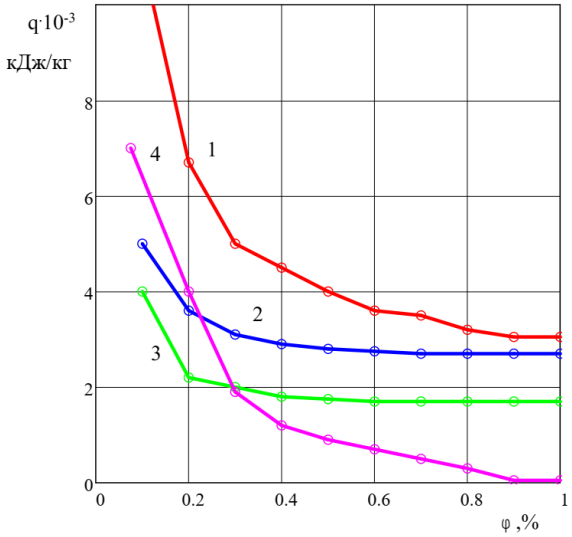


Рисунок 2 – Енергоспоживання сушильних установок з утилізацією теплоти
1 − відсутність утилізатора; 2 − рекуператор; 3 – рекуператор з осушувачем;
4 − теплонасосний осушувач з байпасуванням повітря

Однак, зі зменшенням вологовмісту відпрацьованого повітря ефективність використання теплового насоса зменшується, і за її значення менше 30% застосування схеми з тепловим насосом стає невигідним. Зумовлено це тим, що зі зменшенням вмісту водяної пари в повітрі зменшується теплота

пароутворення, що призведе до зниження температури кипіння у випарнику. Відповідно, пза сталої температури конденсації зменшиться коефіцієнт перетворення теплоти.

З рисунка видно, що за температури вхідного повітря t_1 = 0 ºС і його відносній вологості 100%, температури відпрацьованого сушильного агента t_2 = 50 ºС і відносній вологості 80% питома витрата енергії для схем з теплонасосним осушувачем становить близько 800 кДж/кг, тоді як для звичайної сушильної установки без утилізатора – близько 3500−4000 кДж/кг.

Висновки

Підвищити коефіцієнт корисної дії сушильного комплексу можна, застосувавши схеми руху теплоносія з теплоутилізаційним обладнанням, це сприяє збереженню паливних ресурсів і збереженню енергії

Використання теплових насосів для утилізації теплоти відпрацьованого теплоносія в сушарках є доцільним лише за вологості теплоносія не менше 30%.

Для ефективного вибору способу утилізації теплоти в камерних сушарках потрібно враховувати такі фактори, як: вартість утилізаційного обладнання, можливість його надійної роботи, простоту експлуатації і ремонту та зміну собівартості висушеної продукції при забезпеченні її необхідної якості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С. Й. Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки : навч. посіб. Вінниця,: ВНТУ. 2008. 98с.

2. Kumar, P., & Singh, R. (2025). Digital twins for energy management in food processing: A case study approach. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 65, 103245. https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103245.

3. Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика : збірник наукових праць. Випуск 4. Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2012. 236 с.

4. Савченко М. Ю. Енергоменеджмент та енергоаудит переробних та харчових підприємств: навч. посіб. Суми, 2024. 213 с.

Рекомендована до опублікування кафедрою теплоенергетики ВНТУ

Олександр Юрійович Співак – канд. техн. наук, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Назарій Сергійович Педченко – магістрант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nazarpedchenko2003@gmail.com.

Артур Станіславович П'ятак – магістрант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: artur.piatak@gmail.com.

Oleksandr Spivak – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: spivak@vntu.edu.ua.

Nazar Pedchenko – undergraduate t of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nazarpedchenko2003@gmail.com.

Artur Piatak – undergraduate of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: artur.piatak@gmail.com.

УДК 628.51

Н. Д. Степанова [1]
М. В. Храмцов [1]
М. О. Паламарчук [1]

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ І УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ В КОТЕЛЬНЯХ НА БІОМАСІ

[1] Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто актуальні проблеми підвищення ефективності роботи теплогенераторів на біомасі шляхом вдосконалення технологій очищення та утилізації теплоти відхідних газів. Проаналізовано сучасні методи зменшення вмісту шкідливих домішок і пилу, а також шляхи інтеграції систем рекуперації теплоти для підвищення загального енергетичного ККД. Запропоновано технологічні рішення, адаптовані до умов України з урахуванням сучасних викликів, зокрема впливу воєнного стану та необхідності дотримання посилених вимог щодо моніторингу викидів парникових газів.

Ключові слова: біомаса, теплогенератор, відхідні гази, очищення, утилізація теплоти, рекуперація, комбіноване виробництво теплоти і електроенергії (ТЕЦ), енергетична безпека.

Abstract

The paper considers topical issues of improving the efficiency of biomass heat generators by improving technologies for cleaning and utilizing waste gas heat. Modern methods of reducing the content of harmful impurities and dust are analyzed, as well as ways to integrate heat recovery systems to increase overall energy efficiency. Technological solutions adapted to the conditions of Ukraine are proposed, taking into account current challenges, in particular the impact of martial law and the need to comply with stricter requirements for monitoring greenhouse gas emissions

Keywords: biomass, heat generator, waste gases, purification, heat utilization, recovery, combined heat and power (CHP) production, energy security.

Вступ

Світова тенденція до декарбонізації економіки та зростання цін на традиційні палива роблять використання біомаси все більш привабливим для генерації теплоти. Однак, процес спалювання біомаси, особливо з високим вмістом вологи, супроводжується утворенням великих обсягів відхідних газів зі значною температурою, що призводить до втрат енергії та забруднення навколишнього середовища. Для України ця проблема є особливо актуальною [1-3] у контексті пошкодження російськими атаками ключових об'єктів відновлюваної енергетики. Відновлення та модернізація таких об’єктів вимагає впровадження передових технологій.

Основними проблемами при експлуатації теплогенераторів на біомасі є наявність у димових газах твердих часток (золи), оксидів сірки, азоту та вуглецю, а також конденсованих смолистих сполук. Ці домішки не тільки знижують ефективність роботи обладнання, викликаючи корозію та засмічення каналів, але й ускладнюють процес утилізації теплоти. Сучасний ринок біоенергетики демонструє стале зростання. Це зростання стимулює розвиток передових технологій, таких як комбіноване виробництво теплоти і електроенергії (ТЕЦ), газифікація та вдосконалені системи очищення.

Метою роботи є аналіз існуючих та розробка пропозицій щодо вдосконалення технологій очищення і рекуперації теплоти відхідних газів від теплогенераторів на біомасі з урахуванням сучасних глобальних тенденцій та специфічних умов України.

Результати дослідження

Відхідні гази від теплогенераторів на біомасі характеризуються складною хімічною структурою, що вимагає застосування комплексу методів очищення.

Циклони є найпростішим та найпоширенішим рішенням для видалення грубодисперсних часток золи. Принцип дії заснований на використанні відцентрової сили для відділення твердих частинок від

газового потоку. Незважаючи на простоту та низьку вартість, ефективність циклонів для уловлення дрібнодисперсних часток (менше 10 мкм) та аерозолів смол є недостатньою, тому вони зазвичай використовуються як перший ступінь очищення.

Електрофільтри є високоефективним способом видалення дрібнодисперсного пилу. Вони працюють за принципом іонізації частинок у електричному полі високої напруги з подальшим їх осадженням на електродах. Ефективність електрофільтрів може сягати 99,9% для часток розміром понад 1 мкм. Недоліком є висока вартість обладнання, його громіздкість та чутливість до електричних властивостей пилу та хімічного складу газів.

Скрубери є одним з найуніверсальніших рішень для одночасного видалення пилу, діоксиду сірки (SO_2) та розчинних летких органічних сполук. Принцип дії полягає в промиванні газової суміші рідиною (зазвичай водою або розчинами лугу), в результаті чого забруднення переходять у рідку фазу. Ефективність скрубера значно залежить від вибору робочої рідини та конструкції апарату (насадочні, тарельчаті, форсуночні). Для підвищення ефективності видалення смолистих сполук перспективним є використання в якості абсорбенту органічних рідин, наприклад, вуглеводневих олій, що дозволяє ефективно поглинати ароматичні вуглеводні.

Рукавні фільтри є високоефективними для тонкого очищення газів від пилу. Вони працюють за принципом фільтрації газу через тканину, яка затримує частинки. Ефективність може перевищувати 99,99%. Недоліки: чутливість до високих температур і вологи, необхідність регулярної заміни фільтрувального матеріалу, ризик утворення смолистих відкладень, що знижують проникність.

Після ефективного очищення відхідних газів відкриваються можливості для утилізації теплоти, що міститься в цих газах. Найбільш розповсюджена температура газів на виході з котла може сягати 150–250°С і вище. Без рекуперації ця енергія безповоротно втрачається.

Із заходів утилізації теплоти відомі : рекуперативні теплообмінники, конденсаційні теплообмінники, інтеграція в системи комбінованого виробництва (ТЕЦ), комплексний підхід та перспективні напрями розвитку.

Найпростішим рішенням є встановлення газо-повітряного або газо-водяного теплообмінника для підігріву повітря горіння або технологічної води. Це дозволяє повернути до 20-30% теплоти назад у технологічний процес, знижуючи витрати палива. Однак, при значному вмісті вологи в газах, їхня температура не може бути знижена нижче точки роси, що обмежує ефективність.

Більш досконалим рішенням є використання конденсаційних теплообмінників, які дозволяють охолоджувати гази нижче температури точки роси (зазвичай до 40-60°С). При цьому відбувається конденсація водяної пари, що супроводжується виділенням додаткової кількості теплоти – теплоти пароутворення. Це дозволяє значно підвищити загальний ККД теплогенераторної установки на 10-15% . Отриману теплоту можна використовувати для потреб опалення, гарячого водопостачання або технологічних процесів. Для підвищення ефективності роботи конденсаційних теплообмінників необхідно інтегрувати їх у систему попереднього очищення газів, що дозволяє уникнути інтенсивного забруднення поверхонь теплообміну смолистими відкладеннями.

Особливий потенціал для України становлять системи комбінованого виробництва теплоти і електроенергії (ТЕЦ) на біомасі. Дослідження, проведене в умовах, аналогічних українським, показує, що незважаючи на відносно високу собівартість електроенергії, такі системи можуть стати економічно життєздатними за рахунок високої утилізації теплоти та підвищених "зелених" тарифів . Утилізація теплоти відхідних газів є ключовою ланкою для підвищення ефективності таких ТЕЦ [4].

Найбільш ефективним для вирішення проблеми відхідних газів теплогенераторів на біомасі є комплексний підхід, що поєднує послідовні стадії очищення та утилізації теплоти. Технологічна схема повинна включати: попереднє очищення (циклони), глибоке очищення (електрофільтри, рукавні фільтри та скрубери), утилізація теплоти (використання рекуперативних та конденсаційних теплообмінників для максимального відбору теплоти).

Серед перспективних напрямів для подальшого вдосконалення можна виділити:

- створення гібридних енергетичних систем, де біомасний теплогенератор працює в парі з сонячними колекторами або тепловими насосами, дозволяє забезпечити стабільне енергопостачання;
- впровадження систем моніторингу в реальному часі та використання алгоритмів штучного інтелекту для оптимізації режимів горіння, очищення та рекуперації дозволяє максимізувати ефективність і мінімізувати витрати;
- розробка технологій утилізації золи та стоків від скруберів, наприклад, використання золи як

мінерального добрива або в будівництві.

Висновки

Жодна окрема технологія не може забезпечити повне очищення та утилізацію теплоти. Найкращих результатів досягають при послідовному поєднанні методів механічного, електричного та мокрого очищення з подальшим використанням рекуперативних і конденсаційних теплообмінників.

Впровадження конденсаційних технологій дозволяє утилізувати не тільки явну, але й приховану теплоту пароутворення, що суттєво підвищує загальний ККД установки.

Розвиток технологій очищення та утилізації теплоти відхідних газів є стратегічно важливим для України, яка має значний потенціал біомаси аграрного походження. Це сприяє енергетичній незалежності, децентралізації та виконанню міжнародних зобов'язань з декарбонізації.

Подальший розвиток пов'язаний з інтеграцією біоенергетики в гібридні системи, впровадженням цифрових інструментів оптимізації та розробкою маловідходних технологій переробки відходів самого процесу очищення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Перспективи розвитку ринку біомаси в ЄС і Україні. Вплив використання біомаси на зміну клімату. URL: https://uabio.org/materials/328/. (дата звернення 17.11.2025 р.)

2. Степанова Н.Д., Глеба Я.О., Чорнобай О.С. Екологічні та економічні питання переведення промислової парової котельні на спалювання біомаси. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефефктивність в галузях економіки України – 2023* , 21 – 23 листопада 2023 р., Вінниця: ВНТУ, URL : https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2023/paper/view/19481 (дата звернення 17.11.2025)

3. Степанова Н.Д., Храмцов М. В. Ефективність переведення водогрійної опалювальної котельні на спалювання біомаси. *Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (2025),* 24.03.2025 – 27.03.2025, Вінниця: ВНТУ, URL : https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/24270/20018 (дата звернення 17.11.2025)

4. Долінський А. А., Кліменко В. Н. Когенерація – нові потужності для енергетики. *Енергозбереження Поділля*. 2004. № 2. С. 53–59.

Степанова Наталія Дмитрівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Stepanovand@i.ua.

Храмцов Максим Володимирович, студент групи ТЕ-24м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Паламарчук Микола Олександрович, аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: padamarcukn@gmail.com

Stepanova Nataliya D., Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsya, e-mail: Stepanovand@i.ua

Khramtsov Maksym V., student of TE-24m group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Palamarchuk Mykola O., postgraduate student of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : padamarcukn@gmail.com

УДК 697.32

Н. Д. Степанова
М. В. Храмцов

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНІ ШЛЯХОМ ПЕРЕХОДУ НА СПАЛЮВАННЯ БІОМАСИ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У роботі розглянуто технічні та економічні аспекти модернізації водогрійної котельні шляхом впровадження технології спалювання біомаси, зокрема деревних паливних гранул. Проведено порівняння роботи котельні в існуючій конфігурації та при різних варіантах заміни газових котлів на твердопаливні. На основі математичного моделювання оцінено зміну коефіцієнта корисної дії та обсяги економії природного газу протягом опалювального та міжопалювального періодів. Виконано техніко-економічний розрахунок модернізованих схем і визначено найбільш ефективний варіант.

Ключові слова: водогрійна котельня, природний газ, біомаса, деревні гранули, енергоефективність.

Abstract

The paper considers the technical and economic aspects of modernizing a water heating boiler room by introducing biomass combustion technology, in particular wood fuel pellets. A comparison was made between the operation of the boiler room in its existing configuration and various options for replacing gas boilers with solid fuel boilers. Based on mathematical modeling, changes in efficiency and natural gas savings during the heating and inter-heating periods were estimated. A technical and economic calculation of the modernized schemes was performed and the most effective option was determined.

Keywords: hot water boiler, natural gas, biomass, wood pellets, energy efficiency.

Вступ

Потужний розвиток відновлюваної енергетики та необхідність скорочення споживання викопного палива зумовлюють активний пошук рішень щодо підвищення ефективності котельних установок. Одним із перспективних напрямів є заміна газових котлів на обладнання, що спалює біомасу. Особливої уваги заслуговують деревні паливні гранули, що характеризуються високою теплотворною здатністю, екологічною чистотою та стабільністю процесу горіння.

Використання біомаси у системах теплопостачання дозволяє зменшити обсяг викидів парникових газів, знизити витрати на виробництво теплоти та посилити енергетичну незалежність підприємств. Разом з тим, впровадження твердопаливних котлів потребує комплексного аналізу технічних характеристик, теплового балансу та економічних показників.

Метою роботи є дослідження можливості скорочення споживання природного газу у водогрійній котельні шляхом переходу на біопаливо та визначення найбільш вигідного варіанту модернізації.

.

Основна частина

Розглянута у роботі в якості прикладу опалювальна водогрійна котельня, що працює на природному газі. Існуюча теплова схема котельні містить котли КОЛВІ-250 потужністю 305 кВт (2 шт.) та котел К0ЛВІ-ТЕРМ0НА КТН 50СЕТ потужністю 50 кВт (1 шт.). Останній забезпечує потреби гарячого водопостачання влітку.

Для зменшення споживання природного газу на котельні розглянуто варіанти використання біомаси у якості палива, а саме тріску деревини або паливні гранули з деревини.

Якщо проаналізувати ефективність використання наведених видів біомаси то для тріски деревини вона суттєво залежить від вологості, зменшення якої потребує підведення додаткової енергії, тоді як паливні гранули (за належного зберігання) мають досить низьку вологість 8 – 12 %, що забезпечує високу теплоту згорання.

За екологічним впливом обидва види палива відносяться до CO_2 нейтральних, але під час спалювання тріски деревини можливі більші викиди твердих часток, тоді як спалюючи паливні гранули утворюються менші викиди NOx та летючих сполук.

Звертаючи увагу на логістику, можна сказати, що паливні гранули мають більш щільну форму, що зменшує витрати на транспортування на великі відстані, а ефективність тріски деревини різко

падає за умови транспортування на відстані більше 400 км.

Аналізуючи технологію спалювання, можна стверджувати що можлива повна автоматизація процесів завантаження і горіння паливних гранул, тоді як під час використання тріски деревини існують труднощі із автоматизацією.

Щодо експлуатаційних характеристики, то тріска деревини має меншу вартість, але витрати на обслуговування менші за використання паливних гранул з деревини.

Оскільки на підприємстві пріоритетними є простота експлуатації, чистота та стабільна якість палива, то перевага віддана паливним гранулам із деревини. Вони ідеальні для автоматичних котлів, де важлива мінімальна участь людини в процесі генерації теплоти.

Розглянуто варіанти заміни одного або двох газових котлів на котли, що спалюють паливні гранули з деревини .

Для аналізу роботи котельні використано математичну модель теплової схеми [1-3]. Досліджено існуючий стан та чотири варіанти модернізації, що відрізняються навантаженням і порядком роботи газових та твердопаливних котлів.

Варіант 1 передбачає заміну одного газового котла потужністю 305 кВт на твердопаливний потужністю 350 кВт, який працюватиме із сталим навантаженням 350 кВт, а газові вмикатимуться у разі потреби. Згідно із варіантом 2 вводиться заміна газового котла потужністю 50 кВт на твердопаливний, який працюватиме із сталим навантаженням, а інші газові котли включаються за необхідності. Відмінність варіанту 3 і 2 полягає у тому, що твердопаливний котел потужністю 50 кВт працює влітку із сталим навантаженням, а взимку вмикається, коли не вистачає потужності двох газових по 305 кВт. У варіанті 4 два твердопаливних котли потужністю 350 кВт та 50 кВт працюють із сталим навантаженням, а один газовий котел (305 кВт) вмикається за потреби [4].

Зміну витрати палива на котельні (природного газу та паливних гранул) протягом опалювального періоду за результатами математичного моделювання показано на рис. 1.

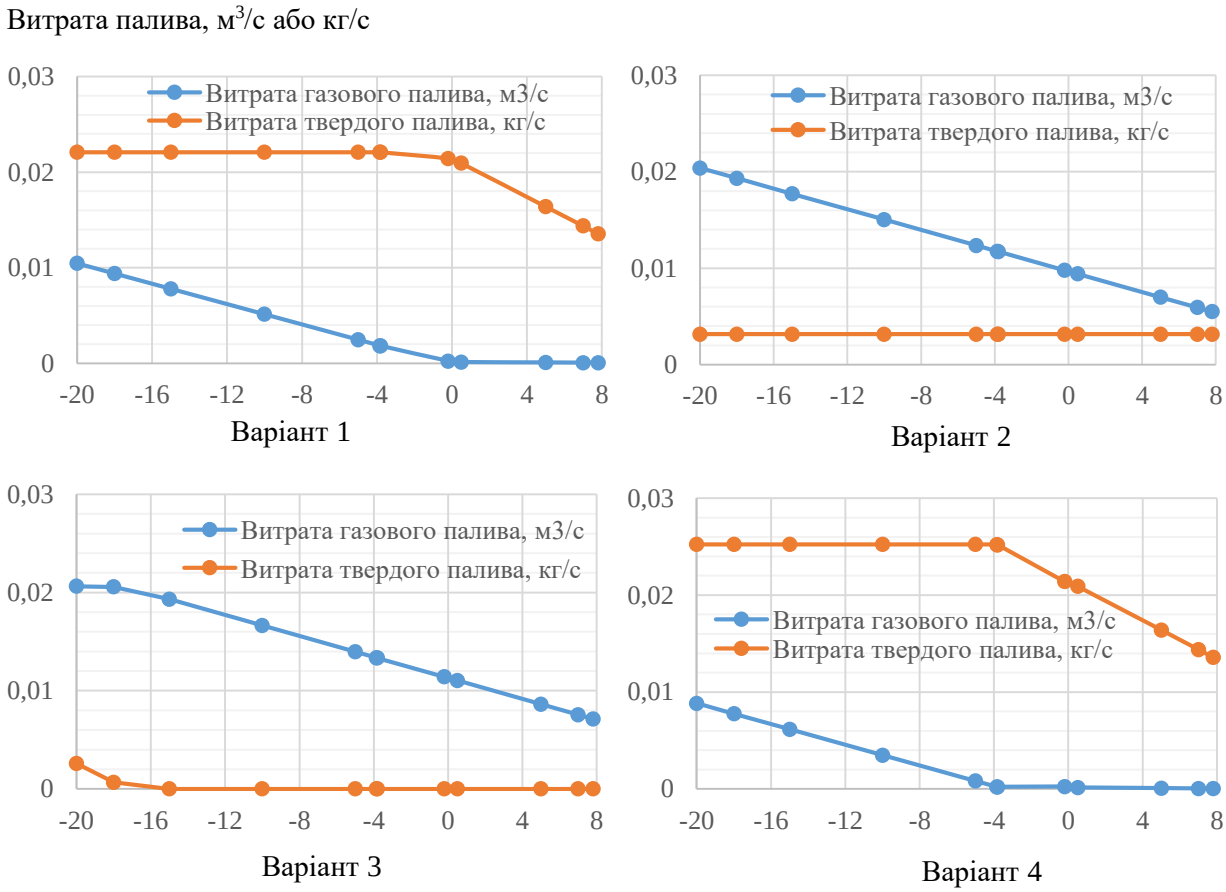


Рисунок 1 – Залежність витрати газового та твердого палива для різних температур зовнішнього повітря

Розрахунок залежності коефіцієнта корисної дії від температури зовнішнього повітря показав:

- у діючій схемі ККД становить 0,857…0,858 у опалювальний період та 0,901 – у міжопалювальний;
- при роботі одного твердопаливного котла ККД знижується на 1,75…3,27 %;
- при переведенні на тверде паливо двох котлів ККД зменшується на 2,0…3,28 %.

Аналізуючи попередню інформацію встановлено, що заміна одного або двох газових котлів на спалювання паливних гранул, породжує зменшення споживання природного газу, при цьому знижується ККД котельні по відпуску теплоти.

Для оцінки економічної привабливості виконано розрахунок за цінами: газ – 19,2 грн/м³, пелети – 6,2 грн/кг, електроенергія – 8 грн/кВт·год.

Порівняння результатів показало, що всі варіанти модернізації, окрім варіанту 3, є економічно доцільними. Найменший термін окупності (3,74 роки) має варіант 1 – заміна одного газового котла на твердопаливний із роботою на повному навантаженні до температури зовнішнього повітря близько 0 °С.

Висновки

У роботі проаналізовано ефективність переведення водогрійної котельні на спалювання деревних гранул. Математичне моделювання та техніко-економічні розрахунки показали:

- використання твердопаливних котлів дозволяє значно скоротити споживання природного газу;
- зростання частки теплової енергії, виробленої з біомаси, супроводжується невеликим зниженням ККД;
- економічна доцільність модернізації залежить від рівня завантаження твердопаливних котлів;
- найбільш ефективним є варіант встановлення одного котла на біомасі з максимальною продуктивністю у холодний період та регульованою роботою за підвищення температури зовнішнього повітря.

Отримані результати підтверджують доцільність використання біомаси як альтернативного та економічно вигідного палива для сучасних котелень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С. Й. , Чепурний М. М. , Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2005. 137с.

2. Степанов Д. В., Степанова Н. Д. Математичні методи і моделі теплоенергетичного обладнання: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 81 с.

3. Лялюк О. Г., Ратушняк О. Г. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в теплоенергетиці : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2020. 93 с.

4. Степанова Н.Д., Храмцов М. В. Ефективність переведення водогрійної опалювальної котельні на спалювання біомаси. *Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (2025),* 24.03.2025 – 27.03.2025, Вінниця: ВНТУ, URL : https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/24270/20018 (дата звернення 17.11.2025)

Степанова Наталія Дмитрівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Stepanovand@i.ua

Храмцов Максим Володимирович, студент групи ТЕ-24м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: laun7758@gmail.com .

.

Stepanova Nataliya D., Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Stepanovand@i.ua

Khramtsov Maksym V., student of TE-24m group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: laun7758@gmail.com .

УДК 621.165

Д. В. Степанов
В. В. Мартиненко

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ORC-УСТАНОВКИ З НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИМ ДЖЕРЕЛОМ ТЕПЛОТИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Обгрунтована актуальність підвищення енергоефективності автономних джерел теплопостачання комунальних об'єктів та впровадження когенераційних технологій енерговиробництва. Виконано аналіз властивостей низькокиплячого робочого тіла та змодельовано термодинамічний цикл ORC для утилізації теплоти відхідних газів котельні. Отримані результати можуть бути використані для проектування енергоефективного екологічно чистого обладнання для автономного енергозабезпечення.

Ключові слова: органічний цикл Ренкіна, низькокипляче робоче тіло, термодинамічний цикл, автономне енергозабезпечення

Abstract

The relevance of increasing the energy efficiency of autonomous sources of heat supply of municipal facilities and the introduction of cogeneration technologies for energy production is substantiated. The properties of a low-boiling working fluid are analyzed and the ORC thermodynamic cycle is modeled for the utilization of heat from boiler exhaust gases.

The results obtained can be used to design energy-efficient, environmentally friendly equipment for autonomous energy supply.

Keywords: organic Rankine cycle, low-boiling working fluid, thermodynamic cycle, autonomous energy supply

Вступ. Постановка задачі

Важка ситуація в країні з енергоносіями викликана геополітичними подіями, ведення військових дій та терористичних актів на території держави створює нові проблеми для енергосистеми країни. З огляду на залежність держави від експорту енергоносіїв, нестабільність мережі та дефіцит виробленої енергії змушує шукати вирішення та альтернативних можливостей забезпечити населення та підприємства енергією як електричною, так і тепловою. Вирішенням цієї проблеми може стати автономна когенерація, що дає можливість стати менш залежним від централізованого енергопостачання. Розміщення дизель генераторів різної потужності, використання відновлювальних джерел енергії дає більш гнучко реагувати на складну ситуацію в енергетиці [1, 2].

З іншого боку, автономні системи опалення невеликої потужності для шкіл, лікарень та інших громадських об'єктів, що працюють на природному газі та на біомасі подекуди мають недостатньо високу ефективність через, в першу чергу, низький ККД котлів, що пояснюється значними втратами теплоти з відхідними газами.

Останнім часом актуальності набувають енерготехнології органічного циклу Ренкіна (ORC), що дозволяють максимально ефективно перетворювати низькотемпературну теплоту в діапазоні 70–300 °С у корисну електричну енергію. Такі системи здатні працювати на теплоті димових газів, технологічних викидів у промисловості, тепла геотермальних вод, водогрійних і парових біомасових і біогазових котелень, газових турбін, а також теплової енергії сонячних колекторів, забезпечуючи енергетичну незалежність та підвищення надійності живлення об'єктів [3, 4].

Важливою перевагою ORC-циклів є їхня екологічність. Процес утилізації теплоти відбувається без додаткового спалювання палива, що дає змогу зменшити загальні викиди CO_2. Сучасні органічні робочі тіла мають низький потенціал руйнування озонового шару та мінімальний вплив на кліматичні зміни. Крім того, ORC-установки працюють при порівняно низьких тисках, що підвищує їхню безпечність та знижує потребу в складному високотисковому обладнанні.

ORC-технології дозволяють максимально ефективно використовувати місцеві енергоресурси та забезпечувати додаткові джерела генерації електроенергії. Особливо це стосується біомасових котелень, оскільки комплексне використання теплової енергії таких установок здатне суттєво підвищити їхню економічну ефективність. Модульність, компактність та простота експлуатації ORC-систем роблять їх оптимальним рішенням для умов децентралізованої енергетики, невеликих промислових підприємств, комунальних котелень.

Метою роботи є оцінка можливості впровадження системи на основі органічного циклу Ренкіна (ORC) для забезпечення автономного електропостачання Ярмолинецької районної лікарні.

Результат дослідження

В даній роботі розглядається варіант вироблення власної електроенергії для закладу охорони здоров'я – Ярмолинецької районної лікарні, оскільки стабільне електропостачання є критично важливим для даного медичного закладу. Джерелом низькотемпературної теплоти для ORC-циклу обрано відхідні гази автономної котельні, що обслуговує цей медичний заклад.

На основі залежностей, наведених в [5 - 9], створено математичну модель термодинамічного циклу ORC процесу. За основу взято низькокипляче робоче тіло (НРТ) гідрофторалефін (R1233 zd (E)) з такими параметрами:

- ✓ тиск після насоса 9,335 бар;
- ✓ тиск перед насосом 2,156 бар;
- ✓ питомий об'єм в насосі 1225,6 кг/м^3;
- ✓ перегрів 5 К;
- ✓ температура конденсації 313 К;
- ✓ температура випаровування 368 К;
- ✓ масова витрата газів 0,5 кг/с;
- ✓ ККД турбіни 92 %;
- ✓ ККД насоса 89%.

На основі термодинамічного циклу отримано та побудовано Т – S діаграму, що відображає процес, що відбувається в ORC модулі (рис. 1).

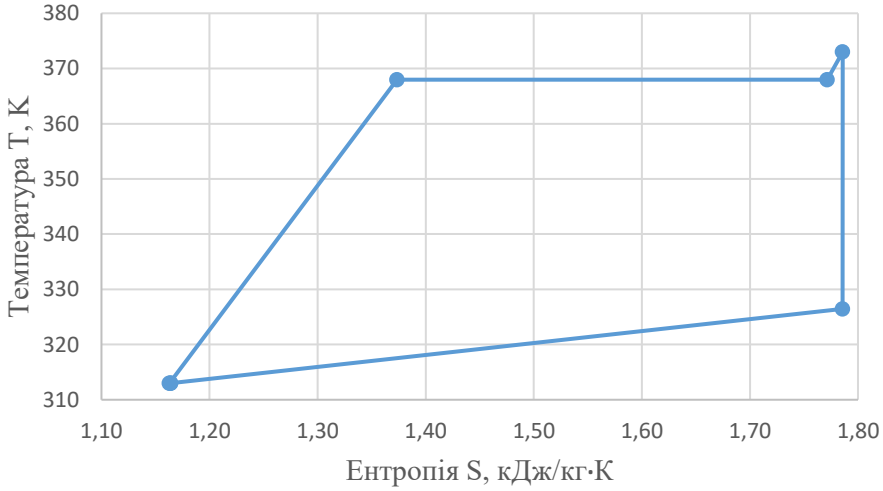


Рисунок 1 – Діаграма циклу ORC

Провівши математичне моделювання отримано ККД процесу, що становить 13,3%. Це є базовим значенням для ORC контурів малої потужності, потужність на валу становить 12,9 кВт, робота турбіни 13,3 кВт, відповідно, тепловідведення процесу 93,2 кВт.

Висновки

Проведений аналіз сучасного стану енергетичної системи країни свідчить про нагальну потребу в підвищенні енергетичної незалежності та надійності електропостачання, особливо для критично важливих об'єктів, таких як заклади охорони здоров'я. В таких умовах особливої актуальності набувають автономних джерел енергії та когенераційні технології.

Одним із перспективних рішень є використання органічного циклу Ренкіна (ORC), що дозволяє

ефективно перетворювати низькотемпературну теплоту відхідних газів у корисну електричну енергію. З огляду на значні теплові втрати традиційних котелень, інтеграція ORC-модулів є доцільним способом підвищення загального ККД систем теплопостачання та одночасного отримання додаткової генерації електроенергії без спалювання додаткового палива. ORC-технології також вирізняються екологічністю, безпечністю та можливістю роботи на органічних робочих тілах з низьким впливом на довкілля.

У роботі виконано моделювання термодинамічного ORC-процесу на основі теплоти димових газів автономної котельні Ярмолинецької районної лікарні. Для моделювання обрано низькокипляче робоче тіло R1233zd(E).

За результатами моделювання отримано ККД циклу на рівні 13,3 %, потужність на валу становить 12,9 кВт, а теплова потужність, що відводиться, 93,2 кВт.

Отримані значення підтверджують енергетичну, економічну та екологічну доцільність застосування ORC-технології для забезпечення автономного електропостачання досліджуваного об'єкта та демонструють перспективність подальшої розробки та впровадження таких модулів у системах теплопостачання невеликих котелень комунальних установ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Семененко О., Куравський В., Нестеренко Д. *Енергетична безпека як ключовий фактор економічної стійкості України під час війни* // *Економіка і суспільство*. – 2025. – Т. 12, № 1. – URL: https://economics-msu.com.ua/en/journals/tom-12-1-2025/yenergetichna-bezpeka-yak-klyuchovy-faktor-ekonomichnoyi-stiykosti-ukrayini-pid-chas-viyni
2. Орєхова А., Клименко М., Хоролець Б. Проблеми та особливості управління альтернативною енергетикою в Україні під час повномасштабної війни // Економіка та суспільство. – 2024. – № 60. – URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4087
3. A Comprehensive Review of Organic Rankine Cycles [Електронний ресурс] // *Processes*. – 2023. – URL: https://www.mdpi.com/2227-9717/11/7/1982
4. Method of Selecting the Working Body for ORC Cycles of Flue Gas Heat Recovery [Електронний ресурс] // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. – 2023. – URL: https://scinews.kpi.ua/article/view/321969
5. Шубенко О.Л. та ін. Утилізація теплоти димових газів котельні шляхом використання органічного циклу Ренкіна // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, № 11(1287) 2018. – С.4-11.
6. Бахтін В. І. Технічна термодинаміка: конспект лекцій по курсу «Технічна термодинаміка» для студентів ЗДІА спеціальності 7.090510 «Теплоенергетика» / уклад. В. І. Бахтін. – Запоріжжя: ЗДІА, 2005. – 128 с.
7. Aungier R. H. *Turbine Aerodynamics: Axial-Flow and Radial-Inflow Turbine Design and Analysis*. – New York: ASME Press, 2005. – 389 p.
8. Paseka A. D., Prasetyo P., Bonar A., Arifin M. *A Geometric Design Method of Radial Inflow Turbine from 0D to 3D for Organic Rankine Cycle Micro Power Generation* // *ASEAN Engineering Journal*. – 2022. – Vol. 12, No. 1. – P. 131–139. – URL: https://doi.org/10.11113/aej.v12.17244
9. Степанов Д. В., Степанова Н. Д. Математичні методи і моделі: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / уклад. Д. В. Степанов, Н. Д. Степанова. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 44 с.

Степанов Дмитро Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Stepanovdv@ukr.net

Мартиненко Віталій Вікторович, студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет

Stepanov Dmitro, candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of heat power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Stepanovdv@ukr.net

Martynenko Vitalii, student on Department of heat power engineering, Vinnytsia National Technical University

УДК 621.577

Н. Д. Степанова
К. П. Ільчук

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ВІДНОВЛЮВАНОГО ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОТИ ДЛЯ БАГАТОКВАРТИРНОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ У М. ВІННИЦЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі обґрунтовується вибір оптимального відновлюваного джерела теплоти для багатоквартирного житлового будинку в м. Вінниця. Проаналізовано техніко-економічні характеристики теплових насосів типів «повітря-вода», «ґрунт-вода» та «вода-вода». Встановлено, що для об'єкта потужністю близько 1 МВт найбільш ефективним рішенням є каскадна система теплових насосів «повітря-вода» із резервним електричним котлом. Це забезпечує оптимальний баланс між капітальними витратами та експлуатаційною ефективністю, та зниження викидів CO_2. Запропоновано комплекс додаткових енергоефективних заходів для максимізації ефективності системи.

Ключові слова: теплові насоси, енергоефективність, багатоквартирний житловий будинок, теплопостачання, опалення, відновлювані джерела енергії, техніко-економічне обґрунтування, система "повітря-вода".

Abstract

This paper justifies the choice of the optimal renewable heat source for a multi-apartment residential building in Vinnytsia. The technical and economic characteristics of air-to-water, ground-to-water, and water-to-water heat pumps are analyzed. It has been established that for a facility with a capacity of about 1 MW, the most effective solution is a cascade system of air-to-water heat pumps with a backup electric boiler. This provides an optimal balance between capital costs and operational efficiency, as well as a reduction in CO_2 emissions. A set of additional energy efficiency measures is proposed to maximize the efficiency of the system.

Keywords: heat pumps, energy efficiency, multi-family residential building, heat supply, heating, renewable energy sources, technical and economic justification, air-water system.

Вступ

Сучасні тенденції розвитку енергетики дедалі більше орієнтуються на підвищення енергоефективності [1] та скорочення викидів парникових газів, що обумовлено як глобальними кліматичними викликами, так і необхідністю забезпечення енергетичної безпеки окремих країн та міст. Україна, у своїй стратегії інтеграції до європейського енергетичного простору, робить акцент на масштабному впровадженні відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у секторі теплопостачання, який залишається одним із найбільш енергоємних. У контексті зростання вартості традиційних енергоносіїв та необхідності модернізації застарілих теплових мереж особливої актуальності набувають локальні, децентралізовані системи теплопостачання на основі екологічно чистих технологій.

Одним із найбільш перспективних напрямів переходу до низьковуглецевого теплопостачання є застосування теплових насосів, здатних ефективно акумулювати теплоту низькопотенційних природних джерел – атмосферного повітря, ґрунту, підземних та поверхневих вод. Такі системи забезпечують можливість суттєвого зменшення споживання природного газу та електроенергії, а також скорочення експлуатаційних витрат на опалення житлових будівель. Світовий досвід показує, що теплові насоси, інтегровані у централізовані та локальні системи теплопостачання, здатні працювати з високими сезонними коефіцієнтами перетворення та забезпечувати будівлі тепловою енергією протягом усього опалювального періоду.

Для українських міст, зокрема середніх за масштабом урбанізованих територій, ключовим завданням стає вибір оптимального відновлюваного джерела теплоти з урахуванням місцевих кліматичних умов, рівня урбанізації, технічної інфраструктури та специфічних характеристик будівельного фонду. Місто Вінниця, яке активно впроваджує сучасні енергетичні технології та бере участь у міжнародних програмах з підвищення енергоефективності, є показовим прикладом території, де можливості використання теплових насосів виглядають перспективними та економічно обґрунтованими. Особливої

уваги заслуговують багатоквартирні житлові будинки, що є основними споживачами тепла і водночас демонструють значний потенціал для використання екологічно чистих технологій.

Метою роботи є аналіз потенціалу та обґрунтування вибору найбільш ефективного виду відновлюваного джерела теплоти для теплопостачання багатоквартирного житлового будинку у м. Вінниця шляхом порівняння технічних, енергетичних, економічних та екологічних характеристик теплових насосів різних типів.

Результати дослідження

Сучасні дослідження в галузі теплопостачання одностайно підкреслюють зростаючу роль теплових насосів як ключової технології для скорочення викидів CO_2 та переходу до відновлюваних джерел теплоти [2]. Європейські аналітичні звіти вказують, що теплові насоси стають основою політики декарбонізації, а їхній ринок швидко розвивається, хоча ефективність рішень значною мірою залежить від умов експлуатації та правильного вибору джерела теплоти. Один із центральних висновків сучасної літератури – необхідність орієнтуватися на сезонний коефіцієнт перетворення, а не на лабораторні COP, оскільки саме він визначає реальні витрати електроенергії та економічність системи.

Теплові насоси типу «повітря–вода» є найбільш поширеними та привабливими завдяки невисокій вартості встановлення та простоті монтажу. Дослідження показують, що їх сезонний COP зазвичай перебуває в діапазоні 2,5–3,5 у помірному кліматі, але ефективність суттєво знижується при морозах нижче –5…–10 °C. Для таких систем важливими є буферні ємності та можливість резервного теплового джерела для пікових навантажень.

Системи ґрунт–вода демонструють одну з найвищих сезонних ефективностей серед доступних технологій – сезонний COP переважно сягає 3,5–5,0. Стабільність температури ґрунту робить їх особливо перспективними для базового теплопостачання. Проте література наголошує на значних початкових інвестиціях у буріння геотермальних зондів та обмеженнях для щільної міської забудови, де монтаж може бути ускладнений або технічно неможливий.

Застосування теплових насосів вода–вода з використанням поверхневих водойм (річок та озер) набуває популярності у країнах Європи, насамперед у містах поблизу водойм. Перевагами таких систем є стабільні температурні умови та високий потенційний сезонний COP (часто понад 4). Водночас наукові джерела підкреслюють необхідність врахування екологічних обмежень: вимоги до температурного впливу на водні екосистеми, очищення води від завислих часток, захисту обладнання від замулення та сезонних коливань рівня води.

Практика свідчить, що найбільш ефективними є комбіновані рішення, де стабільне джерело (ґрунт або річкова вода) покриває базове навантаження, а гнучке повітряне рішення використовується для пікових режимів.

Узагальнюючи вищенаведену інформацію, можна зробити висновок, що всі три типи теплових насосів є технічно доцільними для застосування у житловому секторі, однак оптимальний вибір залежить від локальних природних умов, доступності ресурсів та техніко-економічних характеристик конкретного об’єкта. Для багатоквартирного будинку в умовах міста особливо важливими є фактори доступності площі, близькість водних об’єктів, сезонна динаміка температур та можливості інтеграції з існуючою інфраструктурою.

Проаналізуємо перспективне джерело теплоти для житлового будинку з вбудованими приміщеннями громадського призначення у м. Вінниця, що має такі характеристики: максимальна потужність опалення житлової частини 582 кВт; максимальна потужність опалення приміщень громадського призначення 107 кВт; максимальна потужність системи вентиляції приміщень громадського призначення 83 кВт; потужність гарячого водопостачання 278 кВт. Попередньо виконано розрахунок енергоспоживання (а саме теплоспоживання) даного будинку , яке склало 2511917 кВт·год.

Виконано аналіз переваг і недоліків теплових насосів (ТН) різних типів і можливість їх використання для аналізованого об’єкту, результати якого зведено у табл. 1.

Аналізуючи характеристики енергоспоживання наведеного об’єкту видно, що пікова потужність джерела теплоти для нього має перевищувати 1 МВт.

Беручи до уваги дані, наведені у табл. 1, логічно, що для багатоквартирного будинку потужністю ~1 МВт варіант теплових насосів «повітря-вода» є найбільш реалістичним та економічно доцільним. Вони пропонують оптимальний баланс між капітальними витратами та експлуатаційною ефективністю, особливо для будинків із якісною теплоізоляцією. Сучасні моделі теплових насосів «повітря-

вода» здатні ефективно працювати навіть при низьких температурах, що робить їх прийнятним рішенням для кліматичних умов м. Вінниці.

Таблиця 1 – Порівняння типів теплонасосних систем застосовано щодо об’єкту аналізу

Тип ТН	Переваги	Недоліки	Можливість використання на об’єкті
«Повітря-вода»	- зниження експлуатаційних витрат у порівнянні із газовими котлами 50-75%; - можливість роботи (у сучасних моделях при температурах до -25°С; - відносно низькі капітальні витрати у порівнянні із іншими типами ТН	- залежність ефективності від зовнішньої температури [3]; - потреба в резервному джерелі при екстремальних морозах [4]; - значні експлуатаційні витрати при температурі нижче -5°С	Висока – оптимальний баланс між вартістю встановлення та експлуатації
«Грунт-вода»	- найвища ефективність (COP 4.0+) ; - стабільність цілий рік, незалежність від погодних умов	- найвища вартість встановлення; - складність монтажу в центрі міста; - неможливість буріння для будинку потужністю ~1 МВт	Низька – через неможливість реалізації в міських умовах
«Вода–вода» з використанням поверхневих водойм	- дуже висока ефективність (COP 5.0+); - стабільна температура джерела	- складність отримання дозвільної документації; - висока початкова вартість; - ризик забруднення теплообмінника	Середня – перспективний, але ризикований варіант через регуляторні бар'єри

Крім того для кліматичних умов Вінниці доцільно застосування бівалентної системи, де тепловий насос забезпечує основне опалення, а при температурах нижче -15°С підключається резервне джерело теплоти. Як резерв доцільно використовувати електричний котел, що дозволить знизити капітальні витрати на систему теплових насосів та забезпечити надійність теплопостачання в періоди екстремальних морозів.

Для аналізованого багатоквартирного будинку оптимальним рішенням є вибір промислових теплових насосів «повітря-вода» з наступними характеристиками:

- високотемпературні моделі (до 80°С) - для забезпечення сумісності з існуючими радіаторними системами без необхідності їх повної заміни;
- інверторні компресори - для плавного регулювання потужності та економії електроенергії;
- можливість роботи в каскаді - для забезпечення потрібної потужності та резервування;
- адаптація до низьких температур - здатність ефективно працювати при температурах до -25°С.

Для максимізації ефективності системи теплових насосів рекомендується впровадження додаткових енергоефективних рішень: встановлення сонячної електростанції, встановлення систем вентиляції з рекуперацією теплоти, індивідуальні теплові пункти.

Впровадження системи теплових насосів «повітря-вода» дозволить досягти наступних результатів: економія коштів на опалення та ГВП до 70% порівняно з електричним обігрівом; зниження викидів CO_2 до 60% порівняно з газовими системами; підвищення комфорту мешканців за рахунок стабільної температури в опалювальний період та можливості кондиціонування влітку; збільшення ринкової вартості нерухомості завдяки впровадженню сучасних енергоефективних технологій ; енергетична незалежність від централізованих систем теплопостачання та зменшення впливу коливань цін на традиційні енергоносії.

Висновки

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що теплові насоси «повітря-вода» є оптимальним вибором для теплопостачання багатоквартирного житлового будинку у м. Вінниця з річним енергоспоживанням 2 511 916,9 кВт·год.

Це рішення забезпечує оптимальний баланс між капітальними витратами та експлуатаційною ефективністю та дозволяє значно знизити вплив на довкілля. Для максимізації ефективності рекомендується реалізація проекту в поєднанні з сонячною електростанцією та системою рекуперації теплоти, що дозволить створити сучасний, енергоефективний та майже автономний житловий комплекс.

Реалізація такого проекту дозволить створити надійну та економічно ефективну систему теплопостачання, що відповідає сучасним вимогам енергоефективності та комфорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабенко О. В., Степанов Д. В., Степанова Н. Д. Моделювання енергоефектив-ності житлової будівлі за умов різних джерел теплової енергії. Вісник Хмель-ницького національного університету. Серія «Технічні науки». 2024. №3, т. 2. С. 27-32.

2. Дерев'янко Д. Г., Беспала Н. Г., Богойко І. І., Колодяжна А. О. Перспективи застосування відновлювальних джерел енергії для теплопостачання громадських і житлових будівель в україні. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2022. №2. С. 41 – 47.

3. Степанова, Н. Д., & Снісарчук, Д. М. (2025). Моделювання показників роботи рушникосушарки в низькотемпературній системі створення мікроклімату. Наука та прогрес транспорту, (1(109), 85–92.

4. Іванюк М. М., Степанова Н. Д. Енергоефективність двомодульної системи теплопостачання громадської будівлі у місті Вінниця. *Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)»,* 15.06.2025 – 16.06.2025, Вінниця: ВНТУ, URL : https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/viewFile/23206/19209 (дата звернення 17.11.2025 р.).

Степанова Наталія Дмитрівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Stepanovand@i.ua

Ільчук Катерина Петрівна , студенка групи ТЕ-22б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, katyaIlychuk@gmail.com.

Stepanova Nataliya D., Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, Stepanovand@i.ua

Ilchuk Kateryna P., student of TE-22b group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, katyaIlychuk @gmail.com.

УДК 621.577

Н. Д. Степанова
К. Р. Ковтун

ТЕПЛОВІ НАСОСИ ТИПУ «ПОВІТРЯ–ВОДА» В НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІЙ СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ У М. КИЇВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто застосування теплових насосів типу «повітря–вода» як джерела теплоти для низькотемпературної системи теплопостачання багатофункціонального житлового будинку у м. Київ. Виконано обґрунтування вибору низькотемпературного графіка системи, аналіз ефективності теплових насосів за кліматичних умов Києва, оцінено сезонний коефіцієнт перетворення та потенційну економію первинної енергії. Показано, що тепловий насос типу «повітря–вода» є ефективною альтернативою традиційним джерелам теплоти за умови правильного підбору робочих параметрів.

Ключові слова: тепловий насос, низькотемпературна система, теплопостачання, енергоефективність система "повітря-вода".

Abstract

The paper considers the use of air-to-water heat pumps as a heat source for a low-temperature heat supply system in a multifunctional residential building in Kyiv. The choice of a low-temperature system schedule is justified, the efficiency of heat pumps under the climatic conditions of Kyiv is analyzed, and the seasonal conversion coefficient and potential primary energy savings are estimated. It is shown that an air-to-water heat pump is an effective alternative to traditional heat sources, provided that the operating parameters are selected correctly.

Keywords: heat pump, low-temperature system, heat supply, energy efficiency, air-water system.

Вступ

Сучасні вимоги до енергоефективності та декарбонізації будівель визначають необхідність переходу від традиційних систем теплопостачання до низькотемпературних рішень, орієнтованих на мінімізацію споживання первинної енергії [1]. Одним із найперспективніших напрямів є використання теплових насосів типу «повітря–вода» [2], які здатні забезпечувати теплоту для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання, використовуючи енергію навколишнього середовища.

Тепловий насос «повітря-вода» — це пристрій, який за допомогою електричної енергії відбирає низькопотенційну теплоту з навколишнього повітря та передає її у систему водяного опалення будинку. Його робота ґрунтується на зворотному циклі Карно та включає чотири основні складові: випарник, компресор, конденсатор, розширювальний клапан.

Низькотемпературна система опалення — це система, в якій теплоносій (вода) нагрівається до температури, що зазвичай не перевищує 55°C, а в ідеалі працює в діапазоні 35-45°C. Найпоширеніші приклади: "тепла підлога", "теплі стіни", спеціальні низькотемпературні радіатори. Основний принцип передачі теплоти в таких системах відбувається за рахунок випромінювання (радіації), а не конвекції. Великі площі (підлога, стіни) з невисокою температурою рівномірно "випромінюють" теплоту в приміщення. Так теплоносій у системах з теплою підлогою має температуру 35-45°C, а сама підлога сає температуру 26-28°C. Низькотемпературні системи теплопостачання мають менші теплові втрати: трубопроводи, що транспортують теплоносій з температурою 40°C, мають значно менші втрати тепла в порівнянні з трубами, де температура 70-80°C.

Низькотепературні системи ідеально поєднуються з сучасними високоефективними джерелами теплоти, такими як Теплові насоси, конденсаційні котли, сонячні колектори.

Кліматичні умови м. Київ характеризуються відносно тривалим опалювальним періодом, помірними зимовими температурами та достатньою кількістю днів, коли тепловий насос може працювати з високим коефіцієнтом перетворення. У поєднанні з низькотемпературними системами (температурний графік 40/30 °C або 45/35 °C) такі установки демонструють підвищену ефективність та можуть бути основним джерелом теплоти.

Метою роботи є аналіз можливості та ефективності застосування теплових насосів повітря–вода в системі теплопостачання житлового будинку у м. Київ з урахуванням його теплових навантажень та річного обсягу тепловиробництва.

Результати дослідження

Досліджувана в роботі будівля має комплексне функціональне призначення , теплові навантаження споживачів теплоти наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика споживачів теплоти житлової будівлі

Споживачі / системи	Пікові потужності , кВт		
	Опалення	Вентиляція	Гаряче водопостачання
Житлова частина	430	-	160
Офісні приміщення	15	15,3	
Торговельні приміщенння	20	35	

Згідно із попередніх розрахунків сумарне максимальне теплове навантаження складає 675,3 кВт, а річна потреба у теплоті 6702 ГДж.

Для багатоповерхового будинку з вбудованими комерційними приміщеннями в місті Київ, ключовими критеріями при виборі джерел теплоти є енергоефективність, економічна доцільність, екологічність і стабільність постачання. Серед потенційних джерел теплоти можна виділити теплові насоси типу «повітря-вода», «вода-вода» та «грунт-вода», сонячна енергія (сонячні колектори), централізоване теплопостачання (ТЕЦ, котельні) або газова котельня, котельня на біомасі (паливні гранули, тріска), електроопалення (інфрачервоні панелі, електричні котли), когенераційні установки (одночасне виробництво теплоти і електроенергії).

На основі проведених розрахунків можна сформулювати такі узагальнення:

- мінімальні капітальні витрати на встановлення теплотехнічного обладнання котельні забезпечує варіант із використанням газового котла;
- найменші експлуатаційні витрати спостерігаються у випадку застосування котла на деревних паливних гранулах;
- найвища вартість виробленої теплоти характерна для системи з тепловими насосами типу «ґрунт–вода», тоді як найнижча собівартість досягається при спалюванні деревних гранул.

Враховуючи наведені результати, можна стверджувати, що з позиції сукупних витрат оптимальним джерелом теплоти для котельні 21-поверхового житлового будинку у м. Київ є паливні гранули з деревини. Водночас експлуатація такого обладнання супроводжується низкою додаткових вимог: утворенням золового залишку, необхідністю організації системи очищення димових газів та забезпеченням належних умов зберігання палива, що передбачає підтримання спеціальних параметрів мікроклімату на складі.

Комплексний аналіз економічних і екологічних показників показує, що, незважаючи на вищі початкові витрати, найбільш раціональним рішенням серед розглянутих варіантів є система теплопостачання на основі теплових насосів типу «повітря–вода».

Переваги теплонасосних установок типу «повітря-вода» обумовлені простотою монтажу та відсутністю необхідності виконання свердловин або масштабних земляних робіт. Ефективність таких теплових насосів визначається вибраним температурним графіком та фактичними температурними умовами зовнішнього повітря. На основі аналізу технічних характеристик одного з виробників реверсивних чилерів [3, 4] отримано залежність коефіцієнта перетворення від температури навколишнього середовища та температури конденсації (рис. 1).

Як видно з рис. 1, робота реверсивних чилерів за температур нижчих за –5 °С виробником допускається лише за умов, що температура в конденсаторі не перевищує 45 °С, що повністю відповідає вимогам низькотемпературних систем. Це свідчить про необхідність забезпечення відповідності параметрів роботи споживачів теплової енергії, зокрема рушникосушарок, новим температурним режимам.

З огляду на зменшення температури теплоносія у таких системах виникає потреба у збільшенні площі теплообмінної поверхні нагрівальних приладів.

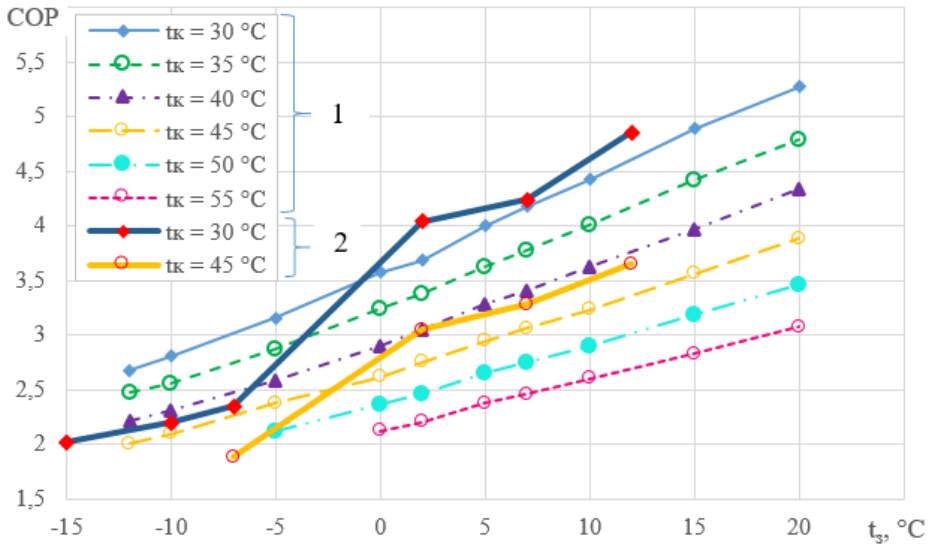


Рисунок 1 – Вплив температури навколишнього середовища на коефіцієнт перетворення (COP) за різних температур зовнішнього повітря $t_э$

Як засвідчують результати розрахунків [5], зниження температури теплоносія на вході у опалювальний прилад з 75 °C до 45 °C зменшує її теплову потужність на 60–64 %, а до 30 °C — на 85,5–87,9 %. Це узгоджується зі зменшенням середньологарифмічного температурного напору, який падає з 50 °C до 23 °C та 9,4 °C відповідно.

Висновки

Оцінювання екологічних та економічних чинників, пов’язаних із вибором джерела теплопостачання для житлового будинку в м. Київ, засвідчує необхідність комплексного та зваженого підходу. З огляду на сукупність економічних і природоохоронних критеріїв, найбільш обґрунтованим рішенням для житлової забудови у м. Київ є впровадження котельні на пелетах або деревній трісці, оскільки такі системи забезпечують оптимальний баланс між вартістю теплоти, екологічною безпекою та енергетичною автономністю. Теплові насоси типу «повітря–вода» можуть бути ефективним доповненням або альтернативою за умов доступної електроенергії або при високій енергоефективності будівлі. Газові котельні, хоча й забезпечують стабільність роботи, характеризуються високою собівартістю теплоти та потребують додаткового аналізу з урахуванням можливих змін газових тарифів та посилення екологічних вимог.

Обґрунтовано необхідність та доцільність застосування низькотемпературних систем формування мікроклімату в житлових будівлях. Показано, що теплові насоси типу «повітря–вода» є ефективним рішенням для житлової забудови високої щільності, оскільки забезпечують підвищену ефективність за роботи при знижених температурах теплоносія та не потребують складних монтажних робіт. На основі аналізу технічних параметрів теплових насосів (реверсивних чилерів) встановлено, що їх функціонування за низькотемпературного графіка сприяє підвищенню коефіцієнта перетворення (COP), що безпосередньо підвищує енергоефективність системи. Визначено оптимальний температурний режим прямої мережної води для умов зовнішніх температур нижче –5 °C, який не повинен перевищувати 45 °C.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Снісарчук Д. М., Степанова Н.Д. Доцільність впровадження низькотемпературних систем створення мікроклімату будівель. Матеріали LIII Науково-технічної конференції факультету будівництва, цивіль-ної та екологічної інженерії ВНТУ, 20 – 22 березня 2024 р., Вінниця: ВНТУ, URL : https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20817/17234. (дата звернення 17.11.2025 р.)

2. Іванюк М. М., Степанова Н. Д. Енергоефективність двомодульної системи теплопостачання громадської будівлі у місті Вінниця. *Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)»,* 15.06.2025 – 16.06.2025, Вінниця: ВНТУ, URL : https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/viewFile/23206/19209 (дата звернення 17.11.2025 р.).

3. Water chillers. Heat pumps.AQUACIAT POWER. URL: https://surl.li/flhjgk (дата звернення 17.11.2025 р.).

4. Inverter Air-Cooled Liquid chillers & Reversible Air to Water Heat Pumps. Ereba 17-21. URL: https://www.hosbv.com/data/specifications/14389_CIAT%207449145%20-%20EREBA%2017%20HT.pdf. (дата звернення 17.11.2025 р.).

5. Степанова, Н. Д., & Снісарчук, Д. М. (2025). Моделювання показників роботи рушникосушарки в низькотемпературній системі створення мікроклімату. Наука та прогрес транспорту, (1(109), 85–92. https://doi.org/10.15802/stp2025/324710.

Степанова Наталія Дмитрівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Stepanovand@i.ua

Ковтун Катерина Русланівна , студенка групи ТЕ-25м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, kovtunkata70@gmail.com.

Stepanova Nataliya D., Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, Stepanovand@i.ua

Kovtun Kateryna R., student of TE-25m group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, kovtunkata70@gmail.com.

УДК 620.92

О. П. Остапенко
С. П. Святенко
Б. В. Сталінський
В. В. Поліщук

ШЛЯХ ЄС ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ КЛІМАТИЧНОЇ НЕЙТРАЛЬНОСТІ: ЕНЕРГЕТИЧНА СКЛАДОВА ТА ВПЛИВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі досліджується стратегія Європейського Союзу щодо досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року з особливим акцентом на енергетичну трансформацію та роль відновлюваних джерел енергії. Проаналізовано ключові політичні ініціативи, технологічні інновації та економічні механізми, що забезпечують перехід до декарбонізованої енергетичної системи. Розглянуто виклики та можливості інтеграції відновлюваної енергетики в єдину енергетичну мережу ЄС.

Ключові слова: кліматична нейтральність, Європейський Союз, відновлювані джерела енергії, декарбонізація, Європейський зелений курс, енергетичний перехід

Abstract

The paper examines the European Union's strategy for achieving climate neutrality by 2050, with a particular focus on the energy transformation and the role of renewable energy sources. It analyses key policy initiatives, technological innovations and economic mechanisms that ensure the transition to a decarbonised energy system. It examines the challenges and opportunities for integrating renewable energy into the EU's single energy grid.

Key words: climate neutrality, European Union, renewable energy sources, decarbonization, European Green Deal, energy transition.

Вступ

Глобальна зміна клімату є одним із найбільших викликів сучасності, що вимагає невідкладних та скоординованих дій від міжнародної спільноти. Європейський Союз зайняв лідируючу позицію у боротьбі зі зміною клімату, проголосивши амбітну мету досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. Це означає, що до середини століття ЄС планує скоротити чисті викиди парникових газів до нуля через баланс між їх емісією та поглинанням.

Енергетичний сектор відіграє центральну роль у цій трансформації, оскільки на нього припадає близько 75% загальних викидів парникових газів в ЄС. Відновлювані джерела енергії (ВДЕ), включаючи сонячну, вітрову, гідро-, біо- та геотермальну енергію, розглядаються як ключовий інструмент декарбонізації енергетичного сектору та досягнення кліматичних цілей.

Результати дослідження

Метою даного дослідження є комплексний аналіз стратегії ЄС щодо досягнення кліматичної нейтральності через призму енергетичної трансформації та визначення ролі відновлюваних джерел енергії у цьому процесі**.**

Запропоновані нами результати досліджень представлені у Воркшопі EU4DEFA Fall Workshop 3.0 проекту «ЄС для розвитку цифрової, екологічної та фінансової обізнаності громадян / EU for people`s digital, eco and financial awareness (EU4DEFA)», що реалізується кафедрою страхування, банківської

справи та управління ризиками Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Україна) в рамках програми Європейського Союзу Erasmus+, модуль Jean Monnet «ЄС для цифрової, екологічної та фінансової обізнаності людей» (Модуль Jean Monnet 101174694 – EU4DEFA – ERASMUS-JMO-2024-HEI-TCH-RSCH). Головною метою цього проєкту є сприяння заповненню критичних прогалин у розумінні та впровадженні політики ЄС в Україні, зосереджуючись на основах цифровізації, Зеленої угоди та фінансової обізнаності. Зосереджуючись на аспектах цифровізації, Зеленої угоди та фінансової обізнаності в політиці ЄС та її впровадженні в Україні, EU4DEFA сприяє сталому розвитку в багатьох вимірах.

В нашому дослідженні використано наукові результати з наших попередніх досліджень з [1 – 2].

Політичні ініціативи та нормативна база ЄС.

Європейський зелений курс.

Європейський зелений курс (European Green Deal), представлений Європейською Комісією у грудні 2019 року, є всеосяжною стратегією, що визначає шлях ЄС до кліматичної нейтральності. Ця ініціатива охоплює всі сектори економіки, включаючи енергетику, транспорт, промисловість та сільське господарство.

Ключові елементи Європейського зеленого курсу включають:

- підвищення цільового показника скорочення викидів парникових газів до 55% до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року;
- перехід до чистої енергетики та модернізація енергетичної інфраструктури;
- стимулювання інвестицій у відновлювані джерела енергії та енергоефективність;
- створення справедливого та інклюзивного переходу, що не залишає нікого осторонь.

Європейський кліматичний закон.

Європейський кліматичний закон (European Climate Law), прийнятий у 2021 році, закріплює у законодавстві ЄС мету досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. Цей нормативний акт встановлює правову основу для моніторингу прогресу та адаптації політики відповідно до наукових рекомендацій.

Директива про відновлювані джерела енергії.

Директива ЄС про відновлювані джерела енергії (Renewable Energy Directive, RED III) встановлює обов'язкову ціль досягнення частки ВДЕ у загальному енергоспоживанні на рівні 42,5% до 2030 року з можливістю збільшення до 45%. Це значне підвищення, порівняно з попередніми цілями, демонструє прискорення енергетичного переходу.

Роль відновлюваних джерел енергії в енергетичній трансформації.

Динаміка розвитку ВДЕ в ЄС.

За останнє десятиліття Європейський Союз досяг значного прогресу у впровадженні відновлюваних джерел енергії. Частка ВДЕ у загальному енергоспоживанні зросла з 9,6% у 2004 році до 21,8% у 2021 році. Особливо динамічно розвиваються вітрова та сонячна енергетика, встановлені потужності яких зростають експоненціальними темпами.

Вітрова енергетика.

Вітрова енергетика є найбільш розвиненим сектором відновлюваної енергетики в ЄС. Станом на 2022 рік загальна встановлена потужність вітрових електростанцій в ЄС перевищила 204 ГВт, з яких близько 16 ГВт припадає на офшорні вітрові парки. Північноморський регіон, зокрема Німеччина, Данія та Нідерланди, лідирують у розвитку офшорної вітрової енергетики. Технологічні інновації у вітроенергетиці, включаючи збільшення розмірів турбін та ефективності генерації, сприяють зниженню вартості виробництва електроенергії. Середня вартість електроенергії з наземних вітрових електростанцій знизилася на 40% за період з 2010 по 2020 рік.

Сонячна енергетика.

Сонячна фотовольтаїка демонструє найшвидші темпи зростання серед усіх відновлюваних технологій. Встановлена потужність сонячних електростанцій в ЄС збільшилася з 129 ГВт у 2019 році до понад 200 ГВт у 2022 році. Німеччина, Іспанія, Італія та Нідерланди є лідерами у впровадженні сонячної енергетики.

Вартість сонячних модулів знизилася на 90% за останнє десятиліття, що робить сонячну енергію однією з найдешевших форм виробництва електроенергії у багатьох регіонах ЄС. Розвиток розподіленої генерації, включаючи дахові сонячні панелі для домогосподарств та бізнесу, сприяє демократизації енергетичного сектору.

Гідроенергетика.

Гідроенергетика залишається найбільшим джерелом відновлюваної електроенергії в ЄС, забезпечуючи близько 13% загального виробництва електроенергії. Хоча потенціал для нових великих гідроелектростанцій обмежений екологічними та географічними факторами, модернізація існуючих потужностей та розвиток малої гідроенергетики залишаються актуальними напрямками.

Біоенергетика та інші ВДЕ.

Біоенергетика, що включає біомасу, біогаз та біопаливо, відіграє важливу роль у декарбонізації теплопостачання та транспорту. Однак використання біомаси залишається предметом дискусій щодо сталості та впливу на біорізноманіття.

Геотермальна енергія та енергія океанів мають значний потенціал, хоча їх частка у загальному енергобалансі залишається відносно невеликою. Розвиток цих технологій потребує додаткових інвестицій та технологічних проривів.

Енергетична інфраструктура та системна інтеграція.

Модернізація електромереж.

Інтеграція великих обсягів змінної відновлюваної енергії вимагає фундаментальної трансформації електричних мереж. Традиційні централізовані енергосистеми мають бути замінені розумними мережами (smart grids), здатними управляти двонаправленими потоками енергії та забезпечувати гнучкість системи.

Ключові напрямки модернізації включають:

- впровадження цифрових технологій та систем моніторингу в реальному часі;
- розвиток транскордонних електричних з'єднань для забезпечення енергетичної солідарності;
- створення розподілених енергетичних ресурсів та мікромереж;
- інтеграція систем накопичення енергії для балансування попиту та пропозиції.

Системи накопичення енергії.

Накопичення енергії є критичним елементом енергетичного переходу, що забезпечує стабільність постачання при високій частці змінних ВДЕ. Технології накопичення енергії включають літій-іонні батареї, гідроакумулюючі електростанції, стиснене повітря та водень.

Ринок батарейних систем накопичення енергії в ЄС швидко зростає, підтримуваний зниженням вартості технологій та політичними стимулами. Вартість літій-іонних батарей знизилася на 89% між 2010 та 2020 роками, що робить їх економічно життєздатними для широкого впровадження.

Водень як енергоносій.

Водень, особливо "зелений" водень, вироблений електролізом води з використанням відновлюваної електроенергії, розглядається як ключовий елемент декарбонізації важкої промисловості, транспорту та сезонного накопичення енергії. ЄС розробив Водневу стратегію, що передбачає встановлення потужностей електролізерів на рівні 40 ГВт до 2030 року.

Економічні аспекти енергетичного переходу.

Інвестиційні потреби.

Досягнення кліматичної нейтральності потребує масштабних інвестицій в енергетичну інфраструктуру. За оцінками Європейської Комісії, щорічні інвестиції в енергетичний сектор мають збільшитися на 350 млрд. євро у період до 2030 року. Ці інвестиції мають бути спрямовані на відновлювані джерела енергії, енергоефективність, модернізацію мереж та системи накопичення.

Механізми фінансування

ЄС розробив комплексну систему фінансових інструментів для підтримки енергетичного переходу:

- фонд відновлення NextGenerationEU, що передбачає виділення значних коштів на зелені інвестиції;
- механізм справедливого переходу (Just Transition Mechanism) для підтримки регіонів, залежних від викопного палива;
- система торгівлі викидами ЄС (EU ETS), що створює економічні стимули для скорочення викидів;
- інноваційний фонд для підтримки впровадження низьковуглецевих технологій.

Вплив на ціни електроенергії.

Енергетичний перехід має складний вплив на ціни електроенергії. З одного боку, зниження вартості відновлюваних технологій сприяє зниженню граничних витрат на виробництво електроенергії.

З іншого боку, необхідність модернізації інфраструктури та забезпечення гнучкості системи може призвести до тимчасового підвищення цін.

Виклики та бар'єри.

Технічні виклики.

Інтеграція високих часток змінної відновлюваної енергії створює технічні виклики для стабільності енергосистеми. Проблеми балансування попиту та пропозиції, забезпечення частотної стійкості та напруги в мережі вимагають розробки нових підходів до управління енергосистемами.

Соціальні та політичні бар'єри.

Енергетичний перехід має забезпечувати справедливість та інклюзивність, уникаючи негативних соціальних наслідків. Регіони, що історично залежали від викопного палива, потребують підтримки у створенні нових робочих місць та економічних можливостей.

Громадська прийнятність проектів відновлюваної енергетики, особливо вітрових парків та ліній електропередач, залишається важливим фактором успішної імплементації енергетичного переходу. Залучення місцевих громад до процесу прийняття рішень та справедливий розподіл вигод є критичними для забезпечення підтримки.

Регуляторні та ринкові бар'єри.

Існуючі регуляторні рамки та ринкові механізми часто не повною мірою враховують специфіку відновлюваних джерел енергії. Необхідність реформування ринків електроенергії для забезпечення адекватної компенсації за гнучкість та додаткові системні послуги залишається актуальною.

Перспективи та сценарії розвитку.

Сценарії досягнення кліматичної нейтральності.

Європейська Комісія розробила декілька сценаріїв досягнення кліматичної нейтральності, що відрізняються темпами впровадження технологій, рівнем електрифікації та роллю різних енергоносіїв. Всі сценарії передбачають значне зростання частки відновлюваної енергії до 80-100% у виробництві електроенергії до 2050 року.

Технологічні інновації.

Майбутній успіх енергетичного переходу залежить від продовження технологічних інновацій у таких напрямках:

- підвищення ефективності та зниження вартості відновлюваних технологій;
- розвиток технологій накопичення енергії великої потужності та тривалості;
- впровадження штучного інтелекту та машинного навчання для оптимізації енергосистем;
- розробка нових матеріалів для сонячних панелей та вітрових турбін.

Міжнародне співробітництво.

Досягнення кліматичних цілей вимагає посиленого міжнародного співробітництва. ЄС активно співпрацює з іншими країнами та регіонами у рамках Паризької угоди, обмінюючись досвідом, технологіями та найкращими практиками енергетичного переходу.

Висновки

1. Європейський Союз демонструє лідерство у глобальних зусиллях щодо боротьби зі зміною клімату через амбітну стратегію досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. Енергетичний сектор відіграє центральну роль у цій трансформації, а відновлювані джерела енергії є ключовим інструментом декарбонізації.

2. Значний прогрес вже досягнутий у впровадженні вітрової та сонячної енергетики, що супроводжується зниженням вартості технологій та покращенням їх ефективності. Однак, повноцінна реалізація енергетичного переходу вимагає вирішення комплексу технічних, економічних, соціальних та політичних викликів.

3. Модернізація енергетичної інфраструктури, розвиток систем накопичення енергії, впровадження водневих технологій та забезпечення справедливого переходу є критичними елементами успіху. Масштабні інвестиції, інноваційні технології та ефективна політична підтримка створюють передумови для досягнення амбітних кліматичних цілей.

4. Досвід ЄС у енергетичному переході має глобальне значення, демонструючи можливість поєднання економічного розвитку з екологічною відповідальністю. Продовження цього шляху потребує постійної політичної волі, технологічних інновацій та широкої суспільної підтримки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Ostapenko Olga. Estimation of tendencies of transforming the energy sectors of World, European and Ukraine in the perspective to 2050 with using the renewable energy sources in the concept of Sustainable Development.Ostapenko Olga (2021). Estimation of tendencies of transforming the energy sectors of World, European and Ukraine in the perspective to 2050 with using the renewable energy sources in the concept of Sustainable Development. Social capital: Vectors of development of behavioral economics: Collective monograph. (pp. 99 – 139). Veliko Tarnovo, Bulgaria: ACCESS Press Publishing house.Social capital: vectors of development of behavioral economics: collective monograph / Editor: Mariana Petrova. Veliko Tarnovo, Bulgaria: ACCESS Press Publishing house, 2021. 183 p.

2. Ostapenko, O., Alina, G., Serikova, M., Popp, L., Kurbatova, T., Bashu, Z. Towards Overcoming Energy Crisis and Energy Transition Acceleration: Evaluation of Economic and Environmental Perspectives of Renewable Energy Development. In: Koval, V., Olczak, P. (eds) Circular Economy for Renewable Energy. Green Energy and Technology, 2023. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30800-0_7.

Ольга Павлівна Остапенко – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ostapenko1208@gmail.com

Сергій Петрович Святенко – студент, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Богдан Вікторович Сталінський – студент, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Володимир Віталійович Поліщук – студент, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Olga P. Ostapenko – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ostapenko1208@gmail.com

Serhii P. Sviatenko – Student of the Faculty of the Building, of Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Bohdan V. Stalinskyi – Student of the Faculty of the Building, of Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Volodymyr V. Polishchuk – Student of the Faculty of the Building, of Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ДК 620.9

Н.В. Резидент, к.т.н., доц., ВНТУ
О.С. Синчук, студент

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАРОВОЇ КОТЕЛЬНІ МОЛОКОПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезах розглянута проблема підвищення економічної, енергетичної та екологічної ефективності парової промислової котельні молокопереробного підприємства. Виявлено, що утилізація відходів підприємства за допомогою біогазової технології дозволяє вирішити комплекс енергетичних, економічних та екологічних проблем. В роботі розглянуті варіанти утилізації виробленого з відходів біогазу шляхом спалювання в парових котлах або в когенераційній установці. Оцінена ефективність обох варіантів на основі техніко-економічних розрахунків. Підтверджена енергетична, економічна та екологічна ефективність впровадження біогазової технології утилізації відходів молокопереробного підприємства.

Ключові слова: енергоефективність, парова котельня, біогаз, когенераційна установка, викиди парникових газів

Abstact

The theses consider the problem of increasing the economic, energy and environmental efficiency of the industrial steam boiler house of a dairy processing enterprise. It was found that the utilization of enterprise waste using biogas technology allows solving a complex of energy, economic and environmental problems.

The paper considers options for utilizing biogas produced from waste by burning it in steam boilers or in a cogeneration plant. The effectiveness of both options is assessed based on technical and economic calculations.

The energy, economic and environmental efficiency of implementing biogas technology for waste utilization at a dairy processing enterprise has been confirmed.

Keywords: energy efficiency, steam boiler house, biogas, cogeneration plant, greenhouse gas emissions

Вступ. Постановка задачі

Одною з найбільш болючих проблем молокопереробних підприємств є наявність відходів з високою органічною забрудненістю, значним вмістом жирів, білків і вуглеводів, що формує високе біологічне навантаження на очисні споруди й створює ризики забруднення водних ресурсів. Умови сучасного виробництва та підвищені екологічні вимоги зумовлюють необхідність впровадження більш ефективних та екологічно безпечних методів утилізації таких відходів. Одним із найбільш перспективних напрямів є використання біогазових технологій анаеробної переробки [1].

По-перше, анаеробне зброджування органічних стоків молочних заводів дозволяє суттєво зменшити обсяг забруднювальних речовин, знижуючи хімічне та біологічне споживання кисню (ХСК і БСК) у 5–10 разів [2, 3].

По-друге, біогазові установки дають можливість перетворювати відходи на цінний енергетичний ресурс – біогаз, який може бути використаний для виробництва теплової та/або електричної енергії. Це підвищує енергетичну автономність підприємства, зменшує залежність від традиційних енергоносіїв та дозволяє скоротити експлуатаційні витрати, що особливо актуально в умовах енергетичної нестабільності.

По-третє, побічний продукт процесу — дигестат — може використовуватися як добриво, зберігаючи основні поживні речовини (азот, фосфор, калій) у доступній для рослин формі. Це сприяє розвитку циркулярної економіки та дозволяє підприємству мінімізувати обсяг твердих відходів.

По-четверте, реалізація біогазових технологій зменшує викиди парникових газів, передусім метану, який у разі безконтрольного розкладання потрапляє в атмосферу [4, 5].

Вироблений з відходів молочного виробництва біогаз може бути використаний за різними напрямками [6, 7]:

– спалювання біогазу в котлах для виробництва пари або гарячої води для технологічних потреб (підігрів води для мийки, гарячого водопостачання, опалювання адміністративних приміщень тощо);

– когенерація (спільне виробництво електроенергії та теплоти) за допомогою газопоршневих установок, причому електроенергію можна направляти на потреби виробництва (холодильні компресори, пастеризаційне обладнання, насоси, освітлення), а теплоту – на підігрів технологічних середовищ або підтримку температури біореактора;

– тригенерація (електроенергія + теплота + холод) за допомогою газопоршневих установок та абсорбційних холодильних машин;

– очистка біогазу до біометану і використання його як палива для автотранспорту підприємства або закачування у газову мережу;

– комбіновані енергетичні схеми

Таким чином, мета даної роботи полягає в оцінці енергетичної, економічної та екологічної ефективності впровадження біогазової технології утилізації відходів молокопереробного підприємства.

Результати досліджень

Задача впровадження розглядається для молокопереробного підприємства, що має відходи виробництва (сироватку) в кількості 102 т/добу. Для потреб підприємства працює парова котельня з двома паровими котлами паровидатністю по 4 т пари на годину. На котельні використовується біля 3 млн. $м^3$ на рік природного газу з теплотою згорання 33 МДж/$м^3$.

Орієнтовні розрахунки показують, що анаеробна переробка відходів дозволить отримати біля 1,1 млн. $м^3$ біогазу (з врахуванням власних потреб 15%). Таким чином є можливість замістити 25% природного газу або біля 760 тис. $м^3$. Така економія природного газу дозволить зменшити викиди парникових газів в атмосферу на майже 1,5 тис. т. CO_2.

В даній роботі розглянуті два варіанти утилізації виробленого біогазу: заміщення природного газу в парових котлах; встановлення газопоршневої когенераційної установки різних варіантів потужності.

Оціночні розрахунки показали, що встановлення біогазової установки і утилізація виробленого біогазу в парових котлах дозволить зменшити собівартість теплоти з 1090 до 854 грн/ГДж. Таким чином, капіталовкладення в будівництво біогазової установки і системи подачі біогазу в котли матиме термін окупності 2,2…2,7 роки.

За іншим сценарієм можу бути встановлена газопоршнева когенераційна установка електричною потужністю до 360 кВт. Перевагою такого варіанту є можливість покриття власних електричних потреб котельні та відпуск товарної електроенергії для заводу на суму біля 29 млн. грн на рік. Незважаючи на більші капіталовкладення в обладнання (біогазова установка + когенераційна установка) собівартість теплоти та термін окупності дещо зменшуються до 780 грн/ГДж і 2,1…2,5 роки.

Суттєвою перевагою варіанту з когенераційною установкою є підвищення надійності енергопостачання котельні та стабільності її роботи. Підприємство отримує часткову енергонезалежність, гнучкість та стійкість в складних енергетичних умовах.

Отже, впровадження біогазових технологій на молокопереробному підприємстві є актуальним через поєднання екологічних, енергетичних та економічних переваг. Це дозволяє створити комплексну систему поводження з органічними відходами, яка забезпечує зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та одночасно генерує додатковий енергетичний ресурс і економічну вигоду для підприємства.

Висновки

Аналіз стану поводження з відходами молокопереробних підприємств показує, що органічні стоки з високим вмістом жирів, білків та вуглеводів створюють значне екологічне навантаження та потребують ефективних сучасних технологій утилізації. Анаеробна переробка таких відходів є одним з найбільш результативних рішень, оскільки дозволяє одночасно зменшити забруднення навколишнього середовища та отримати корисний енергетичний ресурс.

Розрахунки засвідчили, що при переробці 102 т/добу відходів можливо отримати близько 1,1 млн м³ біогазу на рік, що забезпечує заміщення до 25 % природного газу, що використовується котельнею підприємства. А це дає змогу зменшити викиди парникових газів приблизно на 1,5 тис. т CO_2 на рік.

Розгляд двох сценаріїв енергетичного використання біогазу показав їхню економічну ефективність. У першому варіанті — спалювання біогазу в парових котлах — собівартість теплоти знижується майже на 22%, а термін окупності проєкту становить 2,2–2,7 роки. Другий сценарій — встановлення газопоршневої когенераційної установки — забезпечує суттєвішу економічну вигоду завдяки генерації електроенергії та теплоти, зменшенню собівартості енергоресурсів і скороченню терміну окупності до 2,1–2,5 років.

Додатковими перевагами застосування когенерації є підвищення енергонезалежності, стабільності роботи котельні та зниження залежності від коливань цін на природний газ. Таким чином, впровадження біогазових технологій забезпечує підприємству комплексний ефект — екологічний, економічний та енергетичний.

Отже, результати дослідження підтверджують, що впровадження біогазового комплексу на молокопереробному підприємстві є доцільним та ефективним кроком, який дозволяє досягти комплексного енергетичного, економічного та екологічного ефекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підруч./ С.О.Кудря. К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
2. Ramsuroop J., et al. A review of biological processes for dairy wastewater treatment // Water. - 2024. - Vol. 16, №4. - P. 537. - Електронний ресурс. URL: https://www.mdpi.com/2073-4441/16/4/537. (дата звернення: 18.11.2025).
3. Udourioh G.A. A review of the valorization of dairy industry wastes: biogas, biofertilizers, biopolymers // Korean J. Food Sci. Anim. Resour. - 2025. - Vol. 45, №2. - P. 375–380 - Електронний ресурс. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11907414 (дата звернення: 18.11.2025)
4. Фурман І., Ксенчин Д. Управління виробництвом біогазу з відходів: стан в Україні (аналітичний огляд) // Economy and Society. - 2024. - Електронний ресурс (PDF). URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/download/3398/3325 (дата звернення: 18.11.2025)
5. Arzinger / UABIO. Біогаз: виробництво і використання в Україні. Handbook. - 2012. - Електронний ресурс. URL: https://uabio.org/wp-content/uploads/2012/11/biogas-arzinger-handbook.pdf (дата звернення: 18.11.2025).
6. Піцик В. С. Модернізація системи очистки біогазу для підвищення ефективності його використання в когенераційних установках: кваліф. робота / ЦНТУ, 2024. Електронний ресурс. URL: https://dspace.kntu.kr.ua/items/b83c02be-ba75-45f9-940d-aac7eb50c9a0 (дата звернення: 18.11.2025)
7. Спалювання біогазу різного походження у котлах підприємств // Збірник доповідей. Київ : ІТТФ, 2021. Електронний ресурс. URL: https://ittf.kiev.ua/wp-content/uploads/2021/12/sbornik_2021-obl.pdf (дата звернення: 18.11.2025)

Резидент Наталія Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, ResidentNV@ukr.net

Синчук Олександр Сергійович, студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет

Resident Nataliya, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat and Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ResidentNV@ukr.net

Synchuk Oleksander, Student of the Department of Heat and Power Engineering, Vinnytsia National Technical University

УДК 620.9

Д. В. Степанов
Д. П. Ільченко
О. С. Вудвуд

ЕФЕКТИВНІСТЬ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Було розглянуто основні переваги впровадження когенераційних систем на базі водогрійних опалювальних котелень. Проведено оцінку можливого скорочення споживання умовного палива порівняно з окремим виробленням теплової та електричної енергії. Визначено техніко-економічні показники встановлення когенераційної установки для покриття потреб котельні на біомасі.

Ключові слова: водогрійна котельня, когенераційна установка, котли на біомасі, собівартість теплоти

Abstact

The main advantages of implementing cogeneration systems based on hot water heating boilers were considered. The possible reduction in fuel consumption compared to separate generation of heat and electricity was assessed. The technical and economic indicators of installing a cogeneration plant to cover the needs of a biomass boiler house have been determined.

Keywords: hot water boiler room, cogeneration plant, biomass boilers, cost of heat

Вступ. Постановка задачі

Основним джерелом централізованого теплопостачання в більшості населених пунктів залишаються водогрійні котельні, оснащені газовими або біомасовими котлоагрегатами [1]. Однією з найбільш вагомих статей витрат у структурі собівартості теплоти для великих опалювальних котелень є витрати на електроенергію, необхідну для роботи допоміжного обладнання — вентиляторів, димососів, насосних станцій тощо. Тому зменшення цих витрат може суттєво вплинути на зниження загальної собівартості виробленої теплоти.

Окрім цього, котельні є повністю залежними від електропостачання, і за умов нестабільної роботи електромереж існує ризик перебоїв у теплопостачанні. Особливо це стає критичним в осінньо-зимовий період в Україні, коли через дефіцит електроенергії мають місце планові та аварійні відключення [2], що ставить під загрозу безперервність роботи теплогенерувальних систем.

З метою підвищення надійності теплопостачання доцільно розглянути можливість автономного електрозабезпечення котельні шляхом вироблення власної електроенергії безпосередньо на її базі.

Отримання власної електричної енергії може здійснюватися завдяки застосуванню когенераційних установок, що працюють на теплових двигунах — парових чи газових турбінах або двигунах внутрішнього згоряння. У даній роботі проаналізовано варіант використання когенераційної установки, побудованої на базі двигуна внутрішнього згоряння.

Метою дослідження є визначення ефективності роботи водогрійної котельні на біомасі у випадку впровадження когенераційної установки, яка працює на двигуні внутрішнього згоряння.

Результати досліджень

Для моделювання ефективності впровадження когенераційної установки було обрано водогрійну опалювальну котельню м. Вінниця з приєднаним тепловим навантаженням 3,8 МВт. Розрахункова потреба котельні в електроенергії становить 76 кВт у опалювальний період та 16 кВт у літній період. Собівартість теплоти, виробленої котельнею на біомасі, складає 452 грн/ГДж. У моделюванні використано такі вихідні дані: середньозважена ціна деревної щепи — 2 грн/кг, природного газу для двигуна — 24 грн/м³, вартість електроенергії для покриття власних потреб —

10 грн/кВт·год.

Під час розрахунків застосовано технічні характеристики когенераційних установок Jenbacher [3], що працюють на газопоршневих двигунах, а саме: електричну потужність, електричний ККД, теплову потужність та тепловий ККД.

Отримані результати дослідження наведені на рис. 1–2.



Рисунок 1 – Розрахункові значення собівартості теплоти від котельні за умов встановлення когенераційної установки

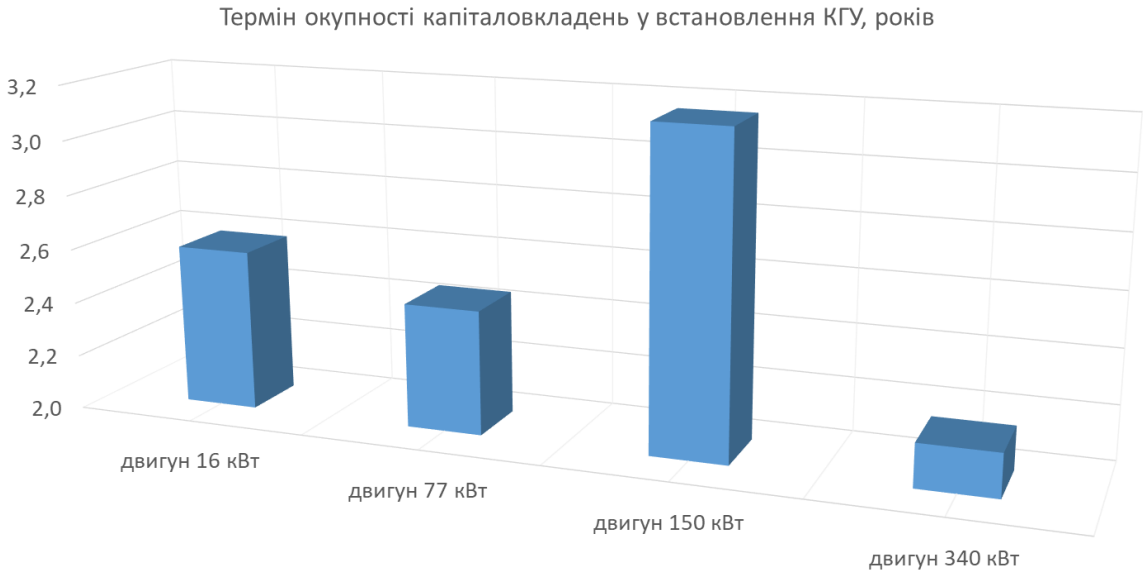


Рисунок 2 – Прості терміни окупності встановлення газопоршневої когенераційної установки на базі опалювальної котельні на біомасі

Як свідчать дані, наведені на рисунках 1 та 2, за умов середньозваженої вартості деревної щепи 2 грн/кг та ціни природного газу 24 грн/м³, застосування газопоршневої когенераційної установки є економічно виправданим. У результаті собівартість теплової енергії знижується з 452 до 161 грн/ГДж. При цьому простий термін окупності інвестицій становить 2,1–2,5 року, що є цілком прийнятним показником.

Встановлення газопоршневих когенераційних модулів для покриття власних електричних потреб котельні та часткового відпуску електроенергії в мережу (за умови використання всієї

утилізованої теплоти в тепловій схемі котельні) забезпечує скорочення споживання умовного палива на 1,9–27,5% порівняно з роздільним виробленням теплової та електричної енергії.

Окрім економічного ефекту, впровадження когенераційної установки дає низку додаткових переваг, зокрема:

– підвищення енергонезалежності котельні та зниження залежності від централізованого електропостачання, що мінімізує ризики відключень, простоїв та відповідних перевитрат палива;
– сприяння децентралізації виробництва електроенергії, що дозволяє зменшити масштаби вимушених планових та аварійних відключень для населення та підприємств;
– зменшення сезонної нерівномірності навантаження на електроенергетичну систему України, що позитивно впливає на її загальну ефективність у пікові зимові періоди та посилює енергетичну стійкість держави;
– економія умовного палива в когенераційному циклі порівняно з окремим виробленням енергії, при цьому базові показники ефективності визначено на основі параметрів роботи вугільних теплових електростанцій [4].

Висновки

Впровадження газопоршневих когенераційних установок на опалювальних котельнях є актуальним оскільки дозволяє вирішувати ряд проблем, а саме диверсифікація енергопостачання котельні та інших споживачів, вирівнювання навантаження на енергосистему в опалювальний період, дозволяє зменшити витрату умовного палива на енергопостачання в порівнянні з роздільною схемою, відповідно зменшуються викиди парникових газів та інші шкідливі навантаження на навколишнє середовище.

За результатами досліджень виявлено, що при середньозваженій ціні на =біомасу 2 грн/кг і комерційній ціні газу для вироблення електроенергії 24 грн/м^3 використання газопоршневої когенераційної установки є економічно доцільним, і має прийнятні терміни окупності інвестицій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text (дата звернення 20.11.2025)
2. Ткаченко С. Й. , Чепурний М. М. , Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 137с.
3. Когенераційні установки JENBACHER. Технічні характеристики. URL: https://www.kts-eng.com/product/jenbacher-j-412-b09/ (дата звертання 20.11.2025).
4. Когенераційні технології в малій енергетиці : монографія / В. А. Маляренко, О. Л. Шубенко, С. Ю. Андрєєв, М. Ю. Бабак, О. В. Сенецький / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Ін-т проблем машинобуд. ім. А. М. Підгорного. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 454 с.

Степанов Дмитро Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Stepanovdv@ukr.net

Ільченко Дмитрро Петрович, студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет

Вудвуд Олесь Сергійович, студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет

Stepanov Dmitro, candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Stepanovdv@ukr.net

Ilchenko Dmytro, student on Department of thermal power engineering, Vinnytsia National Technical University

Woodwood Oles, student on Department of thermal power engineering, Vinnytsia National Technical University

УДК 620.91

Степанов Д. В.
Резидент Д. М.
Резидент Н. В.

ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМПРЕСОРА ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Показані чинники, які спричиняють необоротність процесів в тепловому насосі. Проаналізовані фактори, які впливають на ізоентропійну ефективність компресора теплового насоса та методи для її визначення.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, ізоентропійна ефективність, тепловий насос, компресор.

Abstract

The factors that cause the irreversibility of processes in the heat pump are shown. Factors affecting the isentropic efficiency of the heat pump compressor and methods for its determination are analyzed

Key words: renewable energy sources, isentropic efficiency, heat pump, compressor

Вступ

Необхідність скорочення обсягів викидів парникових газів та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище стимулює розвиток екологічно безпечних технологій отримання холоду й теплової енергії, що ґрунтуються на використанні відновлюваних джерел енергії. Теплові насоси, які використовують тепло довкілля або відпрацьовану теплоту, мають значний потенціал щодо зменшення споживання первинних енергоресурсів і, відповідно, зниження кількості викидів парникових газів. Для коректної оцінки економічної та екологічної доцільності застосування теплового насоса в режимах опалення та/або охолодження необхідно мати дані про його енергоефективність.

Цей показник характеризується коефіцієнтом перетворення теплоти — COP (Coefficient of Performance), який для компресійних теплових насосів визначається як відношення корисної теплової потужності до споживаної електричної потужності компресора. У теоретично ідеальному випадку максимальне значення COP визначається ефективністю циклу Карно, що залежить від температур конденсації і випаровування. У реальних теплових насосах на ефективність циклу впливають різні фактори, які знижують COP, серед яких одним із ключових є ефективність роботи компресора.

Метою роботи є аналіз факторів, що визначають ефективність компресора теплового насоса, а також розгляд методів її оцінювання.

Основна частина

Відхилення дійсного циклу теплового насосу від ідеального обумовлене падінням тиску у випарнику і конденсаторі, коли робоче тіло проходить через теплообмінник, що проявляється у відхиленні від ізотермічних умов під час теплообміну, втратами в трубопроводах між конденсатором і дросельним вентилем, які викликають деяке випаровування, що погіршує роботу дроселя і втратами в компресорі [1].

Вплив на дійсний цикл спричиняє той фактор, що компресор ТН повинен стискати суху пару холодоагента, а робоче тіло на вході в компресор дещо перегріте.

Друге суттєве відхилення від ідеалізованого циклу визначається ККД компресора. Через теплообмін між холодоагентом і компресором та наявність тертя робочого тіла всередині компресора, підвищення ентальпії в ньому більше, ніж в ідеальному циклі, що також підвищує температуру на виході з компресора. Надлишкове підвищення ентальпії оцінюється ізоентропійним ККД. Ізоентропійний та механічний ККД компресора є важливими показниками, які впливають на COP

дійсного циклу теплового насоса [2, 3]. Цей показник є функцією міри стиснення, об'ємної витрати на вході компресора, температури випаровування та конденсації

Ізоентропійний ККД залежить від конструкції компресора, тисків кипіння і конденсації, характеристик фреону. Наприклад, в [4] показано, що ізоентропійна ефективність компресора знаходиться в діапазоні 65…97%, а коефіцієнт перетворення теплоти при цьому 3,8…5,4. Ізоентропійний ККД компресора також змінюється для різних циклів ТН.

В [5] показано, що ізоентропійна ефективність компресора теплового насосу, що працює на фреоні R600a знаходиться в межах 0,8…0,9

Авторами 6] на основі експериментальних результатів показано, що для ротаційного компресора з повітряним охолодженням з R134a ізоентропійна ефективність компресора змінюється від 0,53 до 0,42 в разі зміни коефіцієнта стиснення від 2,5 до 4,5.

На основі аналізу літературних даних встановлено, що роторно-лопатеві компресори переважно досягають ефективності 0,65…0,75, спіральні – 0,7…0,85, а поршневі компресори мають більше 0,7.

Висновки

Продуктивність парокомпресійних теплових насосів значною мірою залежить від ефективності компресора. Є різні підходи до оцінки ізоентропійної ефективності компресора теплового насоса, зокрема за допомогою поліноміальних кореляцій для різних типів і конструкцій компресора, де ізоентропійна ефективність компресора є функцією міри стиснення, об'ємної витрати на вході компресора, температури випаровування та конденсації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Низькопотенційні джерела енергії: практикум: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика,електротехніка та електромеханіка»/уклад.: Ю.П. Вишневська/ КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2023. 43 с.

2. Арсеньєв В. М., Мелейчук С.С. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2018. 364 с.

3. Olympios, AV, Song, J, Ziolkowski, A, Shanmugam, VS & Markides, CN 2024. Data-driven compressor performance maps and cost correlations for small-scale heat-pumping applications, Energy, vol. 291,130171. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.130171

4. Handbook of Energy Efficiency in Buildings. 2019. URL: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/compressor-efficiency.

5. Марущак О.П. Енергетичний розрахунок складових теплового насоса «повітря-вода». Proceedings of the 14th International Scientific and Practical Conference «Scientific Horizon in the Context of Social Crises» (September 6-8, 2023). Tokyo, Japan. URL: http://surl.li/kxqqjb

6. Ransy F., Gendebien S, Lemort V. Performances of a simple exhaust mechanical ventilation coupled to a mini heat pump: modeling and experimental investigations. In The proceedings of the 36th AIVC conference: Effective ventilation in high performance buildings. 2015 URL: https://www.aivc.org/sites/default/files/82_0.pdf

Степанов Дмитро Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, e-mail: Stepanovdv@ukr.net

Резидент Дмитро Миколайович, аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, e-mail: rezidentdmitrij@gmail.com

Резидент Наталія Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри теплоенергетики, e-mail: rezidentnv1@ukr.net

Dmytro Stepanov, candidate of technical Sciences, associate Professor, the Head of the Department of power engineering, Vinnytsia National Technical University, e-mail: Stepanovdv@ukr.net

Dmytro Rezydent, postgraduate student of the Department of Heat and Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, e-mail: rezidentdmitrij@gmail.com

Nataliia Rezydent, Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat and Power Engineering, e-mail: rezidentnv1@ukr.net

УДК 504.054

Є. В. Гречанюк
В. А. Іщенко

ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОНЕНТІВ ВІДХОДІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглядається проблема оцінки ресурсного потенціалу пластикових матеріалів, що містяться у відходах електричного та електронного обладнання (ВЕЕО). Аналізуються основні типи полімерів, методи їх ідентифікації та переробки, а також економічні та екологічні аспекти використання як вторинної сировини. Особлива увага приділяється викликам, пов'язаним із забрудненням та сумішами матеріалів, та перспективам інтеграції в циркулярну економіку. Результати демонструють високий потенціал полімерів для зменшення залежності від первинних ресурсів.

Ключові слова: *ВЕЕО, полімерні компоненти, ресурсний потенціал, переробка пластиків, ідентифікація матеріалів, циркулярна економіка, екологічна оцінка.*

Abstract

This article examines the issue of assessing the resource potential of plastic materials found in waste electrical and electronic equipment (WEEE). It analyzes the main types of polymers, methods for their identification and recycling, as well as the economic and environmental aspects of using them as secondary raw materials. Special attention is paid to challenges related to contamination and material mixtures, and prospects for integration into the circular economy. The results demonstrate the high potential of polymers to reduce dependence on primary resources.

Keywords: *WEEE, polymer components, resource potential, plastic recycling, material identification, circular economy, environmental assessment.*

Вступ

Відходи електричного та електронного обладнання (ВЕЕО) становлять одну з найшвидше зростаючих категорій сміття у світі, генеруючи мільйони тонн матеріалів щорічно [1]. Полімерні компоненти, такі як корпуси пристроїв, кабелі та екрани, складають до 25-30% маси ВЕЕО, включаючи ABS, HIPS, PC, PP, PE, PVC та PET [2]. Ці матеріали часто ігноруються на користь металів, але їх переробка може значно сприяти збереженню ресурсів та зменшенню забруднення [3]. У контексті глобальних викликів, таких як вичерпання природних ресурсів та кліматичні зміни, оцінка ресурсного потенціалу полімерів стає ключовим елементом стійкого розвитку.

Аналіз літературних джерел

Літературний огляд показує, що дослідження фокусуються на ідентифікації та переробці полімерів з ВЕЕО. Наприклад, автори вивчають критичні фактори, що впливають на перероблюваність пластиків, включаючи їх склад та наявність шкідливих добавок [4]. Інші роботи надають огляд методів ідентифікації, таких як спектроскопія, для ефективного сортування матеріалів [5]. Екотоксичність пластиків з неформальної переробки ВЕЕО підкреслюється в дослідженнях, де наголошується на ризиках для довкілля через вивільнення токсинів [6]. Оптичні сенсори пропонуються як перспективний інструмент для ідентифікації типів полімерів у потоках відходів [7]. Крім того, тези про склад та сепарацію пластиків у ВЕЕО вказують на необхідність вдосконалення технологій для підвищення ефективності [8]. Хімічна та термохімічна переробка розглядається як альтернатива механічній, особливо для складних сумішей [1]. Докази наявності шкідливих речовин у пластиках з ВЕЕО, що потрапляють у харчові ланцюги, підкреслюють потребу в строгому контролі [9].

Мета роботи

Метою цієї роботи є комплексна оцінка ресурсного потенціалу полімерних компонентів ВЕЕО, включаючи розробку методів ідентифікації, аналіз економічної та екологічної вигоди, а також пропозиції щодо оптимізації процесів переробки для досягнення циркулярної економіки.

Методи і матеріали

Для дослідження використано комбінацію аналітичних методів, базованих на літературних даних. Матеріали включають зразки полімерів з ВЕЕО, такі як ABS, PC та PP [2]. Методи ідентифікації: маркування RIC, тест на горіння, розчинність, флотація за щільністю, FTIR-спектроскопія, термічний аналіз (DSC/TGA) та механічні тести [5][7]. Дані оброблено за допомогою статистичних інструментів для оцінки якості та потенціалу переробки.

Виклад основного матеріалу

Ресурсний потенціал полімерів з ВЕЕО оцінюється через кількісні, економічні та екологічні показники. Глобально, пластики становлять значну частку відходів, з низьким рівнем переробки (менше 30%) [4]. Економічна цінність полягає в заміщенні первинної сировини, наприклад, перероблені суміші ABS/PC можуть використовуватися в нових продуктах з добавками стабілізаторів [1]. Екологічні переваги включають зменшення токсичності та внесок у циркулярну модель [6].

Таблиця 1. Порівняльна характеристика методів ідентифікації полімерних компонентів у відходах електричного та електронного обладнання (ВЕЕО)

Метод	Опис	Переваги	Недоліки	Застосування
RIC-маркування	Ідентифікація за символами	Простота	Неповне маркування	Початкове сортування
Тест горіння	Аналіз полум'я та запаху	Швидкість	Токсичність	Класифікація типів
Розчинність	Використання розчинників	Відділення фракцій	Шкідливі речовини	Оцінка чистих матеріалів
Флотація	За щільністю	Ефективне розділення	Перекриття щільностей	Масова сепарація
FTIR	Інфрачервона спектроскопія	Точність	Складні суміші	Виявлення добавок
DSC/TGA	Термічний аналіз	Деталі деградації	Вартість обладнання	Оцінка стабільності
Механічні тести	Міцність та еластичність	Практична оцінка	Залежність від зразків	Перевірка якості

Сортування включає вологі та сухі методи, а переробка — механічну, хімічну чи термічну [8].

Обговорення

Виклики включають забруднення антипіренами та деградацію матеріалів, що знижує якість переробки [6]. Однак, інтеграція оптичних сенсорів та хімічних методів може підвищити ефективність [7]. У порівнянні з літературою, запропоновані підходи дозволяють досягти вищого рівня утилізації, сприяючи зменшенню екологічного впливу [1][9].

Висновки

Полімерні компоненти ВЕЕО мають значний ресурсний потенціал, який можна реалізувати через вдосконалені методи ідентифікації та переробки [5]. Це сприяє економічним заощадженням, екологічній стійкості та переходу до циркулярної економіки. Рекомендується впровадження комплексних систем управління відходами для максимізації вигод.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Achilias, D. S., & Antonakou, E. V. (2015). Chemical and thermochemical recycling of polymers from waste electrical and electronic equipment. In IntechOpen. https://doi.org/10.5772/59960

2. Grigorescu, R. M., Grigore, M. E., Iancu, L., Ghioca, P., & Ion, R. M. (2019). Waste electrical and electronic equipment: A review on the identification methods for polymeric materials. Recycling, 4(3), Article 32. https://doi.org/10.3390/recycling4030032

3. Hamod, H. (2021). Plastic material composition and separation in waste electrical and electronic equipment (WEEE) (Master's thesis). Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT.
4. Butturi, M. A., Marinelli, S., Gamberini, R., & Rimini, B. (2020). Ecotoxicity of plastics from informal waste electric and electronic treatment and recycling. Toxics, 8(4), Article 99. https://doi.org/10.3390/toxics8040099
5. Grigorescu, R. M., Grigore, M. E., Iancu, L., Ghioca, P., & Ion, R. M. (2019). Waste electrical and electronic equipment: A review on the identification methods for polymeric materials. Recycling, 4(3), Article 32. https://doi.org/10.3390/recycling4030032
6. Butturi, M. A., Marinelli, S., Gamberini, R., & Rimini, B. (2020). Ecotoxicity of plastics from informal waste electric and electronic treatment and recycling. Toxics, 8(4), Article 99. https://doi.org/10.3390/toxics8040099
7. de Lima Ribeiro, A., Fuchs, M., Röder, C., Schüler, N., Lorenz, S., Sheng, Y. X., Heitmann, J., Dornich, K., & Gloaguen, R. (2023). Potential of optical sensors for polymer type identification in e-waste recycling streams [Abstract]. EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 23–28 Apr 2023. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-12643
8. Hamod, H. (2021). Plastic material composition and separation in waste electrical and electronic equipment (WEEE) (Master's thesis). Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT.
9. Samsonek, J., & Puype, F. (2015). Evidence of waste electrical and electronic equipment (WEEE) relevant substances in polymeric food-contact articles sold on the European market. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 50(4), 410–426. https://doi.org/10.1080/19440049.2015.1009499

Гречанюк Євгеній Володимирович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: grechanyuk@ukr.net

Іщенко Віталій Анатолійович – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ischenko.v.a@vntu.edu.ua

Grechanyuk Evgeniy V. — Postgraduate student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: grechanyuk@ukr.net

Ishchenko Vitalii A. — Ph.D., As.Prof., Head of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ischenko.v.a@vntu.edu.ua

УДК 628.3, 504.064

С. М. Кватернюк[1]
С. В. Мандебура[2]
Д. Р. Латуша[1]
М. П. Максименко[1]
В. О. Шевченко[1]

ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ ЗАБРУДНЕНОГО ПОВІТРЯ ТА ОЧИЩЕННЯ СТОКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНИХ ВОДНО-БОЛОТНИХ УГІДЬ

[1]Вінницький національний технічний університет
[2]Уманський державний педагогічний університет ім. Павла Тичини

Анотація

Глобальні виклики, пов'язані зі зміною клімату та дефіцитом чистих водних ресурсів, вимагають розробки інтегрованих та стійких технологічних рішень. Штучні водно-болотні угіддя (ШВБУ) визнані ефективною екологічно чистою технологією для очищення стічних вод. Проте їхня ефективність традиційно знижується у холодних кліматичних умовах через залежність біологічних процесів від температури. У цьому дослідженні представлено та проаналізовано інженерно оптимізований спосіб декарбонізації забрудненого повітря, поєднаний з біологічним очищенням стічних вод. Новизна підходу полягає у створенні багатофункціональної системи, яка вирішує проблему температурної залежності за рахунок активної терморегуляції через контрольований потік забрудненого повітря. Додатково впроваджено хімічну мінералізацію вуглекислого газу та проактивний біомоніторинг стану вищих водних рослин (ВВР) за допомогою мультиспектрального аналізу. Інтеграція цих компонентів перетворює ШВБУ з пасивного біофільтра на керовану платформу екологічної ремедіації з підвищеною стійкістю та можливостями рекуперації ресурсів, зокрема, виробництва відновлюваного палива з вилученої біомаси.

Ключові слова: штучні водно-болотні угіддя, декарбонізація, очищення стічних вод, вищі водні рослини, парникові гази.

Abstract

Global challenges related to climate change and the scarcity of clean water resources require the development of integrated and sustainable technological solutions. Constructed wetlands (CW) are recognized as an effective environmentally friendly technology for wastewater treatment. However, their effectiveness is traditionally reduced in cold climatic conditions due to the dependence of biological processes on temperature. This study presents and analyzes an engineering-optimized method of decarbonization of polluted air, combined with biological wastewater treatment. The novelty of the approach lies in the creation of a multifunctional system that solves the problem of temperature dependence due to active thermoregulation through a controlled flow of polluted air. Additionally, chemical mineralization of carbon dioxide and proactive biomonitoring of the state of higher aquatic plants (HAP) using multispectral analysis were introduced. The integration of these components transforms the SHVBU from a passive biofilter into a managed environmental remediation platform with increased sustainability and resource recovery capabilities, in particular, the production of renewable fuels from recovered biomass.

Keywords: artificial wetlands, decarbonization, wastewater treatment, higher aquatic plants, greenhouse gases.

Вступ

Сучасна цивілізація стикається з подвійним екологічним навантаженням: зростанням викидів парникових газів (ПГ), які спричиняють глобальне потепління, та необхідністю ефективної обробки зростаючих обсягів стічних вод. Водно-болотні угіддя відіграють ключову роль у боротьбі зі зміною клімату, оскільки, покриваючи лише близько 1% поверхні Землі, вони здатні зберігати понад 20% усього вуглецю, поглиненого екосистемами в усьому світі. Дослідження підтверджують, що штучно створені водно-болотні системи також мають потенціал функціонувати як значні вуглецеві поглиначі порівняно з традиційними методами очищення стічних вод. ВВР у ШВБУ фіксують атмосферний CO_2 у біомасі, а органічний вуглець накопичується в донних відкладеннях.

ШВБУ застосовуються для видалення органічних речовин, поживних речовин (азоту та фосфору) та важких металів завдяки синергетичній дії фізичних, хімічних та біологічних процесів. Ця технологія є привабливою завдяки високій ефективності, низькій вартості експлуатації та екологічній безпечності.

Незважаючи на значні переваги, широке застосування ШВБУ обмежене їхньою чутливістю до зовнішніх факторів. Зокрема, ефективність очищення ґрунтується на біологічних процесах, які значно сповільнюються при зниженні температури нижче оптимального діапазону. Крім того, традиційні ШВБУ (особливо поверхневого потоку) можуть бути джерелами метану (CH_4), який має значно вищий потенціал глобального потепління (GWP) порівняно з CO_2.

Запропонований підхід [1] має на меті розширити функціональні можливості ШВБУ, інтегрувавши процес декарбонізації повітря та забезпечивши стабільність біологічних процесів незалежно від кліматичних коливань. Це досягається шляхом запровадження проактивних інженерних операцій:

– попереднє очищення повітря скрубером для захисту біосистеми від твердих небіорозкладних частинок;

– активна терморегуляція за допомогою керованого потоку забрудненого повітря;

– фіксація CO_2 через хімічну мінералізацію у стічних водах;

– постійний біомоніторинг стану ВВР через мультиспектральний аналіз.

Ця інтеграція перетворює систему на платформу точного екологічного інжинірингу, де екосистема управляється за допомогою параметрів (температура, потік газу, біоіндикатори) для забезпечення максимальної продуктивності.

Результати дослідження

Процес декарбонізації розпочинається з подачі попередньо очищеного повітря у ємність зі стічними водами. Забруднене повітря очищується скрубером від твердих частинок, які не піддаються біорозкладанню, що є критичним кроком для захисту та довговічності подальшої біологічної системи. Потім очищене повітря подається через розпилювач у товщу стічних вод, забезпечуючи інтенсивний контакт "газ-рідина". Поглинання CO_2 відбувається у водному середовищі. Швидкість абсорбції CO_2 у водних розчинах значною мірою залежить від кінетики реакції CO_2 з гідроксильними іонами.

У системі, де стічні води містять гідрокарбонатні іони та іони кальцію (типові для жорстких вод), відбувається хімічна мінералізація вуглекислого газу. CO_2 взаємодіє з водою, утворюючи вугільну кислоту, яка, у свою чергу, реагує з гідрокарбонатом кальцію ($Ca(HCO_3)_2$), що призводить до утворення нерозчинного осаду карбонату кальцію ($CaCO_3$).

Цей процес забезпечує подвійну перевагу: фіксацію вуглецю в стабільній формі (твердий карбонатний осад) та пом'якшення води. Утворений осад може бути видалений, а пом'якшена вода ефективніше використовується для подальших біологічних процесів.

Біологічне очищення є основним механізмом у ШВБУ. Очищення стічних вод відбувається в аеробних умовах за допомогою мікроорганізмів, які іммобілізовані на кореневій системі вищих водних рослин.

Ризосфера ВВР, таких як очерет (Phragmites australis), є ключовим біореактором. Рослини забезпечують транспортування кисню до кореневої зони, створюючи аеробні умови, необхідні для окислення органічних забруднювачів та нітрифікації. Крім того, ВВР виділяють кореневі ексудати — органічний вуглець, який слугує джерелом енергії для мікроорганізмів, посилюючи біорозкладання органічних речовин (загальних зважених речовин (TSS), біохімічного споживання кисню ($БСК_5$) та хімічного споживання кисню (ХСК).

Пристрій, що реалізує спосіб комплексної ремедіації, є гібридною інженерною системою. Центральним елементом є ємність, заповнена стічними водами, де розміщений шар вищих водних рослин, закріплений до несучого елементу з перфорованим дном. Система управління включає: комп'ютер та мікроконтролерний пристрій, що керують процесами; давач температури; скрубер, який отримує забруднене повітря через трубопровід і видаляє тверді небіорозкладні частки; регулятор швидкості потоку, який контролюється комп'ютером і дозує подачу очищеного повітря через розпилювач у ємність.

Однією з ключових інновацій цього способу є активне управління температурою стічних вод. Біологічні процеси, що забезпечують очищення, залежать від життєдіяльності мікроорганізмів, які є найбільш активними в мезофільному діапазоні, зазвичай від 20 до 40°C. В умовах холодного клімату або взимку ефективність видалення поживних речовин (зокрема, азоту) у традиційних ШВБУ значно знижується. Запропонований метод вирішує цю проблему за рахунок використання забрудненого повітря як носія теплової енергії та інструмента регуляції теплообміну. Комп'ютер безперервно вимірює температуру стічних вод за допомогою давача. Якщо температура води падає нижче діапазону, сприятливого для ВВР та мікроорганізмів, комп'ютер регулює швидкість потоку забрудненого повітря.

Барботування газу через рідину у ємності – процес, типовий для бульбашкових колон – забезпечує ефективний теплообмін "газ-рідина". Швидкість потоку газу є ключовим параметром, що контролює інтенсивність цього теплообміну: чим вища швидкість потоку, тим інтенсивніший теплообмін та перемішування. Активне регулювання теплового навантаження дозволяє підтримувати оптимальний температурний режим, тим самим розширюючи географічні та сезонні межі застосування ШВБУ. Цей механізм перетворює систему з кліматично залежного фільтра на інженерно контрольований біореактор.

Для забезпечення постійної високої ефективності біологічного очищення та раннього виявлення стресу ВВР використовується інструментальна система біомоніторингу. Ця система ґрунтується на формуванні мультиспектральних зображень ВВР [2]. Принцип діагностики полягає в опосередкованому вимірюванні співвідношення між каротиноїдами та загальним хлорофілом. Хлорофіли мають піки поглинання у синій (близько 430-470 нм) та червоній (близько 640-660 нм) ділянках спектра, тоді як каротиноїди мають широкий діапазон поглинання у синій області (400–500 нм), що частково перекривається зі спектром хлорофілу. Спектральні індекси, що використовують ці смуги, є надійним інструментом для оцінки фізіологічного стану рослин. Підвищення співвідношення каротиноїдів до хлорофілу є чітким біоіндикатором фізіологічного стресу (наприклад, надлишкове забруднення, дефіцит поживних речовин або температурний шок), оскільки каротиноїди відіграють захисну роль, запобігаючи пошкодженню фотосинтетичного апарату. Комп'ютер аналізує ці дані, і якщо співвідношення відхиляється більш ніж на вибране порогове значення (наприклад, 30%), система ініціює заміну шару ВВР на нові рослини на стадії вегетативного росту. Така проактивна діагностика дозволяє уникнути зниження ефективності очищення, пов'язаного зі старінням або пошкодженням біомаси.

Інтегрований підхід забезпечує високу ефективність очищення завдяки послідовному застосуванню кількох бар'єрів. Попередня очистка повітря скрубером захищає біологічну систему від небіорозкладних твердих частинок. Подальша примусова аерація виконує кілька функцій одночасно: забезпечує киснем мікроорганізми для аеробного розкладання органіки, підтримує оптимальну температуру і забезпечує необхідний контакт CO_2 зі стічними водами для мінералізації. Перевага аеробного режиму, підтримуваного примусовою аерацією, полягає у підвищеній швидкості біорозкладання органічних забруднювачів. Зокрема, підповерхневі системи (HSSF) ефективно зменшують БСК5 та ХСК на 79.2% та 72.1% відповідно. Крім того, аерація сприяє нітрифікації, що є важливим для видалення амонійного азоту (NH_4), оскільки традиційні HSSF ШВБУ зазвичай мають низьку здатність до нітрифікації через аноксичні/анаеробні умови. Дослідження показують, що підповерхневі системи демонструють значно вищі показники видалення NH_4 порівняно з системами поверхневого потоку.

Важливим аспектом оцінки екологічної стійкості ШВБУ є їхній вплив на баланс парникових газів (ПГ), зокрема CH_4 та N_2O, які мають значно вищий GWP, ніж CO_2. Хоча ШВБУ є чистими поглиначами CO_2 завдяки фотосинтезу, викиди метану можуть нівелювати цей ефект. GWP метану у 34 рази перевищує GWP вуглекислого газу.

У традиційних ШВБУ поверхневого потоку (FWS) та HSSF-системах, де присутні анаеробні зони, можуть спостерігатися значні викиди метану. Однак примусова аерація, впроваджена в інтегрованій системі, є критичним механізмом для зменшення анаеробних умов, що призводить до значного зниження потоків CH_4. Насичення води киснем сприяє окисленню метану до CO_2. Хоча це призводить до збільшення загальних викидів CO_2, загальний екологічний виграш від пригнічення CH_4 є позитивним, забезпечуючи найнижчий загальний GWP серед порівнюваних систем.

Таким чином, технологічна оптимізація інтегрованого комплексу спрямована не лише на уловлювання CO_2, але й на боротьбу з високопотенційними парниковими газами, що робить його ефективним інструментом пом'якшення наслідків зміни клімату.

Концепція сталого розвитку вимагає, щоб технології очищення відходів були інтегровані в модель циркулярної економіки. У запропонованому способі вилучена біомаса вищих водних рослин, яка забруднена стічними водами, не підлягає простому захороненню. Замість цього, вона підсушується, брикетується та використовується як відновлюване паливо у котлах котелень. Використання ВВР, зокрема очерету (*Phragmites australis*), забезпечує значний потенціал енергетичної рекуперації. *Phragmites australis* є високопродуктивною культурою, здатна давати річний вихід біомаси до 105 тонн на гектар у оптимальних кліматичних умовах. Висушена біомаса має високу теплотворну здатність. Порівняння теплотворної здатності біомаси ВВР та традиційного палива демонструє її економічну життєздатність.

Застосування комп'ютерного керування забезпечує динамічну оптимізацію роботи системи. Мультиспектральний моніторинг стану рослин дозволяє оперативно діагностувати фізіологічний стрес. Якщо співвідношення каротиноїдів/хлорофілу вказує на погіршення стану ВВР, комп'ютер може не

лише ініціювати фізичну заміну біомаси, але й скоригувати інженерні параметри. Наприклад, якщо діагностовано біологічний стрес, спричинений надлишком забруднюючих речовин, або зміною температури, комп'ютер може змінити швидкість потоку повітря. Регулювання потоку повітря впливає на два ключові параметри: тепловий баланс та рівень кисню (аерацію). Підтримання оптимальних умов за температурою та рівнями забруднюючих речовин є критичним для життєдіяльності ВВР та мікроорганізмів у їхній кореневій системі. Це демонструє перехід від простого моніторингу до інтелектуального управління екосистемою, де комп'ютерний контроль забезпечує постійну високу продуктивність. Крім того, подача CO_2 у воду може мати позитивний зворотний зв'язок: підвищена концентрація CO_2 стимулює чисту швидкість фотосинтезу та загальний ріст біомаси ВВР. Таким чином, CO_2, уловлений з повітря, служить не лише для мінералізації, але й як додаткове джерело вуглецю, що сприяє збільшенню продуктивності біореактора.

Висновки

Інтегрований спосіб декарбонізації забрудненого повітря та очищення стічних вод, що ґрунтується на використанні оптимізованих штучних водно-болотних угідь, є високотехнологічною та екологічно стійкою інженерною розробкою. Спосіб успішно поєднує три функціональні процеси: попереднє очищення повітря скрубером, хімічну мінералізацію CO_2 у стічних водах та біологічне очищення в аеробних умовах. Впровадження активного контролю температури стічних вод за допомогою регульованого потоку повітря (барботування) усуває критичний недолік сезонної чутливості ШВБУ. Це дозволяє підтримувати оптимальні мезофільні умови для мікроорганізмів, забезпечуючи стабільно високу ефективність очищення незалежно від зовнішніх кліматичних умов. Примусова аерація має вирішальне значення для зниження загального потенціалу глобального потепління системи. Забезпечуючи аеробні умови, вона ефективно пригнічує утворення та викиди метану CH_4, який має значно вищий GWP, ніж CO_2. Технологія підтримує модель циркулярної економіки шляхом використання вилученої біомаси ВВР як відновлюваного палива (брикетування), забезпечуючи енергетичну рекуперацію та підвищуючи економічну життєздатність комплексу. Система моніторингу стану рослин за допомогою мультиспектрального аналізу співвідношення каротиноїдів до хлорофілу дозволяє здійснювати проактивну діагностику стресу та коригувати інженерні параметри (наприклад, швидкість подачі повітря), оптимізуючи функціонування біореактора. Для повного впровадження та комерціалізації інтегрованої технології необхідні подальші дослідження, спрямовані на деталізацію та масштабування процесів. Необхідно провести великомасштабні пілотні дослідження для підтвердження довгострокової ефективності видалення всіх груп забруднюючих речовин та динаміки парникових газів у польових умовах, оскільки більшість існуючих даних базується на пілотних дослідженнях. Потрібна розробка точних математичних моделей теплообміну "газ-рідина" у системі барботування для забезпечення точного прогнозування необхідної швидкості потоку повітря, що підтримує оптимальну температуру в залежності від зовнішніх кліматичних факторів та об’єму стічних вод. Подальше вивчення оптимальних мультиспектральних індексів та довжин хвиль, специфічних для різних видів ВВР та типів забруднюючих речовин, для підвищення чутливості та точності діагностики фізіологічного стресу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Петрук В.Г., Кватернюк С.М., Кватернюк О.Є., Мандебура С.В., Гончарук В.С., Латуша Д.Р., Максименко М.П. Спосіб декарбонізації забрудненого повітря з використанням штучних водно-болотних угідь: пат. 160767 Україна. № u202500115; заявл. 10.01.2025; опубл. 09.10.2025, Бюл. № 41/2025.

2. Кватернюк С. М., Петрук В. Г. Мультиспектральні методи та засоби комп’ютеризованого екологічного моніторингу водних об’єктів : монографія [Електронний ресурс]. Вінниця : ВНТУ, 2023. 314 с. – 8,4 Мб. ISBN 978-966-641-930-2. (PDF) https://press.vntu.edu.ua/index.php/ vntu/catalog/book/774.

Кватернюк Сергій Михайлович – д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com.

Мандебура Святослав Васильович – викладач кафедри хімії, екології та методики їх навчання Уманського державного педагогічного університету ім. Павла Тичини, м. Умань, e-mail: eko14b.mandebura@gmail.com.

Латуша Дмитро Русланович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dima.latusha27@gmail.com.

Максименко Максим Павлович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: obzzorator@gmail.com.

Шевченко Валентин Олександрович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: raptor.sad77@gmail.com.

Serhii M. Kvaterniuk – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com.

Sviatoslav V. Mandebura – Lecturer of the Department of Chemistry, Ecology and Methods of their teaching, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman, e-mail: eko14b.mandebura@gmail.com.

Dmytro R. Latusha – Postgraduate of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dima.latusha27@gmail.com.

Maxim P. Maksimenko – Postgraduate of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: obzzorator@gmail.com.

Valentyn O. Shevchenko – Postgraduate of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: raptor.sad77@gmail.com.

УДК 621.359:661.666.2

С. М. Кватернюк[1]
В. Г. Петрук[1]
А. М. Добровольська[1]

ВИКОРИСТАННЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРІВ НА ОСНОВІ ВЕРТИКАЛЬНО ВИРОЩЕНОГО ГРАФЕНУ ДЛЯ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ КОМУНАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

[1]Вінницький національний технічний університет

Анотація

Робота присвячена критичній проблемі стабілізації електромереж в умовах прискореного впровадження відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова генерація. Мінливість відновлюваних джерел енергії вимагає технологій накопичення енергії для потреб комунальної енергетики. Традиційні літій-іонні акумулятори, незважаючи на високу щільність енергії, обмежені за швидкістю зарядки/розрядки та мають недостатній термін служби для високоциклічних комунальних застосувань. Мета дослідження полягає у вивченні потенціалу суперконденсаторів на вертикально вирощеному графені, як рішення для накопичення енергії. Суперконденсатори пропонують надзвичайно високу питому потужність та циклічну довговічність, що є незамінним для демпфування пікових навантажень. Вертикально вирощений графен має унікальну 3D-наноархітектуру, що максимізує доступну площу поверхні та створює відкриті канали для швидкого іонного транспорту, що збільшує як питому ємність, так і швидкість заряду/розряду. Незважаючи на технічну придатність, головним бар'єром для масового впровадження є високий початковий капітал, що значно перевищує вартість літій-іонних акумуляторів. Проте, низькі експлуатаційні витрати технологій накопичення енергії на основі суперконденсаторів та вертикально вирощеного графену забезпечують нижчу загальну вартість у довгостроковій перспективі.

Ключові слова: суперконденсатори, вертикально вирощений графен, відновлювані джерела енергії, системи накопичення енергії, низьковуглецева економіка.

Abstract

The work is devoted to the critical problem of stabilizing power grids in the conditions of accelerated implementation of renewable energy sources, such as solar and wind generation. The variability of renewable energy sources requires energy storage technologies for the needs of municipal energy. Traditional lithium-ion batteries, despite their high energy density, are limited in charge/discharge speed and have insufficient service life for high-cycle utility applications. The aim of the research is to study the potential of supercapacitors on vertically grown graphene as an energy storage solution. Supercapacitors offer extremely high specific power and cyclic durability, which is indispensable for damping peak loads. Vertically grown graphene has a unique 3D nanoarchitecture that maximizes the available surface area and creates open channels for rapid ion transport, which increases both specific capacitance and charge/discharge rate. Despite the technical feasibility, the main barrier to mass adoption is the high initial capital, which significantly exceeds the cost of lithium-ion batteries. However, the low operating costs of supercapacitors and vertically grown graphene-based energy storage technologies ensure a lower overall cost in the long term.

Keywords: supercapacitors, vertically grown graphene, renewable energy sources, energy storage systems, low-carbon economy.

Вступ

Глобальні кліматичні імперативи вимагають прискореного переходу до низьковуглецевої економіки, що, своєю чергою, стимулює масове впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у комунальному енергетичному секторі. Зростання частки ВДЕ, таких як сонячна та вітрова генерація, створює суттєві виклики для стабільності електромереж. Мінливість виробництва ВДЕ, спричинена, наприклад, швидкою зміною вітрових потоків або появою хмарності, генерує високочастотні коливання та транзієнтні умови, що можуть призвести до нестабільності живлення, особливо в ізольованих мікромережах. Ефективна інтеграція ВДЕ вимагає систем накопичення енергії (СНЕ), які можуть не лише зберігати енергію протягом тривалого часу, але й забезпечувати потужність для підтримки якості електроенергії та регулювання частоти. Це вимагає від СНЕ надзвичайно високої щільності потужності та здатності до мільйонів циклів заряд/розряд.

Існуючі технології накопичення, зокрема літій-іонні (Li-ion) акумулятори, хоча і мають високу щільність енергії, часто обмежені щодо швидкості зарядки/розрядки та мають скінченний термін

служби, зазвичай витримуючи лише 2000 – 3000 циклів, перш ніж їхня ефективність почне суттєво знижуватися.

Суперконденсатори (СК) займають унікальну нішу як міст між звичайними конденсаторами та акумуляторними батареями. Вони пропонують вищу питому потужність (потенційно понад 100 Вт/г), здатність заряджатися та розряджатися за секунди, а також винятково довгий термін служби, що часто перевищує 1 млн. циклів та до 20 років експлуатації. Ці характеристики роблять СК незамінними для демпфування пікових навантажень та забезпечення миттєвої потужності в критичних сферах застосування, наприклад у системах безперебійного живлення. Основним технічним обмеженням комерційних СК залишається їх порівняно низька щільність енергії. Для розширення застосування СК та підвищення їх конкурентоспроможності критично важливим є розробка інноваційних електродних матеріалів, які можуть збільшити питому ємність без шкоди для швидкості.

Вертикально вирощений графен (ВВГ) є перспективним кандидатом для вирішення цієї проблеми. ВВГ має унікальну тривимірну (3D) пористу мережу, сформовану вертикально стоячими наноаркушами графену. Ця архітектура максимізує доступну площу поверхні та створює відкриті канали для іонного транспорту. Суперконденсатори на ВВГ можуть забезпечити необхідне поєднання високої питомої ємності та швидкості.

Результати дослідження

Суперконденсатори, також відомі як іоністори, функціонують за принципом електрохімічного накопичення заряду. Основний механізм, характерний для більшості вуглецевих СК, ґрунтується на явищі подвійного електричного шару (ПЕШ, EDLC). Заряд накопичується на межі розділу фаз між високопористим електродом і електролітом. На відміну від акумуляторів, де енергія зберігається у хімічних зв'язках, СК зберігають енергію в електростатичному полі. Накопичення заряду відбувається на ідеально поляризовуваному електроді, на якому не протікають фарадеєвські процеси, пов'язані з масоперенесенням. Ця фізична, а не хімічна природа зберігання заряду є фундаментальною причиною, чому СК мають феноменальну циклічну стабільність (понад 1 мільйон циклів) та надзвичайно швидку кінетику зарядки і розрядки.

Для підвищення енергетичної щільності СК використовується механізм псевдоємності, заснований на швидких і оборотних поверхневих фарадеєвських реакціях, які зазвичай досягаються шляхом інтеграції оксидів металів або провідних полімерів (наприклад, PEDOT:PSS) в електродний матеріал.

Переваги СК є критично важливими для комунальної енергетики:

1. Щільність потужності: СК забезпечують миттєву потужність, необхідну для інерційної підтримки. Їх питома потужність значно вища, ніж у літій-іонних батарей.
2. Довговічність: Тривалий термін служби (до 20 років) та стійкість до мільйонів циклів мінімізують витрати на обслуговування.
3. Ефективність: Високий ККД, що досягає 98%.
4. Безпека: СК демонструють високу термічну стабільність і менш схильні до перегріву та теплового розгону порівняно з Li-ion.

Незважаючи на ці переваги, СК мають недоліки, включаючи низьку питому енергію (1,5 – 3,9 Вт/кг) та низьку робочу напругу на комірку (до 2.85 В), що вимагає додаткових систем активного балансування елементів у великих модулях.

Вертикально орієнтований графен (ВВГ) являє собою інноваційну 3D-наноархітектуру, що складається з аркушів графену товщиною 2–10 шарів перпендикулярно до субстрату. Ця унікальна морфологія забезпечує видатні електрохімічні характеристики, необхідні для високопродуктивних СК.

Ключові властивості ВВГ, що оптимізують роботу СК:

– високе співвідношення площі поверхні до об'єму, що критично важливо для максимізації ємності ПЕШ;

– відкрита пориста мережа забезпечує мінімальний опір іонному транспорту, оскільки електроліт має прямі канали для швидкого доступу до всіх активних ділянок. Це безпосередньо прискорює кінетику переносу заряду, забезпечуючи надвисоку щільність потужності, ідеальну для FFR;

– висока електро- та теплопровідність ВВГ;

– гострі краї ВВГ-аркушів можуть сприяти збільшенню електрохімічної активності.

Контрольований синтез ВВГ є ключовим для досягнення бажаної морфології. Плазмово-посилене хімічне осадження з парової фази (PECVD) визнано одним із найбільш придатних методів.

PECVD забезпечує:

– високу швидкість росту;

– можливість каталізатор-вільного росту на великій площі;

– використання електричного поля, що сприяє вертикальній орієнтації.

ВВГ успішно вирощують на різноманітних субстратах, включаючи гнучкі матеріали, такі як вуглеволокно та пінонікель. Хоча ріст можливий при низьких температурах (наприклад, 225 °C), це може негативно вплинути на ступінь графітизації та відкритість морфології, які необхідні для забезпечення оптимальної швидкості заряду/розряду.

Для промислового впровадження існує суперечність між бажаною архітектурою ВВГ та економічною доцільністю. Виробництво високоякісних графенових листів (на відміну від графенових пластівців, які можна отримати електрохімічною ексфоліацією) є складним, вимагає використання складних машин, багатоетапних хімічних реакцій та високого контролю параметрів процесу. Це призводить до високої собівартості виробництва.

Дослідження підтверджують високу електрохімічну продуктивність ВВГ як електродного матеріалу. Композити на основі ВВГ досягли надзвичайно високої питомої ємності до 815 Ф/г при густині струму 3А/г. Ці значення є значно вищими, ніж у типових EDLC, що працюють за принципом ПЕШ.

Для комунальних мереж, що вимагають багаторазового використання, довговічність є критичним фактором. ВВГ-СК демонструють стійкість, яка значно перевершує акумулятори. Наприклад, було підтверджено утримання 79% ємності асиметричного пристрою після 12000 циклів, а також збереження 91,5% ємності після 10 тис. циклів для активованого графенового суперконденсатора. Така стабільність навіть у жорстких умовах тестування робить ВВГ-СК ідеальними для високоциклічних мережевих застосувань, де часта заміна обладнання призводить до високих експлуатаційних витрат.

Для задоволення широкого спектра вимог мережі, що включає як миттєву потужність, так і тривале зберігання, стратегія гібридизації є найбільш перспективною. Гібридні СК поєднують високу потужність СК (використовуючи ВВГ) з високою енергією літій-іонних батарей або псевдоємнісних матеріалів. Наприклад, композити відновленого оксиду графену з PEDOT:PSS демонструють високу питому ємність (434 Ф/г) та виняткову стабільність. Гібридні системи дозволяють мінімізувати необхідність заміни обладнання, одночасно покриваючи потреби мережі у короткостроковому (секунди) та середньостроковому (хвилини) регулюванні. Проте, практична реалізація гібридних систем вимагає подальшого розвитку систем керування та силової електроніки.

Декарбонізація міського транспорту, зокрема, електрифікація автобусних парків, вимагає інфраструктури для ультрашвидкої зарядки. Ці зарядні станції, якщо вони підключені безпосередньо до мережі, створюють високі пікові навантаження. СК є ідеальним рішенням для буферизації такого навантаження. На зарядній станції СК виступають як буферний накопичувач: вони повільно беруть енергію з мережі, уникаючи пікових навантажень, а потім швидко (за 30 секунд) розряджають її в електромобіль. Ця схема дозволяє заряджати міський громадський транспорт, забезпечуючи запас ходу до 10 км, без дестабілізації розподільчої мережі. Висока питома потужність та довговічність ВВГ-СК особливо цінні для цього застосування, оскільки вони витримують мільйони інтенсивних циклів, які є типовими для міських транспортних систем.

Основним технологічним викликом є масштабування виробництва високоякісного ВВГ. Методи, що використовуються для отримання унікальної 3D-архітектури, такі як CVD, є складними. Ці процеси можуть бути дорогими, вимагають контролю забруднення та використання небезпечних хімічних речовин, що створює значні перешкоди для масового виробництва. Необхідно розробити економічно доцільні методи синтезу, які б підтримували високу продуктивність.

Для інтеграції ВВГ-СК у комунальну енергетику необхідно підвищити обізнаність про їхні унікальні переваги. Важливо включити СК у загальногалузеві обговорення технологій накопичення енергії та фінансувати демонстраційні проекти, які можуть довести їхню конкурентоспроможність у реальних сценаріях FFR та управління піковими навантаженнями. Також потрібні подальші дослідження та інвестиції в силову електроніку та системи контролю, необхідні для ефективного практичного застосування гібридних СНЕ, що поєднують ВВГ-СК і високоенергетичні накопичувачі.

Висновки

Суперконденсатори на основі вертикально вирощеного графену є високопотужним рішенням, яке може відігравати ключову роль у декарбонізації комунальної енергетики. Унікальна 3D-наноархітектура ВВГ забезпечує швидку кінетику переносу заряду, необхідну для інерційної підтримки та FFR, що є критично важливим для стабілізації мереж з високою часткою ВДЕ. ВВГ-СК демонструють високу питому ємність та циклічну довговічність, підтверджуючи їхню технічну придатність для вимогливих комунальних застосувань, включаючи буферні системи для міського електротранспорту. Для повного розкриття потенціалу ВВГ-СК необхідні подальші цілеспрямовані дослі-

дження, зокрема, розробка масштабованих та економічних методів створення низькотемпературних, високопродуктивних і екологічно чистих процесів для вирощування високоякісного ВВГ, що знизить бар'єри CAPEX та вирішить проблеми масштабування. Дослідження мають бути зосереджені на інженерії гібридних пристроїв, які ефективно поєднують високу щільність потужності ВВГ-СК з високоенергетичними компонентами для створення систем, здатних покривати як короткочасні, так і середньострокові потреби мережі. Поглиблене вивчення впливу таких факторів, як специфічна площа поверхні, ступінь допінгу (особливо азотом) та розподіл пор за розмірами, для максимального підвищення питомої ємності та швидкості іонної дифузії.

Кватернюк Сергій Михайлович – д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com.

Петрук Василь Григорович – д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: petrukvg@gmail.com .

Добровольська Альона Миколаївна – студентка групи ЕКО-22б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: alyonadobro12@gmail.com.

Serhii M. Kvaterniuk – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com.

Vasyl G. Petruk – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: petrukvg@gmail.com.

Alyona M. Dobrovolska – student of ECO-22b group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : alyonadobro12@gmail.com.

УДК 661.72

І. В. Васильківський
Т. С. Тітов
Т. І. Сидорук
О. В. Шеверук

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВІДХОДІВ НЕМИРІВСЬКОГО СПИРТОВОГО ЗАВОДУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано виробничу діяльність Немирівського спиртового заводу, та його вплив на довкілля. Дана характеристика джерел утворення газових викидів забруднюючих речовин, рідких стоків та твердих відходів підприємства. Запропоновані природоохоронні заходи спрямовані на підвищення екологічної безпеки Немирівського спиртового заводу та використання хімічних відходів спиртового виробництва.

Ключові слова: спиртова промисловість, етиловий спирт, бражка, забруднюючі речовини, викиди спиртового виробництва, відходи спиртового виробництва, дріжджі, після спиртова барда, біопаливо.

Abstract

The production activities of the Nemyriv Distillery and its impact on the environment are analyzed. The sources of gaseous emissions of pollutants, liquid effluents and solid waste of the enterprise are characterized. Environmental protection measures are proposed to improve the environmental safety of the Nemyriv Distillery and the use of chemical waste from alcohol production.

Keywords: alcohol industry, ethyl alcohol, mash, pollutants, alcohol production emissions, alcohol production waste, yeast, after-alcohol lees, biofuel.

Вступ

Спиртова промисловість є однією з бюджетоутворюючих і найприбутковіших галузей української економіки, вона відіграє важливу роль у ефективному функціонуванні інших галузей: харчової, а також фармацевтичної, агропромислового та паливно-енергетичного комплексів. Спирт є основним продуктом для виготовлення лікеро-горілчаних виробів. Останнім часом набуває значного поширення біоетанол, досить перспективний вид палива. Заводи спиртової промисловості, окрім основного продукту – спирту, виробляють ще близько 30 видів продукції, а саме: плодоовочевих консервів, солоду житнього, солоду пивоварного, концентрату квасного сусла, мінеральної води, слабоалкогольних напоїв, кондитерських виробів, оцту спиртового харчового, майонезу, екстракту хмелю, дріжджів, вина, парфумів, розчинників, морилки, незамерзаючих миючих рідин тощо.

Спиртова промисловість України — одна з провідних галузей за утворенням відходів і стічних вод. На сьогоднішній день в спиртовій промисловості склалася достатньо складна екологічна ситуація з утилізацією основного відходу виробництва – барди, яка в натуральному вигляді не має попиту на ринку, і її потрібно утилізувати. На 80 спиртозаводах України протягом року утворюється близько 4 млн $м^3$ мелясної та 3,6–3,8 млн $м^3$ зернової барди, а також близько 8 млн $м^3$ слабозабруднених стічних вод. Ці стічні води не можуть без очищення скидатися у водойми. Мелясна барда на більшості заводів не утилізується і без очищення разом зі стічними водами скидається у відстійники, де загниває, забруднюючи грунтові води і повітря. Складність технологічних процесів призводить до утворення значних викидів в атмосферне повітря, стічних вод і утворення промислових відходів.

Метою роботи є екологічна оцінка відходів Немирівського спиртового заводу та розроблення рекомендацій для підвищення рівня екологічної безпеки підприємства і зменшення його впливу на навколишнє середовище.

Основна частина

Спиртова галузь Вінниччини, яка сьогодні переживає не кращі часи, становить всього 14

спиртзаводів, з них 12 входили до складу вінницького об'єднання "Поділля спирт". В рамках затвердженої Кабінетом міністрів України програми реформування та розвитку спиртової галузі на 2020-2023 роки, відбулася «мала приватизації» і всі спиртзаводи Вінниччини отримали своїх нових власників. На сьогоднішній день, на повну потужність працює лише Немирівський спиртзавод, придбаний у Фонду державного майна України компанією "Nemiroff", яка інвестувала у реконструкцію і модернізацію підприємства великі фінансові ресурси. Компанія "Nemiroff" інвестувала від $1,2 млн до $1,5 млн в модернізацію придбаного заводу, зокрема в обладнання, технології та персонал для того, щоб зробити виробництво відповідним до стандартів компанії [1, 2].

ТОВ «Nemiroff» − горілчана компанія харчової промисловості, заснована 1992 року в Україні. Сьогодні це провідний світовий виробник високоякісного алкоголю і один з лідерів світового ринку алкоголю, відомий в 80-ти країнах світу. Близько 40% всієї експортованої з України горілки - виробництва Nemiroff. Компанія входить в топ-3 постачальників горілки в магазинах безмитної торгівлі Duty Free в світі. Виробництво і розлив продукції Nemiroff здійснюється на власних потужностях заводу в місті Немирові (Вінницька область України). У 2024 році компанія Nemiroff завершила модернізацію Немирівського спиртозаводу, потужності підприємства становлять 9 тис. дал на місяць, що повністю закриває потреби в харчовому спирті лікеро-горілчаного заводу компанії [2].

Загальний вигляд Немирівського спиртового заводу представлений на рисунку 1 [1]. Промисловий майданчик Немирівського спиртового заводу загалом налічує 27 джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря [1].



Рис. 1. Цетральний вхід Немирівського спиртового заводу

Основними джерелами виникнення забруднюючих речовин є спиртовий завод з котельнею та допоміжними дільницями. Основними забруднюючими речовинами є: оксид вуглецю, діоксид азоту, оксид заліза, оксид марганцю, пил мучний, пил зерновий, спирт етиловий, хлор, пари дизпалива, діоксид вуглецю, формальдегід. Викиди забруднюючих речовин на підприємстві здійснюються через вихлопи циклонів, вентиляційні труби, дефлектори, димові труби. Найбільші викиди забруднюючих речовин в атмосферу – від котельні: вуглецю оксид і діоксид вуглецю. Частково викиди на підприємстві носять неорганізований характер. Перевищень гранично-допустимих концентрацій забруднюючих речовин на межі санітарно-захисної зони підприємства та в контрольних точках не виявлено [3].

Спиртовими заводами Вінницької області виробляється зернова та мелясна барда і лише незначна частина якої використовується для кормів. На Немирівському спиртовому заводі, що переробляє зерно, утворюється після спиртова барда, яка містить практично всі компоненти вихідної сировини, окрім крохмалю. До того ж, барда збагачується залишковими спиртовими дріжджами, що збільшує її кормову цінність. Технологія виробництва етилового спирту з крохмалевмісної сировини (зерна) реалізована на Немирівському спиртовому заводі представлена на рисунку 2.

Технологія етилового спирту ґрунтується на ферментативному гідролізі крохмалю, який міститься в рослинній сировині, і зброджуванні дріжджовими мікроорганізмами утворених цукрів (а також цукрів з меляси і цукрового буряку) в спирт, тобто, це – біохімічна технологія [4, 5]. Головні технологічні процеси:

1) розварювання рослинної сировини з водою;

2) охолодження розвареної рослинної маси і обробка крохмалю ферментами солоду для утворення цукрів;

3) зброджування цукрів дріжджами;

4) відгін з бражки спирту і його ректифікація.

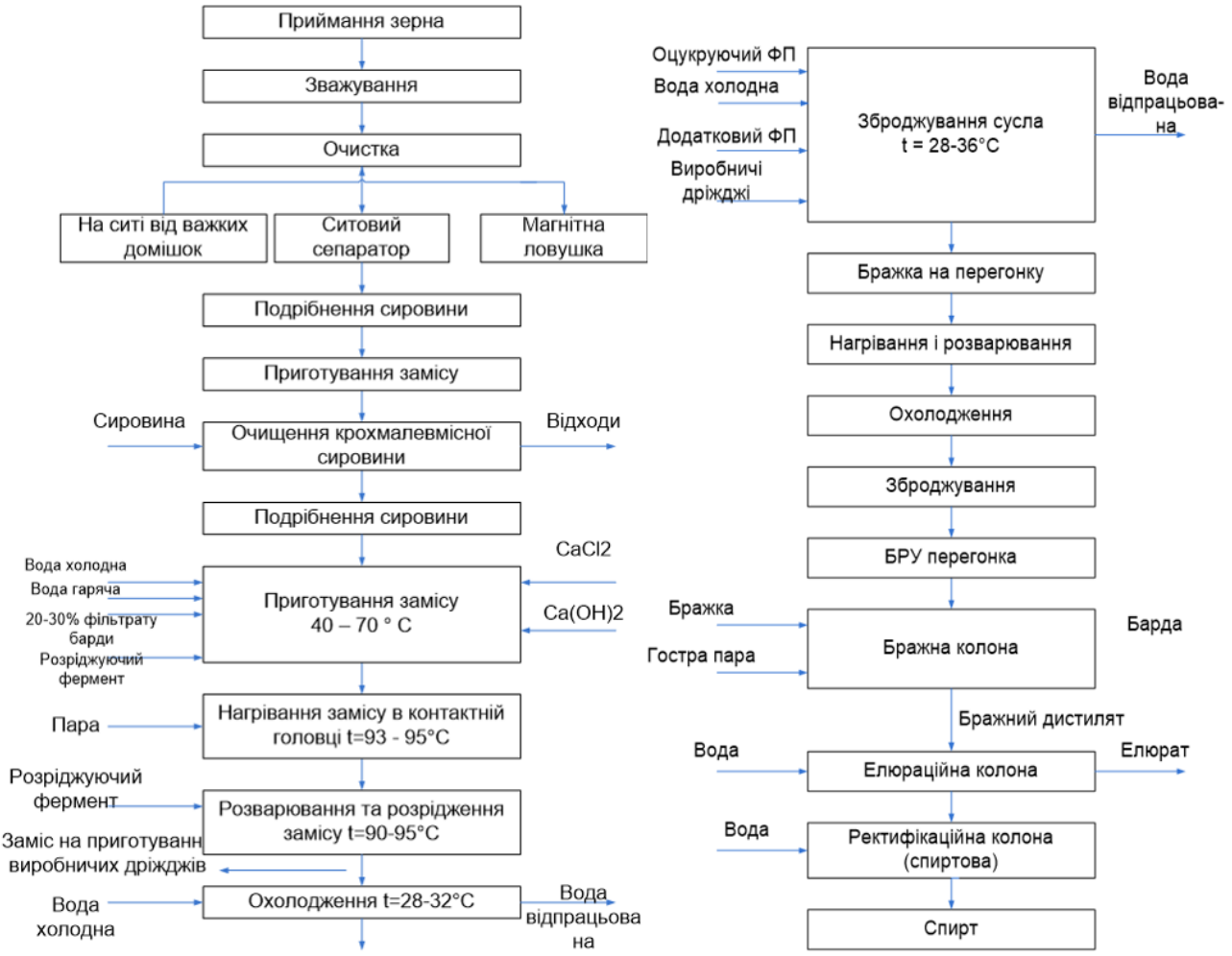


Рис. 2. Загальна схема спиртового виробництва

В процесі виробництва спирту утворюються побічні продукти – вуглекислий газ, сивушна олія, ефіри та альдегіди, а також відходи – барда (залишок після відгону спирту з бражки). Барди утворюється в 11-12 разів більше, ніж вихід спирту [4, 5]. Стічні води спиртової промисловості, що зливаються на поля фільтрації, відкриті водойми, швидко загнивають, виділяють неприємні запахи, а також є причиною розмноження комах. Ці забруднення розповсюджуються в межах повітряного басейну досить нерівномірно, їхня концентрація у повітрі в окремих районах може досягати загрозливих для здоров'я населення розмірів. Крім того, з бардою втрачаються корисні речовини, що в ній містяться. Несвоєчасна утилізація барди, тривале зберігання на території заводу, скидання на поля фільтрації, де природним шляхом (повільно) відбувається механічне, хімічне і біологічне очищення, призводить до зараження і забруднення ґрунтових вод, водойм і атмосферного повітря. Згідно з Державними санітарними правилами планування та забудови населених пунктів [6] і Правилами безпеки для спиртового та лікеро-горілчаного виробництва [7], санітарно-захисна зона (СЗЗ) підприємства з виробництва харчового спирту має бути не меншою 100 м [6, 7].

Стічні води, які утворюються на Немирівському спиртовому заводі і підприємствах спиртової промисловості, за наявністю і складом органічних забруднювачів належать до категорії висококонцентрованих, які характеризуються високим ступенем забруднення. Стічні води в спиртовій промисловості поділяють на три основні групи:

– промислові води, що утворюються безпосередньо при використанні води в технологічних операціях. Ці води забруднені усіма речовинами, які використовуються в технологічних процесах даного виробництва.
– промислові води від допоміжних операцій та процесів, які утворюються під час поверхневого охолодження технологічної апаратури та енергетичних агрегатів. Такі води в основному характеризуються підвищеною температурою.
– промислові води після санітарно-гігієнічної дезінфекції приміщень, трубопроводів, машин і апаратів. Такі стічні води забруднені лугами та іншими токсичними сполуками. Їх бажано відводити кількома самостійними потоками, але на більшості спиртових заводах їх відводять загальним потоком. Об'єднуючи забруднені стічні води на заводах спиртової промисловості, слід враховувати можливість взаємодії компонентів різних вод з виділенням значної кількості газоподібних речовин (вибухонебезпечних та інших), а також утворенням осадів, токсичних, канцерогенних речовин тощо.

На різних підприємствах склад і кількість стічних вод істотно розрізняються. В таблиці 1 наведено характеристику стічних вод спиртових підприємств, на яких в якості сировини використовують мелясу [4, 8].

Таблиця 1 – Характеристика стоків вод спиртових заводів

Показники	Категорія стічних вод				Барда первинна	Барда вторинна
	перша	друга	третя	четверта		
Температура, С	30-60	20-100	80-100	20-90	95-98	25-30
Запах, бали	0-3	3-5	4-7	3-64	5,0	5,0
pH	7,0-8,0	8-12	4,4-6,4	5,5-6,2	5,0-5,5	4,5-5,0
Прозорість, см	12-30	10-25	15-25	0-2	0	0
Сухий залишок, г/л	0,35-0	13-20	0,3-0,6	0,45-10,0	70-85	50-65
ХСК, мг O_2/л	5-40	10-40	60-350	1000-4000	49000-66900	20000-48000
$БСК_{повн}$, мг O_2/л	5-12	5-80	180-300	950-4500	44000-59000	18000-4:000
$БСК_5$, мг O_2/л	2-10	2-40	100-2500	600-3700	29000-48000	15500-29900
Азот загальний, мг/л	-	-	-	-	2500-3860	940-2500
Леткі кислоти, мг/л	-	-	-	-	2300-3900	300-720

Воду класифікують за забрудненням за величиною біохімічного споживання кисню (БСК) на 4 категорії, які відображають рівень органічного забруднення. Ці категорії визначають якість води, де вищі значення БСК вказують на значне забруднення.

Категорія 1 (чиста вода): Має низький рівень БСК, що свідчить про відсутність або мінімальну наявність органічних забруднень.

Категорія 2 (слабозабруднена вода): БСК трохи вище, вказує на незначне забруднення.

Категорія 3 (забруднена вода): Має помірно високий рівень БСК, що вказує на суттєве забруднення органічними речовинами.

Категорія 4 (дуже забруднена вода): Характеризується високим значенням БСК, що свідчить про значне забруднення, яке може бути небезпечним для водних екосистем.

Основним технологічним відходом спиртового виробництва, що утворюється після перегонки, є барда. В результаті розкладання барди утворюються аміак, окисли азоту, метан, діоксид вуглецю, сірководень, оцтова, молочна і масляна кислоти, що призводить перевищення допустимих показників шкідливих речовин. Саме тому необхідні технології утилізації після спиртової барди. Основною проблемою при утилізації після спиртової барди є переробка рідкої фази, так званого «фугату». За своїм хімічним складом свіжа зернова барда є досить поживним кормом, і раніше вона традиційно використовувалася для відгодівлі худоби на великих відгодівельних комплексах. У сушеному вигляді її можна використовувати для годівлі свиней, птиці, дрібних сільськогосподарських тварин і риб.

Проте останніми роками тваринницькі комплекси у багатьох регіонах ліквідовано, і значна кількість барди не використовується. Шляхом переробки з неї отримують гліцерин, глютамінову кислоту і глютамат натрію, бетаїн, ацидін медичного призначення, кормові дріжжі, кормовий концентрат КМБ-12, склад якого вказано в таблиці 2 [8].

Перспективним є використання барди як добрива. Разом з тим, при неконтрольованому внесення в ґрунт великих обсягів можливий розвиток ряду негативних змін, барда має кислу реакцію, через що поступово відбувається закислення ґрунту. Для отримання добрива спиртову барду змішують з

негашеним вапном в кількості 10-15% від її загальної маси, норма витрати такого добрива становить 0,6-0,8 т/га. Але кількість внесеного вапна 15% – гранична, так як при перевищенні даного показника знижується вміст азоту і, відповідно, ефективність такого добрива (табл. 3) [4, 8].

Таблиця 2 – Склад кормового концентрату КМБ-12

Вітаміни	Кількість, мг/кг натуральної маси
В12 (ціанокобаламін)	25-30
Рибофлавін	50-60
Піридоксин	30-40
Тіамін	1-2
Пантотенова кислота	12-15
Нікотинова кислота	80-90
Фолієва кислота	180-200
Холін	5000

Таблиця 3 – Залежність хімічного складу добрива від кількості внесеного вапна в після спиртову барду

Дози внесеного вапна	Загальний азот, %	Вміст білкових речовин, %	pH
Спиртова барда (без внесення вапна)	4,87	30,45	5,0
Спиртова барда + 2-9% вапна	3,12	23,12	5,9
Спиртова барда + 10-15% вапна	2,63	18,18	9,8
Спиртова барда + 16-20% вапна	1,53	7,18	13,4

Враховуючи західноєвропейський досвід, доцільно на спиртових заводах України переводити барду в сухий стан для підвищення ефективності її використання. Суха барда придатніша до тривалого зберігання, крім того, її можна використовувати для виготовлення комбікормів. Таким продуктом є суха гранульована барда, відома у всьому світі як DDGS (Distillers Dried Grainwith Solubles). Цей продукт є цінним білковим кормом і має великий попит на світовому ринку. Технологічний процес отримання продукту DDGS полягає в концентрації зернової барди, висушуванні отриманого концентрату і гранулюванні останнього. Ринкова вартість сухої гранулюваної після спиртової барди (DDGS) складає 8000-10000 грн за тонну в залежності від виробника. Технологічна схема виробництва DDGS можна розкласти на 4 стадії: стадія декантування сирої барди, упарювання фугата, сушка вологого залишку і гранулювання сухої барди (рисунок 3).



Рис. 3. Схема виготовлення сухої гранульованої барди

Декантування барди відбувається розділенням барди на рідку (фугат) і дисперсну (вологий залишок) фазу, яка здійснюється з використанням декантерних центрифуг. Упарювання фугату барди проводиться до вмісту 40% сухих речовин. Сушка суміші вологого залишку з концентрованим фугатом здійснюється на роторно-трубчастих сушках. Завершальна стадія виробництва - гранулювання сухої барди. Крім того, при гранулюванні сухої барди з метою використання її в якості корму для тварин можна вводити до її складу інші компоненти, наприклад різні вітаміни і добавки, тобто отримувати повноцінні готові комбікорми і таким чином підвищувати цінність готового продукту.

Встановлено, що в раціон великої рогатої худоби доцільно додавати висушену барду, яка містить всі корисні речовини рідкої барди, але кормова цінність якої вища на 30 % завдяки більшій засвоюваності білка. Фізико-хімічний склад натуральної, упареної і сухої барди наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Фізико-хімічний склад натуральної, упареної і сухої барди

Вигляд барди	СР, %	Структура сухих речовин					
		Азот			Протеїн	Білок	Зола
		загальний	білковий	небілковий			
Натуральна	7,5-8,5	4,2	3,1	1,1	26,25	19,37	5,7
Упарена	15-16	4,2	3,2	1,0	26,25	20,00	5,36
Суха	86-60	4,86	3,2	1,66	26,68	24,00	5,38

За органолептичними і фізико-хімічними показниками DDGS відповідає вимогам, представленим у таблиці 5.

Таблиця 5 – Фізико-хімічні показники сухої гранульованої післяспиртової барди

Найменування показника	Характеристики
Зовнішній вигляд	Розсипний продукт або гранули
Колір	Від ясно-жовтого до коричневого
Запах	Хлібний-дріжджовий, властивий зерновій сировині і дріжджам, без стороннього запаху
Масова частка вологи, %, не більше	10,0
Для гранульованих продуктів %, не більше	11,0
Масова частка сирого протеїну, не менше	25,0 (30,0)
	18,0
Масова частка вуглеводів (на СР), не більше	25,0
Масова частка золи (на СР), не більше	10,0
Діаметр гранул, мм, не більше	10,0
Металомагнітна домішка: частинки розміром до 2 мм включно в 1 кг продукту, міліграм, не більше	30,0
Токсичність	Не допускається

Примітка: СР – суха речовина

Гранульована після спиртова барда має теплофізичні властивості співрозмірні із деревиною і може використовуватися в якості біопалива (таблиця 6).

Таблиця 6 – Теплофізичні властивості зернової барди

Показники		Барда гранульована	Деревина
Вологість	W %	8,285	35
Зольність	A %	1,7	0,6
Леткі речовини	V %	81,39	85
Теплота згоряння: по сухій речовині (СР)	кДж/кг	20 158	18800

Таким чином, суха гранульована після спиртова барда є екологічно чистим біопаливом з високою теплотворною здатністю, порівняно із деревиною і деревним вугіллям.

Після спиртову барду, зважаючи на значний вміст в ній білкових речовин, можна використати для виробництва біогазу. Біогаз є продуктом бродіння (метанової ферментації) органічних відходів будь-якого походження. Ефективною з точки зору енергозбереження та охорони довкілля є біологічна очистка після спиртової барди метаноутворюючими бактеріями з отриманням біогазу. З 1 т зернової барди можна отримати 40 м³ біогазу, а з 1 т мелясної барди – 45 м³, з вмістом метану 65-70 % [9].

Висновки

Екологія спиртової промисловості знаходиться у катастрофічному стані. Спиртові заводи практично не мають очисних споруд. Причиною цього стало те, що в процесі створення цих виробництв не передбачалося будівництво очисних споруд по очищенню і переробці відходів. Основним напрямком екологізації спиртової галузі є створення максимально безвідходного виробництва за рахунок вдосконалення і модернізації технологічних процесів.

Для підвищення рівня екологічної безпеки відходів Немирівського спиртового заводу необхідно налагодити процес утилізації після спиртової барди шляхом її висушування з подальшим гранулюванням. Висушена барда є цінною речовиною і може бути використана як корм або паливо. Кормові гранули з барди - це екологічний та економічний корм, що містить багато корисних речовин і покращує продуктивність тварин. Вони легко перетравлюються, підходять для великої рогатої худоби, свиней і птахів, сприяють зростанню маси та поліпшенню молочної продуктивності, легко зберігаються та транспортуються, можуть бути додатком до інших кормів.

Це дозволить значно поліпшити екологічну ситуацію навколо заводу, а крім того підвищити ефективність спиртового виробництва. Прибуток від реалізації сухої гранульованої барди дозволить покрити 35-40% виробничих витрат і понизити собівартість спирту на 20-30%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мельничук, О. А. (2023). Немирівський спиртовий завод (Вперше опубліковано 2021). І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін. (Редкол.), Енциклопедія Сучасної України (Т. 23). Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України. https://esu.com.ua/article-73530

2. Nemiroff [Електронний ресурс]: https://www.nemiroff.vodka - Режим доступу https://www.nemiroff.vodka: вільний. Назва з екрану.

3. На Вінниччині влада райцентру збирає докази для закриття через суд спиртзаводу, сморід від якого перетворив життя людей на пекло, 23.08.2018. URL: http://www.vinnitsa.info/news/na-vinnichchini-vlada-raytsentru-zbiraye-dokazi-dlya-zakrittya-cherez-sud-spirtzavodu-smorid-vid-yakogo-peretvoriv-zhittya-lyudey-na-peklo.html

4. Маринченко В.О. Технологія спирту / В.А. Домарецький, П.Л. Шиян, В.М. Швець, П.С. Циганков, І.Д. Жолнер. – Вінниця: «Поділля-2000», 2003. – 496 с.

5. Довідник працівника спиртової промисловості (виробництво спирту з меляси), за загальною ред. В.П. Рудницького. Київ: Техніка, 1972, – 384 с.

6. Дерхавні санітарні правила планування та забудови населених пунктів (Затвердхено Наказом МОЗ України від 19 червня 1996 р. – №173. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96.

7. НПАОП 15.9-1.11-97. Правила безпеки для спиртового та лікеро- горілчаного виробницт- ва. URL: https://dnaop.com/html/32405_29.html

8. Кошель М., Дудник А., Каранов Ю., Ліптус В., Добриловський Б. Утилізація післяспиртової барди й очищення стоків з одержанням білкового корму й біогазу. Пропозиція, 2002, – №11. – 19 с.

9. Інноваційні аспекти виробництва біопалива в Україні: стан, проблеми, перспективи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/portal/chem_biol/nvnau/2009_142_1/09sva.pdf

Васильківський Ігор Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: igor.vntu@gmail.com

Тітов Тарас Сергійович – канд. хім. наук, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Сидорук Тетяна Іванівна – канд. хім. наук, доцент, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Шеверук Олександр Васильович – студ. групи ТЗД-24м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: sasaseveruk95@gmail.com

Igor V. Vasylkivskiy – Ph.D., Docent, Associate Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: igor.vntu@gmail.com

Taras S. Titov – Ph.D. (Chem.), Associate Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Tetiana I. Sydoruk – Ph.D. (Chem.), Docent, Associate Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Oleksandr V. Sheveruk – student, Faculty of Civil Engineering, Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: sasaseveruk95@gmail.com

УДК 664.1

І. В. Васильківський
Т. С. Тітов
Т. І. Сидорук
І. О. Кузнець

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВІДХОДІВ КРИЖОПІЛЬСЬКОГО ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано виробничу діяльність приватного акціонерного товариства «Крижопільський цукровий завод», та його вплив на довкілля. Дана характеристика джерел утворення газових викидів забруднюючих речовин, рідких стоків та твердих відходів підприємства. Запропоновані природоохоронні заходи спрямовані на підвищення екологічної безпеки приватного акціонерного товариства «Крижопільський цукровий завод».

Ключові слова: цукрова промисловість, виробництво цукру, відходи цукрового виробництва, газові викиди підприємств цукрової промисловості, забруднення атмосферного повітря, ресурсозбереження, енергозбереження.

Abstract

The production activities of the private joint-stock company "Kryzhopil Sugar Plant" and its impact on the environment are analyzed. The sources of gaseous emissions of pollutants, liquid effluents and solid waste of the enterprise are characterized. The proposed environmental protection measures are aimed at increasing the environmental safety of the private joint-stock company "Kryzhopil Sugar Plant".

Keywords: sugar industry, sugar production, sugar production waste, gaseous emissions of sugar industry enterprises, atmospheric air pollution, resource conservation, energy conservation.

Вступ

Цукрова галузь харчової промисловості завжди була найрозвинутішою серед інших галузей національної економіки України. Цукрова промисловість є найскладнішою за технологічними процесами посеред інших галузей харчової промисловості. Можна відзначити що цукрова промисловість дедалі частіше переходить на виробництво цукру в більших масштабах, а також на цукрових заводах збільшується період переробки цукрового буряку. Велика кількість складних технологічних процесів призводить до утворення значних викидів в атмосферне повітря, має значний показник водоспоживання і утворення промислових відходів.

Метою роботи є екологічна оцінка впливу виробництва цукру з цукрових буряків приватного акціонерного товариства «Крижопільський цукровий завод» та розроблення рекомендацій для підвищення рівня екологічної безпеки підприємства і зменшення його впливу на навколишнє середовище.

Загальні відомості про підприємство

Приватне акціонерне товариство «Крижопільський цукровий завод» входить до складу Приватного Акціонерного Товариства «Продовольча компанія «Поділля». Приватне акціонерне товариство «Крижопільський цукровий завод» спеціалізується на переробці цукрового буряка та виробництві цукру. Виробництво цукру-піску здійснюється по типовій технологічній схемі представленій на рисунку 1.

Промисловий майданчик ПАТ «Крижопільський цукровий завод» налічує загалом 41 джерело викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря: труба сатуратора І ступеню, труба сатуратора ІІ ступеню, труба скиду сатураційного газу, труба сульфітації сиропу, труба сульфітації води, труба сушильного барабану, бункер розвантаження вапняку та вугілля, дробарка вапняку, грохот вапняку, транспортер вапнякового каменю та вугілля, відвантаження відходів вугілля, труба вапногасильного апарату, труба вивантаження негашеного вапна (4 шт.), розвантаження вугілля на склад, склад

зберігання вугілля, завантаження вугілля зі складу, розвантаження вапняку на склад, склад зберігання вапняку, завантаження вапняку зі складу, димова труба котла (для обшпарки цистерн), злив мазуту із залізничних цистерн, дихальний клапан приймального резервуару мазуту, насоси перекачування мазуту, дихальний клапан резервуару зберігання мазуту (2 шт.), труба котлів №1,2, труба опалювального котла (службові приміщення, 2 шт.), пост електрозварювання (2 шт.), заправні пристрої дизельного палива і бензину, дихальний клапан резервуару для зберігання нафтопродуктів (2 шт.), акумуляторна, бетонозмішувач, навантажувач буряків (2 шт.), труба опалювального котла, поля фільтрації [1].

Переробна потужність цукрового заводу становить 8000 т буряків на добу. Підприємство виробляє цукор I-II категорії та реалізує його під торговою маркою «ПрАТ «Продовольча компанія «Поділля»».

Основними відходами від виробництва цукру з буряків є жом, дифузійна вода, дефекаційний осад, меляса, а при збиранні цукрових буряків з поля – бурякове листя та стебло (бурячиння).

Вихід бурячиння складає 50-70, свіжого жому 70-90, дефекаційного осаду 8-12, меляси 70-90 відсотків від переробленої сировини.

Сто кілограм буряку містить близько 25 кілограм сухої речовини, з них 15-18 кілограм цукрози. Вихід цукру, готової продукції складає 12-15 кілограм. У відходи переходять 10-13 кілограм сухої речовини [1-4].

Від процесів основного виробництва утворюються відходи переробки цукрового буряка та виробництва цукру: жом, меляса некондиційна, дефекат. Ці відходи відносяться до IV класу небезпеки.

Побічні продукти виробництва, такі як меляса і гранульований жом, реалізуються, як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринку.

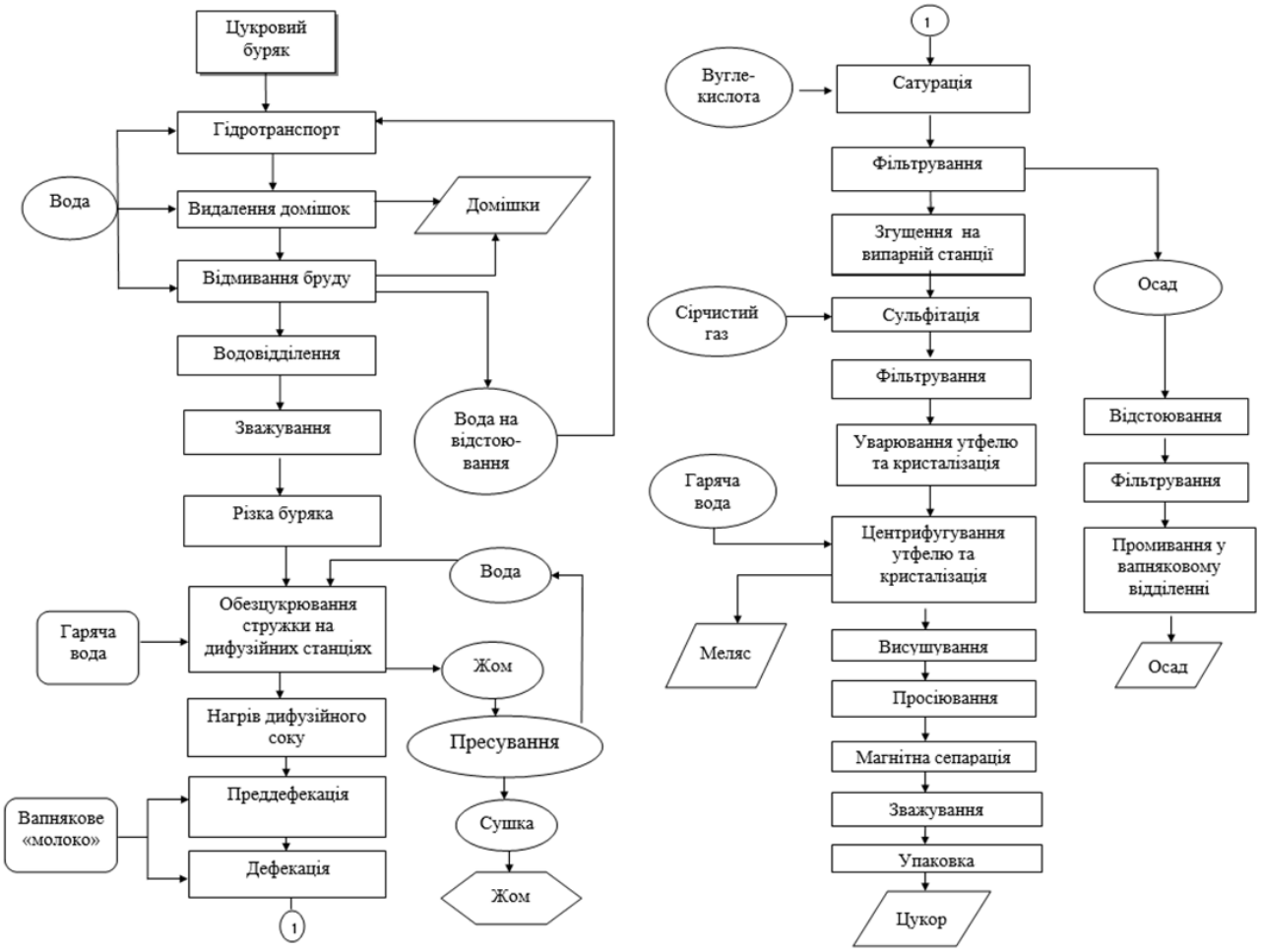


Рис. 1. Виробництво цукру-піску по типовій технологічній схемі.

При виробництві цукру утворюються тверді, газоподібні відходи і рідкі стічні води (рисунок 2) [4-8].

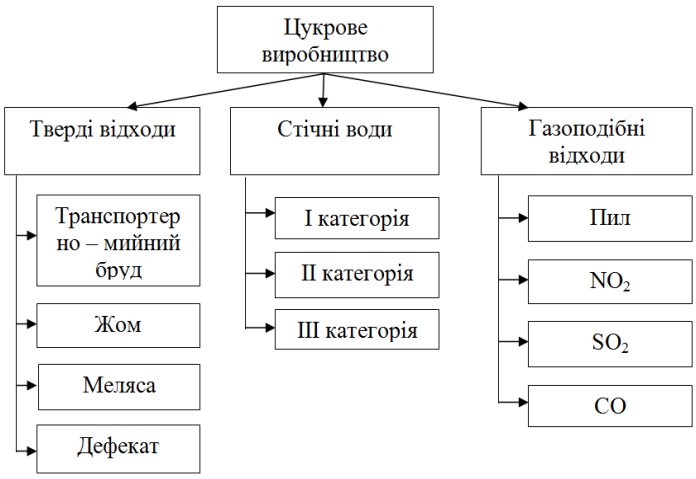


Рис. 2. Відходи цукрового виробництва

Фактичний викид забруднюючих речовин, що поступають в атмосферу від організованих та неорганізованих джерел викидів ПАТ «Крижопільський цукровий завод» наведено в таблиці 1.

З таблиці 1 видно, що дане підприємство викидає в атмосферу найбільше оксиду нітрогену (IV), оксиду сульфуру (IV) та оксиду карбону (II). До джерел утворення цих речовин належать: сатуратори, сульфітатор, випарні та вакуумні апарати, ТЕЦ, мазутне господарство, механічна майстерня, ковальський горн, транспортне господарство. Також під час процесів випалювання вапняку, його транспортування та зберігання в атмосферу виділяється пил оксиду кальцію та гідроксид кальцію [3, 5].

Підприємство відноситься до IV класу небезпеки із санітарно-захисною зоною - 100 м (основне виробництво), найкоротша відстань від джерел викидів до житлових будинків – 150 м.

Робота підприємства носить сезонний характер, а режим роботи з виробництва цукру становить 120 днів на рік. На заводі є цехи основного і допоміжного виробництва, складські площі і приміщення, автотранспортні засоби і служба управління заводом.

Основним продуктом цукрового заводу є цукор з цукрових буряків. В результаті їх переробки утворюються побічні продукти: жом, патока, дефекат.

Жом продається сільськогосподарським підприємствам і населенню в якості корму для худоби.

Патока продається на підприємствах спиртової промисловості для виробництва спирту, також використовується для виробництва кормових і хлібопекарських дріжджів, лимонної кислоти, частково використовується на корм худобі. Оскільки патока є дуже хорошим добривом для ґрунту, її також продають сільськогосподарським підприємствам та населенню.

Таблиця 1 – Фактичний викид забруднюючих речовин, що поступають в атмосферу від організованих та неорганізованих джерел викидів ПАТ «Крижопільський цукровий завод»

Назва речовини	Клас небезпеки	Фактичні викиди речовини, т/рік
Нітроген (IV) оксид	2	47,96
Сульфур (IV) оксид	3	34,3
Карбон (II) оксид	4	178,58
Сажа	3	0,5
Манган та його сполуки	2	0,0045
Амоніак	4	5,1
Кислота сульфатна	2	0,00017
Ксилол	3	0,023
Бензин	4	0,0041
Насичені вуглеводні	4	3,6866
Зола	3	0,178
Кальцію оксид	3	4,12
Кальцію гідроксид	3	1,411
Кальцію карбонат	3	0,61
Сірка елементарна	2	0,009
Уайт-спіріт	4	0,069
Пил вугільний	3	0,215
Оксид феруму (III)	3	0,091

За призначенням готової продукції цукровий завод відноситься до групи "А", оскільки виробляє продукцію, яка поставляється в якості сировини в інші галузі харчової промисловості (кондитерські вироби, пекарні і т.д.), так і до групи "В", продукція якої поставляється безпосередньо споживачам.

Буряковий жом – це відходи, які залишаються після вилучення цукру з кореневих плодів буряка шляхом віджиму соку з буряка дифузійним методом. Вихід жому при виробництві цукру становить до 90% від маси буряка. У таблиці 2 наведено приблизний хімічний склад жому. До складу м'якоті входить 5-6% сухих речовин, решта – вода. До сухих речовин відносяться цукор, пектин, білок, клітковина та ін. Крім легкозасвоюваних речовин, що не містять азоту, м'якоть містить лізин і треонін, яких найбільше не вистачає в зерновій сировині, амінокислоти, вітамін С і білки. М'якоть має досить високу харчову цінність, тому її дуже добре використовувати на комбікормових заводах. Після виходу з дифузора нестиснута м'якоть вважається свіжою і зберігається протягом трьох днів. У ній багато води і перевозити її на великі відстані недоцільно. Тому м'якоть, яку потрібно довго зберігати або перевозити на великі відстані, краще сушити. Свіжа м'якоть використовується для відгодівлі тварин і розміщується в жомні ями для тривалого зберігання або сушіння [6-8].

Таблиця 2 − Хімічний склад жому, %

Показники	Жом свіжий	Жом віджатий	Жом кислий
Вода	91 – 94	14 − 20	11 −15
Суха речовина	6 – 9	80 – 86	85 – 89
Сирий протеїн	10	10,2	14
Білок	8,6	8,9	12,3
Сира клітковина	22,9	21,7	32,5
Безазотисті екстракційні речовини	62,9	65,8	43
Мінеральні речовини	4,2	4,2	7

Кислиця – це м'якоть, ферментація якої відбувалася під дією молочнокислих бактерій. При цьому з м'якоті видаляється частина води і її маса зменшується на 40%. Така м'якоть має неприємний запах через її утворення в несприятливих умовах і під впливом мікроорганізмів. Втрата поживних властивостей м'якоті може досягати 60%. Кисла вода, що утворюється при зберіганні кислиці, є стічною водою, яка підлягає очищенню і знезараженню.

Сушена целюлоза – це продукт, який був висушений до вологості 10-12%. Велика частина води видаляється за допомогою преса для віджиму целюлози. Після осадження та видалення осаду воду стерилізують у суміші з попередньо обробленим гарячим конденсатом і повертають у процес дифузії для виділення цукру з бурякової стружки. Суха целюлоза з добавками зберігається у вигляді брикетів з об'ємною вагою близько 750 кг/м^3. Також суху целюлозу виготовляють у вигляді гранул, а цех сушіння целюлози оснащений гранулятором.

Меляса (патока) – є поширеним побічним продуктом вилучення або очищення цукру з буряка або цукрової тростини. Це коричнева або червона в'язка субстанція з вираженим вмістом цукру, з повільною швидкістю кристалізації. Основні фізико-хімічні показники меляси наведені в таблиці 3. Меляса також може бути у вигляді порошку. За хімічним складом меляса являє собою концентрований розчин сахарози і нецукрів, який містить близько 10% розчиненого цукру, що становить 15-50% від усіх цукрів, що містить буряк. Меляса містить органічні і неорганічні речовини. До складу органічних відносяться: бетаїн, піролідон, карбонова кислота, глутамінова кислота, аспарагінова кислота, лейцин, ізолейцин, гліколь, аланін, валін, нецукри, вуглеводи (зворотній цукор, рафіноза) і органічні кислоти (молочна, мурашина, оцтова, масляна, лимонна). Патока також містить невелику кількість заліза, кобальту, свинцю, бору, кремнію, срібла, йоду, марганцю та молібдену.

Таблиця 3 - Основні фізико-хімічні показники меляси

Показники	% за масою
Масова частка води	19 − 24
Масова частка сухих речовин	76 – 81
Масова частка сахарози	46 – 49
Масова частка нецукрів	30 – 33
Вміст загального азоту	1,5 − 2,0
Вміст молочної кислоти	4 – 6
Вміст оцтової та мурашиної кислот	0,2 – 0,5

Меляса є одним із відходів цукрового виробництва та сировиною для бродильних виробництв,

кормових (комбікормових) заводів, для боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур (як приманка з отруювачем) та в інших виробництвах. Також, меляса може бути використана, як напівфабрикат для отримання цукрози хімічним шляхом, методом сепарації [6-9].

Одним із способів використання патоки є її переробка, що дозволяє цукровому заводу отримувати додатковий цукор. Однак, цей спосіб не завжди економічно вигідний і вимагає врахування багатьох факторів, таких як кількість одержуваної патоки, можливість її використання в інших цілях, необхідність вилучення додаткових цукрів.

Подальше вилучення цукру з патоки неможливо за звичайною схемою її виробництва з буряка. Тому для отримання сахарози з меляси необхідно застосування спеціального методу осадження сахарози з меляси оксидами лужно-земельних металів (виділення вапняку, барію, стронцію).

Бурякова патока (або кормова патока) сама пособі, як правило, непридатна для споживання людиною, але деякі рафіновані фракції патоки з цукрової тростини придатні для вживання в їжу, і які використовуються у значних кількостях, як кормові добавки для виробництва комбінованих кормів та для ароматизації грубих кормів. Патока, також використовується для вирощування кормових дріжджів. На дріжджовому заводі з неї виробляють хлібопекарські дріжджі. Меляса, є сировиною для отримання шляхом ферментації лимонної, молочної та інших органічних кислот.

Дефекат - продукт взаємодії нецукрових виділень соку при очищенні з вапном, та із вуглекислим газом (IV). Дефекат є побічним продуктом при виробництві бурякового цукру. Складається на 60-80% з $CaCO_3$, на 20-25% з органічних і мінеральних речовин, що не містять цукру, особливо з азотистих і безазотистих сполук: білків, пектинових речовин, солей кальцію, щавлевої і лимонної кислот. Відфільтрований дефекат містить до 0,15% K_2O і до 0,7% P_2O_5. Фільтраційний осад утворюється на цукровому заводі в процесі попередньої і основної дефекації, а також при насиченні, сульфатації і проміжній фільтрації соку. Фільтраційний осад являє собою мінеральне (вапнякове) добриво, спеціально призначене для кальцифікації кислих грунтів. Він нейтралізує надлишкову кислотність грунту, покращує водостійкість і розпушує глинисту структуру грунту, а також сприяє засвоюваності добрив, особливо азотних і фосфорних. Попередньо насичені осади, збагачені органомінеральними речовинами, можна використовувати в якості добавок до кормів [6-9].

Висновки

Для підвищення рівня екологічної безпеки ПАТ «Крижопільський цукровий завод», збільшення потужності переробки та підвищення якості виробленого цукру було розпочато його масштабну модернізацію, яка включає:

1. Реконструкцію мийного відділення, продуктового цеху і введення в експлуатацію вертикальних мішалок-кристалізаторів.
2. Для збільшення енергоефективності та продуктивності заводу до 8000 т буряків на добу, на підприємстві було реконструйовано жомосушильне відділення, замінено жомопреси на преси глибокого віджиму, замінено фільтри транспортерно-мийної води.
3. Реалізовано проект переведення парових котлів з природного газу на вугілля. Реалізація цього проекту дозволила значно знизити вартість технологічного пару та оптимізувати собівартість продукції.
4. На підприємстві вдосконалили теплову схему, провадили заходи із збереження електроенергії.
5. З 2018 року на Крижопільському цукровому заводі встановлено нову станцію контрольної фільтрації соку; нову центрифугу II продукту, модернізовано фільтри соку II сатурації.
6. На ПАТ «Крижопільський цукровий завод» реалізовано безпрецедентний для України проект модернізації технологічної схеми зі встановленням нової станції декальцинації соку шляхом іонообміну.
7. ПАТ «Крижопільський цукровий завод» сертифіковано на відповідність стандарту ISO:9001.
8. Скорочення димових газів котлоагрегатів ПАТ «Крижопільський цукровий завод» можна досягнути за рахунок підвищення енергоефективності і скорочення розмірів втрат теплової енергії в процесі згорання за рахунок зниження температури димових газів, що викидаються в атмосферу. Це може бути досягнуто шляхом:

- підбору оптимальних розмірів та інших характеристик устаткування виходячи із необхідної максимальної потужності з урахуванням розрахункового запасу надійності;

– інтенсифікації передачі тепла технологічному процесу у вигляді збільшення питомого потоку тепла, збільшення площі або вдосконалення поверхонь теплообміну;

– рекуперації тепла димових газів з допомогою додаткового технологічного процесу (наприклад, виробництва пари);

– підігрівання повітря або води, або організації попереднього підігріву палива за рахунок тепла димових газів. Підігріта вода може використовуватись в системах гарячого водопостачання або централізованого опалення;

– очищення поверхонь теплообміну від накопичувальної золи і частинок вуглецю із метою підтримання високої теплопровідності. Очистка поверхонь теплообміну в зоні горіння, як правило, здійснюється під час зупинки обладнання для огляду і ТО;

– забезпечення рівня виробництва тепла, відповідного існуючим потребам. Теплову потужність котла можна регулювати, за рахунок підбору кількості необхідного палива.

Перераховані вище рекомендації (за винятком періодичної очистки) потребують додаткових інвестицій. Термін окупності може перебуває у діапазоні від п’яти до десяти років, залежно від багатьох параметрів, включаючи розмір установки, температуру димових газів тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Національної асоціації цукровиків України (НАЦУ) "Укрцукор". ПрАТ «Продовольча компанія «Поділля» (ПАТ «Крижопільський цукровий завод») URI: http://ukrsugar.com/uk/ecm/factory/view/14

2. Цукрова галузь України в цифрах. // Національна асоціація цукровиків України. – 2019. – С. 20–29.

3. «Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами», т 1, т 2, т 3. УНЦТЕ, Донецьк, 2010.

4. ДСТУ 4623:2006 Цукор білий. Технічні умови – Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 18 с.

5. Про затвердження Інструкції про зміст та порядок складання звіту проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин на підприємстві від 10.02.95 № 7 // Зареєстровано в Міністерстві юстиції України. – 15.03.1995 р. – № 61/597.

6. Запольський А. К., Українець А.І. Екологізація харчових продуктів. – К.: Вища школа, 2005. – 423 с.

7. Домарецький В. А., Златєв Т. П. Екологія харчових продуктів. – К: Урожай, 1993. – 192 с.

8. Чайка О. Г. Аналіз відходів цукрового виробництва, їх негативний вплив на довкілля / О Г. Чайка, І. М. Петрушка // Цукор України, 2014. – № 3(99). – С. 37–38.

9. Васильківський І. В., Тітов Т. С., Гут І. С. Аналіз викидів Гайсинського цукрового заводу // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)», Вінниця, 15-16 червня 2025 р. Електрон. текст. дані. 2025. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/viewFile/25586.

Васильківський Ігор Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: igor.vntu@gmail.com

Тітов Тарас Сергійович – канд. хім. наук, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Сидорук Тетяна Іванівна – канд. хім. наук, доцент, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Кузнець Іван Олегович – студ. групи ТЗД-24м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kuznetsv487@gmail.com

Igor V. Vasylkivskiy – Ph.D., Docent, Associate Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: igor.vntu@gmail.com

Taras S. Titov – Ph.D. (Chem.), Associate Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Tetiana I. Sydoruk – Ph.D. (Chem.), Docent, Associate Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Ivan O. Kuznets – student, Faculty of Civil Engineering, Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kuznetsv487@gmail.com

УДК 620.92

І. В. Васильківський
Т. С. Тітов
Т. І. Сидорук
В. Р. Несса

СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЕНЕРГІЇ З АГРОВІДХОДІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано джерела і об'єми утворення агровідходів внаслідок сільськогосподарського виробництва України. Розглянута класифікація способів виробництва енергії з біомаси агровідходів. Досліджені питання енергетичного застосування агровідходів в якості відновлюваних енергетичних ресурсів, для заміщення використання природного газу. Оцінені скорочення питомих викидів парникових газів при комбінованому виробництві теплової та електричної енергії із використанням біомаси агровідходів.

Ключові слова: рослинництво, сільськогосподарські культури, агровідходи, біомаса, парникові гази, відновлювальні енергетичні ресурси, виробництво енергії.

Abstract

The sources and volumes of agro-waste generation resulting from agricultural production in Ukraine have been analyzed. The classification of methods for producing energy from agro-waste biomass has been considered. The issues of energy use of agro-waste as renewable energy resources to replace the use of natural gas have been investigated. The reduction of specific greenhouse gas emissions in the combined production of heat and electricity using agro-waste biomass has been estimated.

Keywords: crop production, agricultural crops, agro-waste, biomass, greenhouse gases, renewable energy resources, energy production.

Вступ

Україна має розвинутий сектор сільського господарства, зокрема рослинництва, який щорічно генерує великий обсяг різноманітних рослинних відходів та залишків. Агровідходи - це відходи, що утворюються внаслідок сільськогосподарської діяльності, зокрема, залишки рослинності, тваринництва, а також відходи переробки сільськогосподарської продукції. До них належать такі матеріали, як солома, стебла, насіння, гній та інші залишки рослин, які можуть використовуватися як біопаливо або добрива, а також для інших цілей. Відходи поділяються на первинні, тобто ті, що утворюються безпосередньо при збиранні врожаю сільськогосподарських культур, і вторинні – такі, що генеруються при обробці врожаю на підприємствах. Первинні відходи включають солому зернових та інших культур, відходи виробництва кукурудзи на зерно і соняшника (стебла, стрижні, кошики і т. ін.). Вторинні відходи – це лушпиння соняшника, лушпайка гречки, рису, жом цукрового буряку і тому подібне. Частина відходів та залишків використовується на потреби самого сільського господарства (органічне добриво, підстилка та корм тварин), частина – іншими секторами економіки, а решта біомаси залишається незадіяною і часто утилізується (спалюється в полі, вивозиться на звалище) без принесення користі товаровиробникам. Значну частину біомаси, що не використовується, видається доцільним залучити до виробництва енергії [1]. При цьому важливим є питання яку саме частку відходів та залишків сільського господарства можна використовувати на енергетичні потреби без негативного впливу на родючість ґрунтів.

Основна частина

Аналіз доступного енергетичного потенціалу біомаси агровідходів ґрунтується на теоретичній оцінці виходячи з статистичних даних по рівню сільськогосподарського виробництва (урожайності основних культур, структури сільського господарства, коефіцієнту утворюваних відходів).

На рисунку 1 представлений енергетичний потенціал біомаси агровідходів на 2022 рік. Біомасу

агровідходів можна використовувати в енергетичних цілях шляхом безпосереднього спалювання (деревини, соломи, стічних осадів), а також у переробленому вигляді рідких (ефіри ріпакової олії, спирти, рідкі продукти піролізу) або газоподібних біопалив (біогаз з відходів сільського господарства та рослинництва (рис. 2). Конверсія біомаси в інші види енергоносіїв або кінцеву енергію (теплову або електричну) може відбуватись фізичними, хімічними і біохімічними методами [2-6].

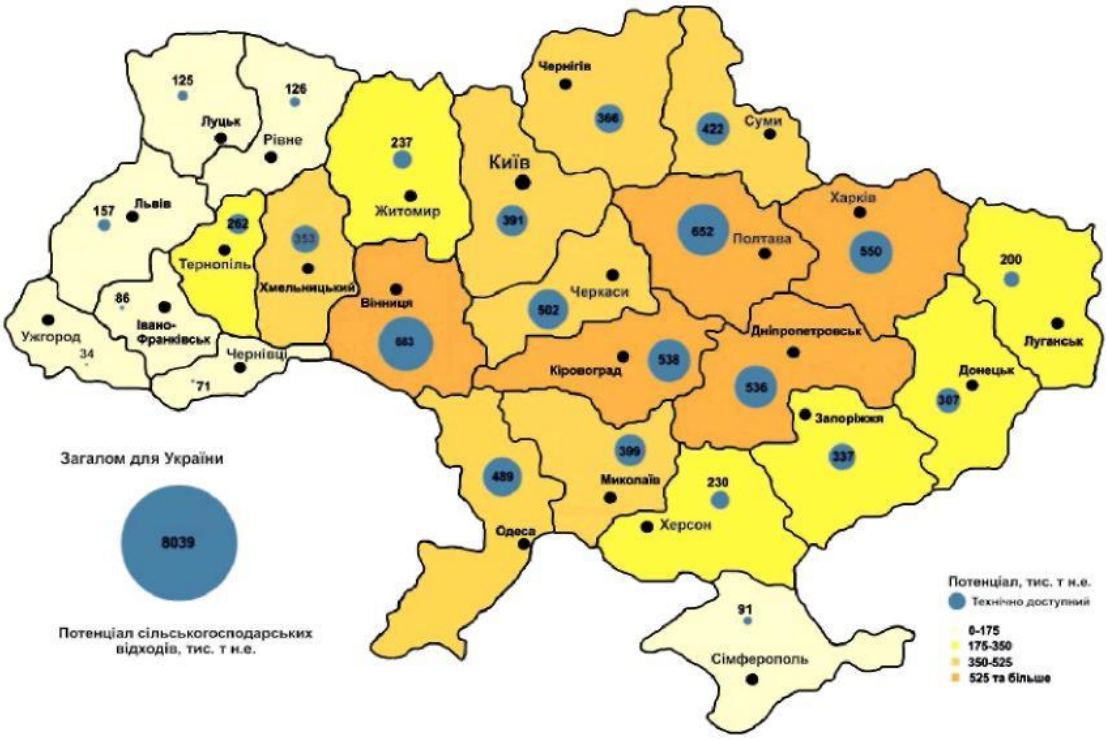


Рис. 1. Потенціал агровідходів в Україні

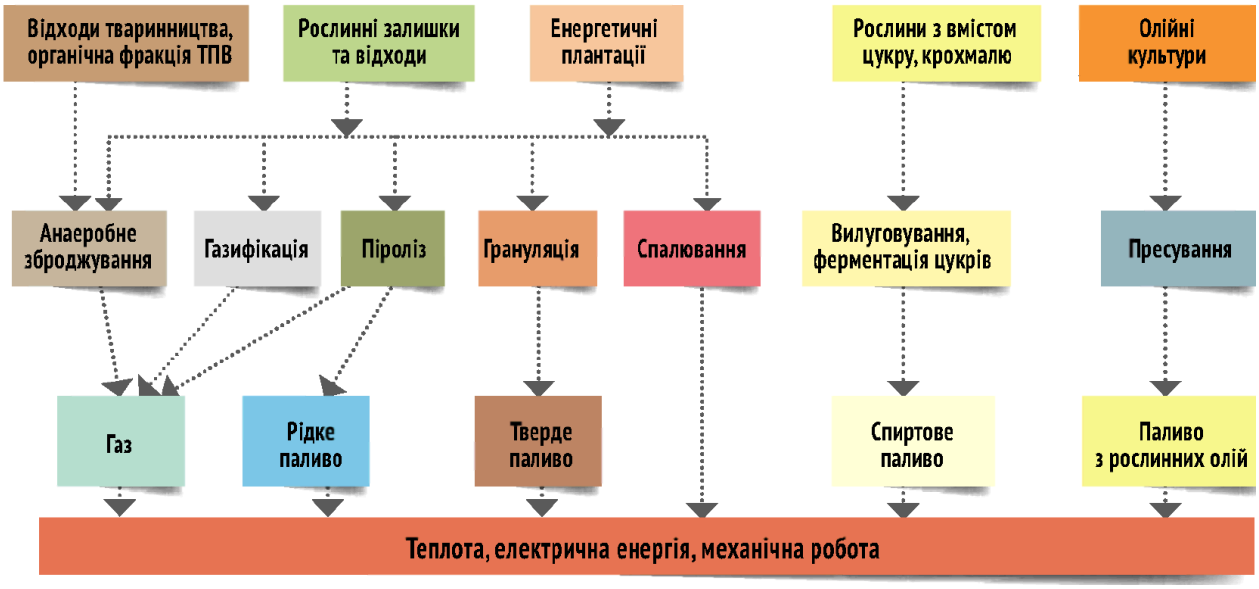


Рис. 2. Способи виробництва енергії з біомаси

Незважаючи на низький рівень розвитку відновлюваної енергетики сьогодні, Україна має хороші передумови для майбутнього розвитку цього напрямку, в першу чергу сектора біоенергетики. Україна володіє великим потенціалом біомаси, доступної для виробництва енергії. Основними складовими цього потенціалу є відходи сільського господарства, а в перспективі - енергетичні культури, вирощування яких почало активно розвиватися останні роки [6, 7].

Енергетичний потенціал біомаси в Україні за 2022 р. представлений в таблиці 1.

Величина енергетичного потенціалу біомаси агровідходів змінюється по роках і залежить, головним чином, від врожайності основних сільськогосподарських культур (пшениця, кукурудза, соняшник та ін.). За останні 10 років коливання енергетичного потенціалу склали від 25 до 38 млн. т у.п./рік (1000 куб.м природного газу = 1,16 т у.п.=0,812 т н.е. (н.е. – нафтовий еквівалент; у.п. – умовне паливо)) [4-6].

В Україні невиправдано високою є частка природного газу в енергобалансі (близько 45%). У проекті оновленої Енергетичної стратегії заплановано зниження споживання газу в Україні, зокрема для виробництва теплової енергії [7-9]. Так, загальне зниження споживання природного газу в 2030 р. складе близько 8 млрд. м^3 (14%) від рівня 2020 р. Із 27 млрд. м^3 газу, що використані для теплопостачання у 2020 р., до 2030 року є можливим (таблиці 2, 3):

- 1/3 замістити біопаливами (9 млрд. м^3/рік);
- 1/3 заощадити за рахунок утеплення будівель, енергозбереження при виробництві, транспортуванні та споживанні теплової енергії (9 млрд. м^3/рік);
- 1/3 залишити для цілей теплопостачання, переважно у великих містах (9 млрд. м^3/рік) [1-6].

Таблиця 1 - Потенціал агровідходів в Україні за 2022 р.

Вид біомаси	Всього утворю-ється, млн. т	% від загальної кількості	Економічний потенціал, млн. т у.п.
Солома зернових культур	32	20	3,17
Солома ріпаку	2,9	70	0,96
Відходи виробництва кукурудзи на зерно	34	52	8,59
Відходи виробництва соняшника	17	67	5,55
Вторинні відходи с/г (лушпиння, жом)	9,7	77*	0,99
Енергетичні культури:			
- тополя, міскантус, верба та ін.	20	85	10,30
- ріпак (солома)	3,2	70	1,13
- ріпак (біодизель)	-	-	0,77
- кукурудза (біогаз)	-	-	1,10
Торф	-	-	0,4
Всього	-	-	32,96

* в середньому

Таблиця 2 - Теплота згоряння палив

Теплота згоряння	Одиниці вимірювання	МДж, (ккал)
Газ природний, при 20°С 101,325 кПа	м^3	31,8; (7600)
Солома	кг	15,7; (3750)
Пелети із соломи	кг	14,51; (3465)
Лушпиння соняшнику, сої	кг	17,00; (4060)
Кукурудза-початок (W>10%)	кг	14,65; (3500)
Свіжозрубана деревина (W=50...60%)	кг	8,12; (1940)
Висушена деревина (W=20%)	кг	14,24; (3400)
тріска	кг	10,93; (2610)
тирса	кг	8,37; (2000)
Пелета деревна	кг	17,17; (4100)

Таблиця 3 - Можливе скорочення споживання природного газу при виробництві теплової енергії

Сектори споживання	Споживання газу для теплопостачання, млрд. м^3/рік			
	2020	2030		
	Споживання ПГ	Споживання ПГ	Економія ПГ	Заміщення ПГ біомасою
ЖКГ	8	4,0	2,0	2,0
Населення	17	4,0	6,5	6,5
Бюджетна сфера	1	0,4	0,3	0,3
ТЕЦ	1	0,6	0,2	0,2
Всього	27	9	9	9

На енергетичні потреби в Україні використовується лише близько 10% загального потенціалу біомаси. Головним чином це деревна біомаса у вигляді дров, тріски, гранул/брикетів (загалом 85% всього річного обсягу використання біомаси), та лушпиння соняшника (8%). Менш активно використовуються агровідходи соломи - 94000 тонн на рік, що становить <1% економічного

потенціалу соломи в Україні.

В Євросоюзі проводились дослідження питання енергетичного застосування агровідходів. За їх результатами, на енергетичні потреби можна використовувати 25-50% врожаю соломи, а решта біомаси має залишитися на полях. Виробництво енергії з соломи активно розвивається в Данії, Швеції й більшості країн Центральної Європи. На енергетичні потреби там щорічно використовується від 5% до 20% виробленої соломи [9,10]. Дослідження, виконані для умов США показали, що для виробництва енергії/біопалив можна використовувати 30-60% загального обсягу соломи та відходів виробництва кукурудзи на зерно. В Україні є надлишок соломи, який можна залучити до паливно-енергетичного балансу. Співвідношення зернової частини врожаю та незернової (соломи) становить приблизно 1:1, тому річні обсяги утворення соломи близькі до загального виробництва зернових культур в Україні. Виробництво зернових і зернобобових культур в Україні становить порядку 40-50 млн. т на рік з врожайністю 25-30 ц/га. За даними пресслужби Мінагрополітики, станом на листопад 2024 року валовий збір зернових та олійних культур 2024 року в Україні становив понад 71,4 млн тонн. Зокрема, було намолочено 52,1 млн тонн зернових та майже 19,3 млн тонн олійних. Найбільший внесок зробили пшениця (22,4 млн тонн), кукурудза (22,3 млн тонн) та соняшник (10 млн тонн). На кінець листопада 2024 року, валовий збір зернових та олійних культур в Україні досяг 73,6 млн тонн. Загальний урожай зернових та зернобобових культур склав 49,938 млн тонн із середньою врожайністю 4,8 т/га. За попередніми даними, врожай 2025 року очікується на рівні 54-56 млн тонн. Отже, маса незернової частини врожаю у 2025 році становитиме понад 50 млн тонн. Як Україна може використати незернову частину врожаю, тобто агровідходи, зокрема для виробництва енергії і заміщення споживання природного газу?

Загальний обсяг споживання газу в Україні становить близько 30–32 млрд кубометрів на рік, при цьому власний видобуток становить 18–20 млрд кубометрів. У 2025 році для покриття дефіциту буде потрібен імпорт у розмірі 2–3 млрд кубометрів газу.

Для України оптимальний обсяг соломи, яку можна використовувати на теплові потреби, за нульового балансу гумусу становить близько 40%. За попередніми підрахунками, в Україні на енергетичні цілі є можливість щорічно використовувати до 10 млн. т соломи зернових і близько 7 млн. т соломи ріпаку [2, 11-13].

Для заміщення 1000 м^3 природного газу, за умови однакової ефективності котельного обладнання, необхідно використати таку кількість палива таблиця 4.

Таблиця 4 - Заміщення 1000 м^3 природного газу відновлювальними паливами.

Дрова, у повітряно-сухому стані	кг	2520
	м^3	5-6,3
Тріска деревна, вологість 40%	кг	3340
	м^3	11-14
Стружка деревна, вологість 7-15%	кг	2270
	м^3	16-21,6
Тирса деревна, вологість 33-38%	кг	2960
	м^3	17,4
Гранули з дерева	кг	1970
	м^3	3-3,6
Гранули з соломи	кг	2200
	м^3	4-4,4
Гранули з лушпиння соняшника	кг	1890
	м^3	3-3,4
Солома зернових в тюках	кг	2360
	м^3	13-26

Відповідно до таблиці 4, 1 млрд м^3 природного газу можна замістити агровідходами, наприклад соломою зернових в тюках:

$$\text{соломи зернових в тюках} = \frac{2360 \times 1000000000}{1000} = 2360000 \text{ тонн.}$$

Отже, для заміщення 3 млрд м^3 імпортного газу, достатньо використати: 7080000 тонн соломи зернових в тюках.

Основними парниковими газами, викиди яких мають місце при роботі енергетичних систем є діоксид вуглецю (CO_2), метан (CH_4) та оксид азоту (N_2O). Використання енергії агровідходів зменшує

викиди парникових газів, що є одним з найбільш вагомих показників при оцінці впливу біоенергетичних технологій на оточуюче середовище [9, 11]. Величина викидів всіх парникових газів приводиться до еквівалентної величини викидів CO_2 через відповідні коефіцієнти (таблиця 5).

Згідно директиви ЄС, зниження викидів парникових газів при впровадженні технологій відновлюваної енергетики має бути не менше 60% у порівнянні з аналогічним використанням викопних палив. В таблиці 5 представлено результати дослідження [6-13], проведених в рамках директиви 2009/28/ЕС. З даних таблиці видно, що всі установки на твердій біомасі та більшість установок на біогазі відповідають вимогам директиви 2009/28/ЕС – скорочення викидів парникових газів, обумовлене їх роботою, становить > 60%. Ці результати добре узгоджуються з даними інших авторів, зібраними та представленими в дослідженні [11], рисунки 3, 4.

Таблиця 5 - Питомі викиди парникових газів для різних технологій виробництва енергії із агровідходів

Види технологій	Питомі викиди ПГ	Скорочення викидів ПГ	
Виробництво теплової енергії	г CO_2-$_{екв}$/кВт·год$_т$	г CO_2-$_{екв}$/кВт·год$_т$	**%**
Котел на міскантусі (70 кВт$_т$)	101	295	**75%**[1)]
Котел на тюках соломи (500 кВт)[4)]	14	211	**94%**
Котел на гранулах з соломи (100 кВт)[4)]	60	165	**72%**
Виробництво електричної енергії	CO_2-$_{екв}$/кВт·год$_e$	CO_2-$_{екв}$/кВт·год$_e$	
ТЕС на тюках соломи (2 МВт$_e$)[4)]	217	905	**80%**
ТЕС на тюках соломи (25 МВт$_e$)[9)]	178[10)]	нема даних	**65%**
Сумісне виробництво теплової та електричної енергії	г CO_2-$_{екв}$/кВт·год$_{заг}$	г CO_2-$_{екв}$/кВт·год$_{заг}$	
БГУ зі сумісним зброджуванням гною та силосу кукурудзи (річне виробництво е/е 4 ГВт·год, теплової енергії 7,2 ГВт·год)	266	207	**56%**[3)]
ТЕЦ на тюках соломи (2 МВт$_e$+10 МВт$_т$)[4)]	37	150	**80%**

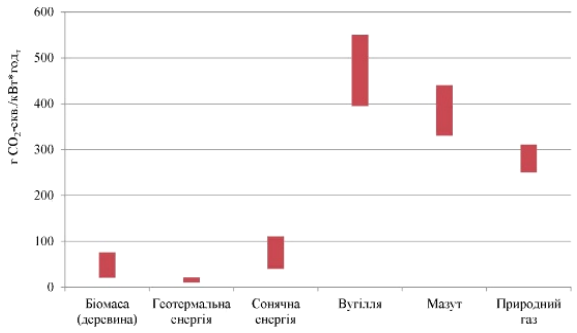


Рис. 3. Питомі викиди парникових газів при виробництві теплової енергії

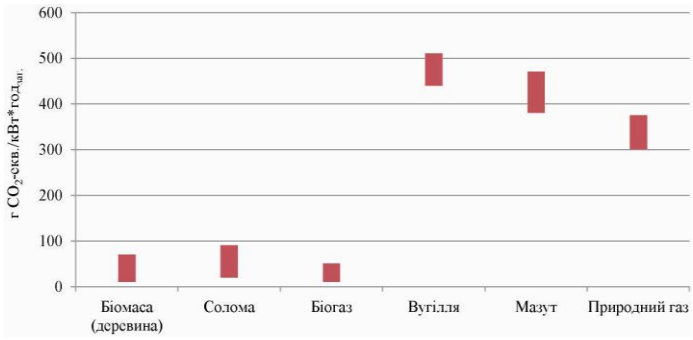


Рис. 4. Питомі викиди парникових газів при комбінованому виробництві теплової та електричної енергії

Висновки

1. Енергетичний потенціал агровідходів в Україні становить близько 20-25 млн. т у. п./рік. Основними складовими потенціалу є відходи сільськогосподарського виробництва (солома, стебла кукурудзи, стебла соняшнику і т.п.) – більше 11 млн. т у.п./рік (за даними 2022 р.) та енергетичні культури – близько 10 млн. т у .т./рік.

2. Використання агровідходів дозволить Україні позбутися газової залежності і забезпечити енергетичні потреби за рахунок використання власних, швидко відновлюваних енергетичних ресурсів рослинного походження.

3. Агровідходи є місцевим видом палива. В процесі виробництва енергії використовуються наявні місцеві ресурси регіону, включаючи і трудові, що призводить до розвитку місцевої економіки.

4. Агровідходи є відновлюваним видом палива, і при раціональному використанні, є, практично невичерпним джерелом енергії, використання якого сприяє сталому розвитку регіону, та не створює ризиків підвищення цін через зміни на енергоринку традиційних викопних енергоресурсів.

5. Агровідходи є екологічно чистим паливом у порівнянні із іншими твердими видами палива,

наприклад, вугіллям. Як правило, агробіомаса містить мало сірки, а її спалювання при відносно невисоких температурах не призводить до утворення окислів азоту. Завдяки включенню біомаси у природний цикл поглинання, зберігання та вивільнення CO_2, спалювання не призводить до посилення парникового ефекту та знижує негативний антропогенний вплив на оточуюче середовище.

6. Ринок виробництва енергії з агробіомаси є новим сектором економічної діяльності, що створює нові робочі місця, сприяє росту регіонального валового продукту та загальному «озелененню» економіки.

7. Використання агровідходів зменшує кількість відходів та сміття у містах, що сприяє очищенню засмічених територій, відновленню біорізноманіття, загальному покращенню навколишнього природного середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналітична записка БАУ №7 «Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні».
2. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А. Перспективи використання відходів сільского господарства для виробництва енергії в Україні. Аналітична записка БАУ №7, 2022 http://www.uabio.org/img/files/docs/Position-paper-uabio-7-ua.pdf
3. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Олійник Є.М. Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні // Промислова теплотехніка. – 2013, Т. 35, № 5. – С. 48-57.
4. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Затверджена розпорядженням КМУ № 1071 від 24.07.2013. http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358
5. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А. Бар'єри для розвитку біоенергетики в Україні. Частина 1 // Промислова теплотехніка. – 2013, Т. 35, № 4. – С. 63-71.
6. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А. Бар'єри для розвитку біоенергетики в Україні. Частина 2 // Промислова теплотехніка. – 2013, Т. 35, № 5. – С. 43-47.
7. Закон України «Про електроенергетику» (№ 575/97-ВР від 16.10.1997, зі змінами). http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80
8. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80#n12
9. Статистичні дані Європейської Комісії у секторі енергетики http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/other_documents
10. Директива Європейського Парламенту і Ради (ЄС) 2018/2001 від 11 грудня 2018 року про стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел (нова редакція)
11. Neil Bird, Annette Cowie, Francesco Cherubini, Gerfried Jungmeier. Using a Life Cycle Assessment approach to estimate the net greenhouse gas emissions of bioenergy. Report on IEA Bioenergy Task 38. http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/Using-a-LCA-approach-to-estimate-the-net-GHG-emissions-of-bioenergy.pdf
12. Доценко О.А., Суздалевич І.Ю., Васильківський І. В. Використання рослинних відходів для виробництва енергії / "V Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю" (Екологія/Ecology-2015), 23–26 вересня, 2015. Збірник наукових статей. – Вінниця: Видавництво-друкарня Діло, 2015. – С. 235.
13. Майданюк А.Д., Доценко О.А., Васильківський І. В. Удосконалення логістики використання рослинних відходів / "VI Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю" (Екологія/Ecology-2017), 25–27 вересня, 2017. Збірник наукових статей. – Вінниця: Видавництво-друкарня Діло, 2017. – С.53.

Васильківський Ігор Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: igor.vntu@gmail.com

Тітов Тарас Сергійович – канд. хім. наук, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Сидорук Тетяна Іванівна – канд. хім. наук, доцент, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Несса Вікторія Русланівна – студ. групи ТЗД-24м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: viktoria3004nessa@gmail.com

Igor V. Vasylkivskiy – Ph.D., Docent, Associate Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: igor.vntu@gmail.com

Taras S. Titov – Ph.D. (Chem.), Associate Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Tetiana I. Sydoruk – Ph.D. (Chem.), Docent, Associate Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Viktoria R. Nessa – student, Faculty of Civil Engineering, Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: viktoria3004nessa@gmail.com

Електронне наукове видання

Енергоефективність в галузях економіки України (2025)

Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції

19 – 21 листопада 2025 року

Збірник наукових праць

Матеріали подаються в авторській редакції

Підписано до видання 18. 12. 2025 р.
Гарнітура Times New Roman.
Зам. № Р2025-177

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
Редакційно-видавничий відділ.

ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
press.vntu.edu.ua,
E-mail: irvc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.