

**Р. Д. Іскович-Лотоцький, О. Д. Манжілевський**

**ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ.  
ЧАСТИНА 2.  
АВТОМАТИЧНІ ЛІНІЇ. ГНУЧКІ ВИРОБНИЧІ СИСТЕ-  
МИ. ТРАНСПОРТНО-ЗАВАНТАЖУВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**Р. Д. Іскович-Лотоцький, О. Д. Манжілевський**

**ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ.  
ЧАСТИНА 2.  
АВТОМАТИЧНІ ЛІНІЇ. ГНУЧКІ ВИРОБНИЧІ СИСТЕМИ.  
ТРАНСПОРТНО-ЗАВАНТАЖУВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ**

**Електронний навчальний посібник  
комбінованого (локального та мережного) використання**

Вінниця  
ВНТУ  
2022

УДК 621.941.23 + 004.896  
I-86

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 10 від 19.05.2022 р.)

Рецензенти:

**І. В. Севостьянов**, доктор технічних наук, професор

**Н. Р. Веселовська**, доктор технічних наук, професор

**О. В. Грушко**, доктор технічних наук, професор

Іскович-Лотоцький, Р. Д.

I-86

Обладнання автоматизованих виробництв. Частина 2. Автоматичні лінії. Гнучкі виробничі системи. Транспортно-завантажувальні пристрої : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Р. Д. Іскович-Лотоцький, О. Д. Манжілевський – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 155 с.

Посібник містить основні поняття про автоматизацію процесів обробки на машинобудівних підприємствах. В посібнику наведено класифікацію агрегатних верстатів, а також викладені основні відомості про основні види та класифікацію автоматичних ліній та гнучких виробничих систем. Призначений для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів та коледжів.

УДК 621.941.23 + 004.896

© ВНТУ, 2022

## ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	5
Вступ.....	6
1 Агрегатні верстати.....	10
1.1 Класифікація і типові компонування.....	11
1.2 Уніфіковані вузли агрегатних верстатів.....	12
2 Автоматичні лінії.....	24
2.1 Основні типи автоматичних ліній (АЛ) .....	24
2.2 Класифікація АЛ.....	26
2.3 Автоматичні лінії для обробки корпусних деталей.....	27
2.4 Автоматичні лінії для обробки деталей типу тіл обертання....	30
2.5. Роторні автоматичні лінії .....	34
2.6. Переналагоджувані автоматичні лінії.....	36
3 Гнучкі виробничі системи.....	38
3.1 Класифікація і структурні схеми ГВС.....	38
3.2 Структурно-компоновочні схеми ГВС для механічної обробки...	39
3.3 Гнучкі виробничі модулі (ГВМ).....	42
3.4. Гнучкі автоматизовані ділянки (ГАД).....	47
3.5 Гнучкі автоматичні лінії (ГАЛ).....	49
3.6 Автоматизовані транспортно-складські системи ГВС (АТСС).....	52
3.7 Системи контролю якості продукції.....	55
4 Транспортно-завантажувальні пристрої.....	58
4.1 Бункерні завантажувально-орієнтувальні пристрої.....	58
4.1.1 Бункери з поштучною видачею заготовок.....	59
4.1.2 Бункери з пропорційною видачею заготовок.....	63
4.1.3 Бункери безперервної видачі заготовок.....	66
4.2 Транспортні пристрої автоматичних ліній.....	68
4.2.1 Транспортні пристрої автоматичних ліній з жорстким зв'язком.....	68
4.2.2 Транспортні пристрої автоматичних ліній з гнучким зв'- язком.....	75
4.2.3 Транспортні пристрої автоматичних ліній для видалення стружки.....	86
4.3 Транспортні пристрої гнучких виробничих систем (ГВС).....	89

4.4 Промислові роботи.....	92
4.4.1 Кінематика і привод маніпулятора.....	95
4.5 Пристрої автоматичної зміни інструменту (АЗІ).....	99
4.6 Пристрої вібротранспортування.....	109
4.6.1 Вихідні положення теорії вібротранспортування.....	109
4.6.2 Конструкція і робота вібраційного лотка-транспортера...	117
4.6.3 Робота бункерного завантажувально-орієнтувального пристрою.....	119
4.7 Пневматичний транспорт	122
4.8 Навантажувально-розвантажувальні машини (НРМ)	129
5 Обладнання автоматизованого виробництва нетрадиційної компоновки верстатів із елементами паралельної кінематики.....	137
5.1 Загальні відомості про обладнання із елементами паралельної кінематики (ЕПК).....	137
5.2 Класифікація верстатів з паралельною кінематикою.....	142
5.3 Варіанти розміщення шарнірів і компоновки верстатів з паралельною кінематикою .....	151
Список рекомендованої літератури.....	153

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЛ	автоматична лінія
АСІЗ	автоматизована система інструментального забезпечення
АСНД	автоматизована система наукових досліджень
АСТПВ	автоматизована система технологічної підготовки виробництва
АСУО	автоматизована система видалення відходів
АСУТП	автоматизована система управління технологічними процесами
АТСС	автоматизована транспортно-складська система
ГАД	гнучка автоматизована ділянка
ГАЛ	гнучка автоматизована лінія
ГВМ	гнучкий виробничий модуль
ГВС	гнучка виробнича система
ЕОМ	електронно-обчислювальна машина
КОК	керуючий обчислювальний комплекс
МОР	мастильно-охолоджуюча рідина
ПС	пристосування-супутник
ПЧПК	пристрій числового програмного керування
РТК	роботизований технологічний комплекс
ЧПК	числове програмне керування
САК	система автоматизованого контролю
САПР	система автоматизованого проектування

## ВСТУП

Машинобудівне виробництво являє собою складну виробничу систему, яка повинна забезпечувати узгоджене функціонування всіх підрозділів. У ході технологічних процесів виробами можуть бути окремі деталі, складальні одиниці, агрегати і готові машини

Сучасна машинобудівна галузь характеризується значними масштабами виробництва, потребою у виготовленні великої кількості одних і тих же машин, що зумовило появу спеціальних верстатів-автоматів і напівавтоматів.

Однак розвиток спеціалізації верстатів-автоматів створює протиріччя між серійністю і гнучкістю виробництва. Адже, спеціалізоване обладнання може застосовуватися тільки при виготовленні таких деталей, конфігурація і розміри яких тривалий час залишаються незмінними. Сучасне ж машинобудівне виробництво має задовольняти вимоги ринку і повинно бути здатним на швидке перенастроювання для випуску нової продукції.

При зміні виробів, що випускаються на підприємстві, більшість спеціалізованого обладнання виявляється непотрібним, незважаючи на повну працездатність. Це вимагає створення верстатів-автоматів іншого типу, в яких можуть поєднуватися висока продуктивність спеціальних автоматів з широкими технологічними можливостями і з певною гнучкістю; в той же час процес проектування, виготовлення та освоєння таких верстатів повинен бути істотно скорочений.

Одним з методів вирішення поставленого завдання є уніфікація вузлів (агрегатів), механізмів, деталей і систем управління верстатів-автоматів, що і призвело до створення агрегатних верстатів. За рахунок різних комбінацій уніфікованих елементів можна швидко створювати високопродуктивні спеціалізовані верстати-автомати різного технологічного призначення. Оригінальними в таких верстатах залишаються тільки ті вузли, конструкція яких пов'язана з індивідуальними особливостями оброблюваних деталей (шпиндельні коробки, затискні пристрої), але і ці вузли також збираються з уніфікованих деталей.

Автоматичні лінії з агрегатних, спеціальних і універсальних верстатів-автоматів забезпечують додаткове (у кілька разів) підвищення продуктивності праці за рахунок автоматизації міжверстатних транспортних операцій, завантаження заготовок і вивантаження готових деталей. Для обробки найбільш складних і трудомістких деталей машин застосовуються комплекси автоматичних ліній, в які крім металорізального обладнання вбудовуються контрольні автомати, мийні машини, агрегати для термічної обробки, промислові роботи, накопичувачі, автомати для таврування та інше обладнання. У складі автоматичних ліній можуть бути також складальні автомати.

Для автоматичних ліній характерно розташування всього устаткування в порядку послідовності операцій технологічного процесу, виконуваних без втручання людини (необхідні лише періодичний контроль, налагодження, профілактичне обслуговування і усунення неполадок).

Впровадження в багатосерійне і масове виробництво автоматичних ліній призводить до скорочення в 1,5-2 рази кількості верстатів-автоматів і виробничих площ, сприяє зниженню собівартості і підвищенню якості продукції, скорочення тривалості виробничого циклу, зменшення незавершеного виробництва. Разом з тим стає більш стабільним якість виробів, підвищується загальна культура виробництва.

Автоматичним лініях притаманні, однак, і недоліки. Насамперед-це висока трудомісткість, а іноді і неможливість переналагодження лінії на іншу деталь (навіть споріднену) і тим більше на інший технологічний процес. Мають місце також прості працездатних верстатів, агрегатів і механізмів через неполадки в іншому обладнанні, що входить до складу однієї лінії. Для забезпечення стабільності процесу обробки підвищуються вимоги до якості заготовок.

Тривалий час автоматизація охоплювала в основному багатосерійне і масове виробництва, де створено та впроваджено безліч верстатів-автоматів, окремих автоматичних ліній та їх комплексів. Для серійного і тим більше дрібносерійного виробництва, що становить близько 80% загального обсягу машинобудівного виробництва, такі засоби автоматизації малоефективні.

Для дрібносерійного і серійного машинобудування необхідні принципово нові засоби автоматизації, що поєднують в собі продуктивність і точність верстатів-автоматів з гнучкістю універсального обладнання.

Основним методом вирішення вказаної проблеми стає групова технологія, а основним обладнанням – верстати й верстатні комплекси з числовим програмним управлінням (ЧПК).

Поява нового обладнання з ЧПК, що поєднує високу продуктивність, широкі технологічні можливості і гнучкість, стало переломним моментом в автоматизації серійного і дрібносерійного машинобудування, ступінь автоматизації якого традиційно відставала. Створення обладнання з ЧПК можна вважати одним з найбільш істотних досягнень науково-технічної революції в галузі верстатобудування.

Передумови для створення високоавтоматизованого гнучкого обладнання з ЧПК з'явилися завдяки інтенсивному розвитку обчислювальної техніки, інформатики (науки про структуру і властивості інформації) електроніки і електроавтоматики. Верстатом, промисловим роботом, вимірювальними машинами, транспортними пристроями і багатьом іншим обладнанням сучасного машинобудівного виробництва навчилися керувати за допомогою чисел і знаків.



Звичайний верстат-автомат працює за програмою, що задається розподільними валами, кулачками, копірами. Принципова відмінність верстата з ЧПК від такого автомата полягає в завданні програми обробки деталі в числовій (математичної) формі. Символьні дані керуючої програми безпосередньо, тобто без проміжного включення людини в якості перетворювача інформації, приймаються і відпрацьовуються автоматичними пристроями управління.

Для сучасного етапу розвитку верстатів з ЧПК характерно різке розширення їх функціональних можливостей, підвищення рівня автоматизації і все більш широке застосування в системах управління потужних обчислювальних засобів (мікро-ЕОМ і мікропроцесорної техніки). З'явився новий різновид металорізального обладнання-багатоцільові верстати. Такі верстати називають також багатоопераційним обробними центрами, машинними центрами.

У багатоцільових верстатах виражений новий підхід до побудови технологічного процесу. Вони забезпечують різними видами інструмента комплексну обробку деталей без переустановлень або при мінімальному їх числі.

До появи багатоцільових верстатів металорізальні верстати створювали для одного з традиційних методів обробки: токарна група верстатів – для токарної обробки, фрезерна для фрезерної і т.д. Цей принцип зберігався у всіх раніше випускалися верстатах універсального і спеціального видів, верстатах-автоматах, верстатах з ЧПК, а також в автоматичних лініях. Тому технологічні процеси будували таким чином, що певні технологічні операції виконувалися на верстатах відповідної технологічної групи (наприклад, розточувальні операції виконувалися на розточувальних верстатах).

Маршрутні технологічні процеси обробки деталей середньої складності часто містять десятки операцій, а для складних корпусних деталей сотні операцій. Щоб перейти від однієї технологічної операції до іншої, доводилося щоразу звільняти деталь, знімати її з верстата і транспортувати на наступний верстат, де знову проводити встановлення (базування) настройку на вихідні розміри і закріплення. Кожне перевстановлення оброблюваної деталі неодмінно вносило свої похибки в її остаточні розміри. Крім того, деталі здійснювали складні переміщення по підприємству, довго лежали біля верстатів різних технологічних груп в очікуванні обробки.

Таким чином, замість загальноприйнятого перш підбору деталей і окремих операцій до існуючих верстатів в даний час проводиться проектування верстатів (багатоцільових), які найбільш повно задовольняють технологічні вимоги груп деталей, що підлягають обробці. Великий вибір виконуваних на одному верстаті різнорідних операцій (розточувальних, фрезерних, токарних, шліфувальних і т.д.) змінює, уявлення про традиційні технологічних групах верстатів.

Великі перспективи подальшого підвищення продуктивності праці та ефективності в машинобудівному виробництві має створення гнучких виробничих систем (ГВС) керованих від ЕОМ. ГВС являє собою сукупність обладнання з ЧПК, роботизованих технологічних комплексів, гнучких виробничих модулів, окремих одиниць технологічного обладнання та систем забезпечення їх функціонування в автоматичному режимі протягом заданого інтервалу часу.

Будь-яка ГВС має властивість автоматизованого переналагодження при виробництві виробів довільної номенклатури в установлених межах значень її характеристик.

Роботизований технологічний комплекс (РТК) складається з одиниці технологічного обладнання, промислового робота і засобів оснащення (пристроїв накопичення, орієнтації та поштучної видачі виробів). РТК може функціонувати автономно, здійснюючи багаторазово цикли обробки. Якщо РТК призначені для роботи в складі ГВС, то вони повинні мати автоматизовану переналагодження і можливість вбудовування в систему.

Гнучкий виробничий модуль (ГВМ) це одиниця технологічного обладнання для виробництва виробів довільної номенклатури в установлених межах значень їхніх характеристик, автономно функціонуюча, автоматично здійснює всі функції, пов'язані з виробництвом виробів, і має можливість вбудовування в ГВС.

У загальному випадку в систему забезпечення функціонування ГВС входять АТСС – автоматизована транспортно-складська система, АСІЗ – автоматизована система інструментального забезпечення, САК – система автоматизованого контролю, АСУО – автоматизована система видалення відходів, АСУТП – автоматизована система управління технологічними процесами, АСНД – автоматизована система наукових досліджень, САПР – система автоматизованого проектування, АСТПВ – автоматизована система технологічної підготовки виробництва.

За організаційних ознаками можна виділити три різновиди гнучких виробничих систем: ГАЛ, ГАД і ГАЦ.

У гнучкій автоматизованій лінії (ГАЛ) технологічне устаткування розташоване у прийнятій послідовності технологічних операцій.

Гнучка автоматизована ділянка (ГАД) функціонує за технологічним маршрутом, в якому передбачена можливість зміни послідовності використання технологічного устаткування.

До складу гнучкого автоматизованого цеху (ГАЦ) входять у різних поєднаннях гнучкі автоматизовані лінії, роботизовані технологічні комплекси, гнучкі автоматизовані ділянки для виробництва виробів заданої номенклатури.

Таким чином, ГВС – це організаційно-технічна виробнича система, що дозволяє в умовах дрібносерійного, серійного і, в окремих випадках, великосерійного багатомономенклатурного виробництва замінити з мінімальними витратами і в короткий термін продукцію, що випускається на нову.

## 1 АГРЕГАТНІ ВЕРСТАТИ

Агрегатними називаються спеціальні верстати, які компонуються з функціонально самостійних нормалізованих і частково спеціальних вузлів і деталей. Основними уніфікованими одиницями агрегатних верстатів (АВ) є силові вузли (голівки) і столи, транспортні пристрої, шпиндельні вузли, затискні пристрої, базові корпусні деталі та т.п. (рис. 1.1).

На агрегатних верстатах виконують свердління, розточування, нарізання різьб, розгортання отворів і їх зенкування і цекування, проточування канавок, підрізка торців, фрезерування. У таких верстатах заготовка, як правило, нерухома, що дозволяє обробляти її одночасно великим числом інструментів з кількох сторін.

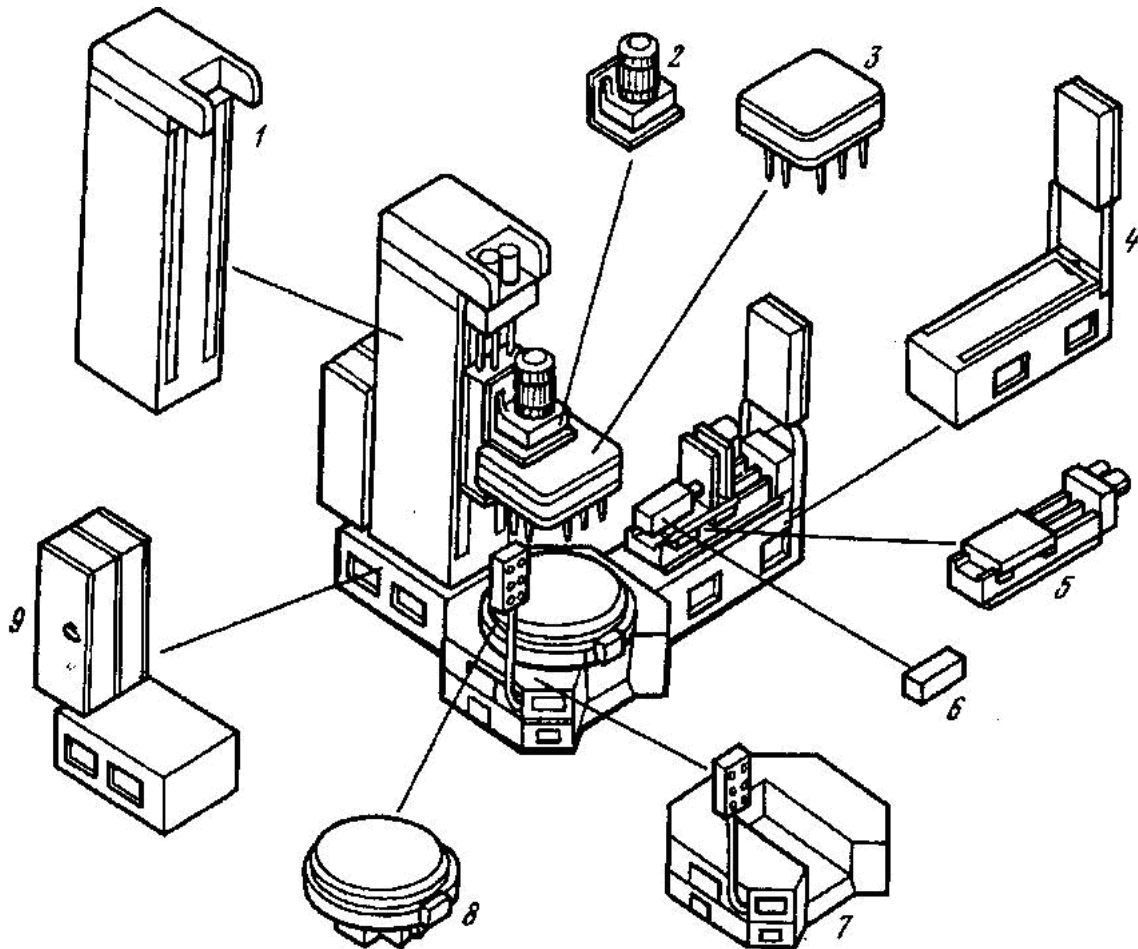


Рисунок 1.1 – Складові елементи агрегатного верстата  
1 – стійка; 2 – силова бабка, 3 – багатошпиндельна коробка, 4 – станина бічна; 5 – силовий стіл; 6 – одношпиндельна розточна бабка; 7 – станина центральна; 8 – поворотний ділильний стіл, 9 – станина-підставка

Однотипність технологічних операцій, виконуваних на АВ, є передумовою для розробки найважливіших вузлів у вигляді єдиної гама стандартних типорозмірів, з яких при проектуванні вибирають найбільш відповідні по своєму службовому призначенням для конкретного випадку. Основні переваги АВ полягають у наступному:

а) скорочуються терміни і витрати на проектування і виготовлення верстатів;

б) висока продуктивність завдяки багатоінструментальній обробці;

в) можливість автоматизації циклу обробки та переналагодження (у переналагоджуваних верстатах) на обробку заготовок декількох типорозмірів.

### 1.1 Класифікація і типові компоновання

1. Залежно від габаритів оброблюваних заготовок АВ поділяються на три групи, що відрізняються розмірами, масою і використовуваними уніфікованими вузлами:

- малогабаритні АВ, оснащені невеликими за розмірами пінольними силовими головками потужністю 0,18 ... 0,75 кВт;

- АВ середніх розмірів, оснащені пінольними силовими головками з плоскокулачковим приводом подачі потужністю 1,1 ... 3 кВт;

- АВ великих розмірів, оснащені гідравлічними або електромеханічними столами, на яких встановлюються шпиндельні вузли.

2. За відсутності або наявності транспортного пристрою для періодичного переміщення оброблюваної заготовки АВ поділяють на одно- і багатопозиційні.

У однопозиційних верстатах (рис. 1.2) великі заготовки, що обробляються силовими вузлами 2 в одному положенні закріплюються в стаціонарному пристосуванні 1. Обробка проводиться з одної (рис. 1.2, а), двох (рис. 1.2, б, в) і трьох (рис. 1.2, г, д, е, ж) сторін.

Компоновки АВ з поворотним ділильним столом 2 (рис. 1.3) є вертикального (рис. 1.3, а, в), горизонтального (рис. 1.3, б, г, е) і вертикально-горизонтального (рис. 1.3, д) виконань. Заготовка закріплюється в пристосуваннях 1, що встановлюються на ділильному столі, і обробляється послідовно з однієї, двох і трьох сторін на декількох позиціях столу.

У агрегатних верстатах з поворотним ділильним барабаном 1 (рис. 1.4) заготовки встановлюються за допомогою пристосувань 2 на барабані 1, що здійснює круговий рух. При цьому заготовка обробляється з однієї (рис. 1.4, а), двох (рис. 1.4, б) або трьох (рис. 1.4, в) сторін.

Типова компоновка АВ з прямолінійним рухом стола 3 із заготовками 2 відносно силових головок 1 показана на рис. 1.5, а. На рис. 1.5, б наве-

дена компоновка АВ з центральною колоною 2, навколо якої в горизонтальній площині повертається оброблювана заготовка 3. Круговий рух заготовок забезпечує стіл 1 карусельного типу. Силкові головки 4 розташовуються під різними кутами у заготовки.

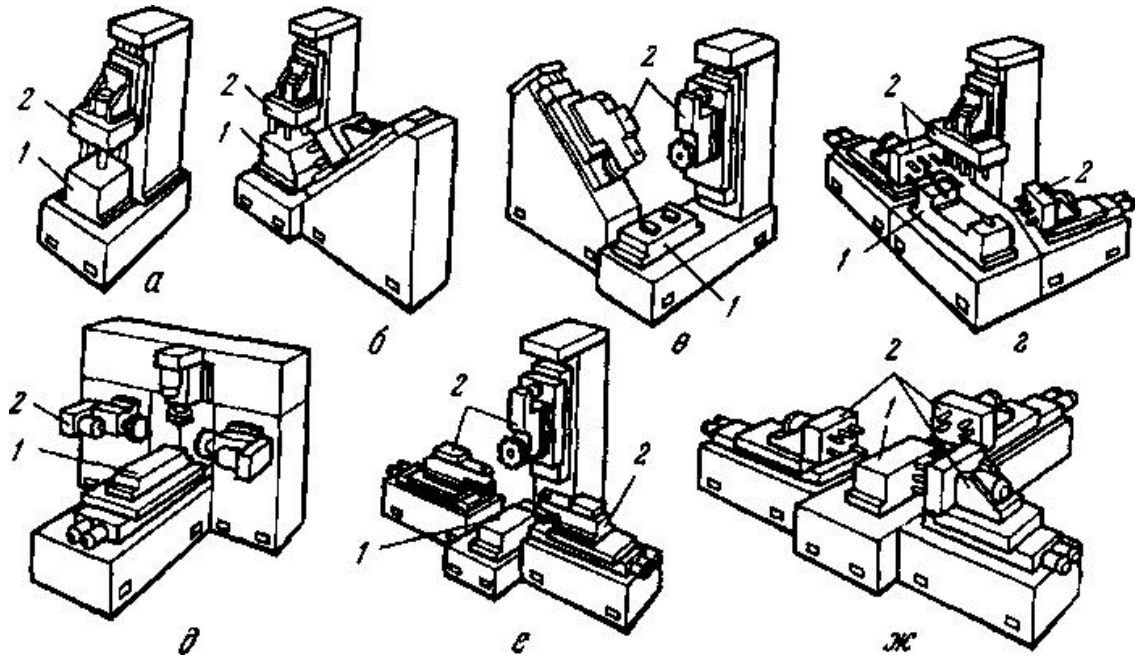


Рисунок 1.2 – Типові компоновки агрегатних верстатів зі стаціонарними пристосуваннями

## 1.2 Уніфіковані вузли агрегатних верстатів

Всі вузли поділяються на такі основні групи: силові, шпиндельні, вузли подачі, базові і транспортні. Обробка деталей на АВ проводиться за допомогою силових головок, в яких реалізується обертання шпинделя. Рух подачі здійснюється або самою силовою головкою, або силовим столом. На платформу столів встановлюються шпиндельні бабки (свердлильні, фрезерні і розточні) або кутники з багатошпиндельними коробками.

Силові головки і столи з вбудованим приводом подачі називають самодіючими, а з окремим приводом подач в базовій деталі, по яких переміщається стіл або заготовка, – несамодіючими вузлами.

Перевага останніх у спрощенні обслуговування і ремонту завдяки легкому доступу до елементів приводу. За типом приводу руху подачі силові вузли бувають гідравлічними, електромеханічними (з передачею гвинт-гайка або кулачковими), пневмогідравлічними і пневматичними. Силова малогабаритна головка (рис. 1.6) призначена для надання ріжучим інструментам обертального й поступального руху. Головка складається з корпусу 4, в якому встановлені фланці 3 і 6, які слугують опорами ковзання для зворотно-поступального переміщення пінолі 2. У пінолі (у двох

опорах, що складаються з здвоєних радіально-упорних шарикопідшипників 21) встановлено шпindel 1 головки. Натяг підшипників 21 здійснюється пружинами 5. Шпindel отримує обертання від асинхронного електродвигуна 10, через зубчасті колеса 9 і 12, змінні шківів А і Б, клинові ремені 14 і приводний вал 15.

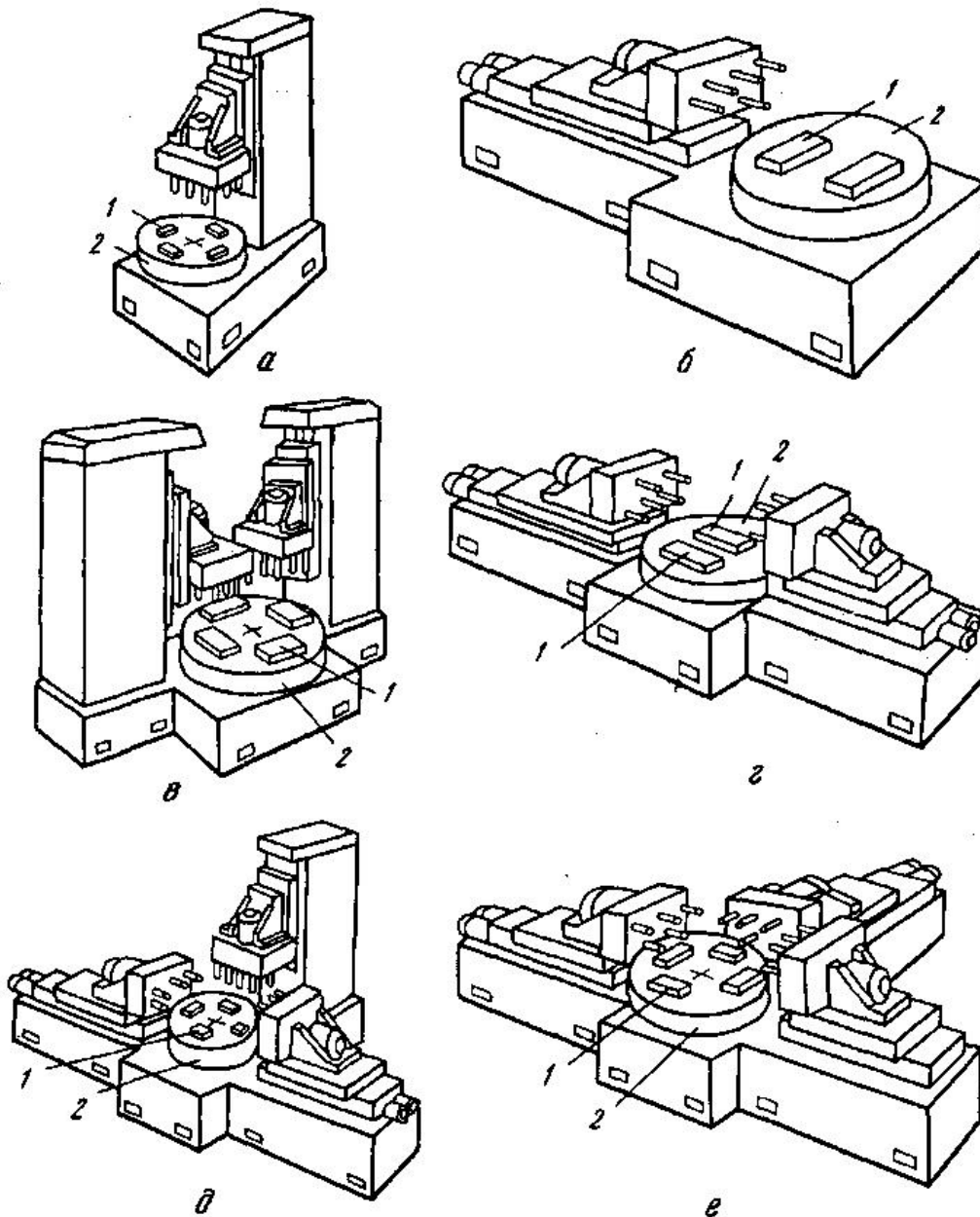


Рисунок 1.3 – Типові компоновки агрегатних верстатів з поворотним ділильним столом

Привод головного руху виконаний у вигляді окремого блоку, що складається з корпусів 11 і 13. У корпусі 13 розташовуються змінні шківів, а в корпусі 11 – змінні зубчасті колеса. Шківів з'єднується з корпусом голо-

вки за допомогою стакана 16 і фланця 17. Обертання від приводного валу 15 до шпинделя 1 передається через кулачкову муфту 19. Гайка 20 призначена для регулювання довжини ходу пінолі при обробці глухих отворів. Кулачковий блок 18, жорстко закріплений на пінолі 2, в кінці ходу впирається в гайку і зупиняє піноль.

Початкове положення пінолі фіксується перемикачем 7, який отримує команду від екрану 8, з'єднаного з піноллю через кулачковий блок 18.

Силовa голівка пінольного типу з плоскокулачковим механізмом подачі (рис. 1.7) призначена для свердління, розгортання, торцювання та нарізання різьби. При оснащенні спеціальними пристосуваннями можна виконувати фрезерування, обточування і розточування кільцевих канавок в отворах.

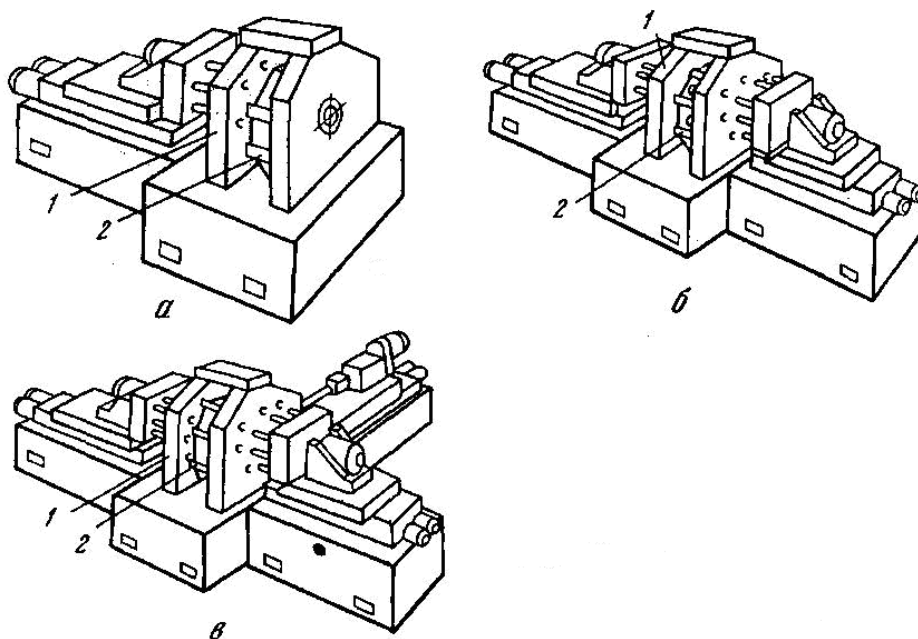


Рисунок 1.4 – Типові компоновки агрегатних верстатів з поворотним ділильним барабаном

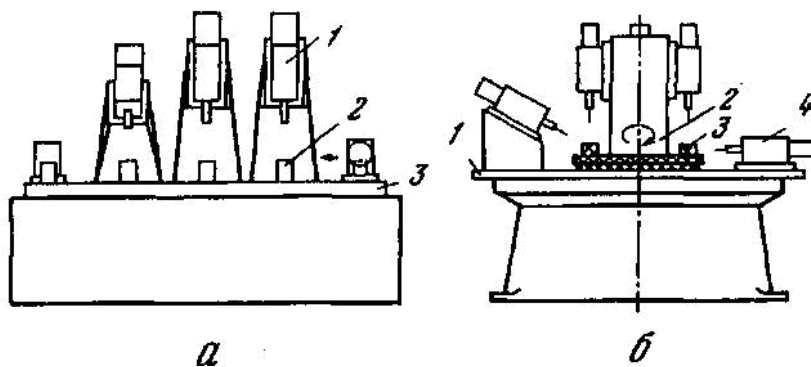


Рисунок 1.5 – Компоновка агрегатних верстатів з прямолінійним переміщенням заготовок (а) і з центральною колоною (б)

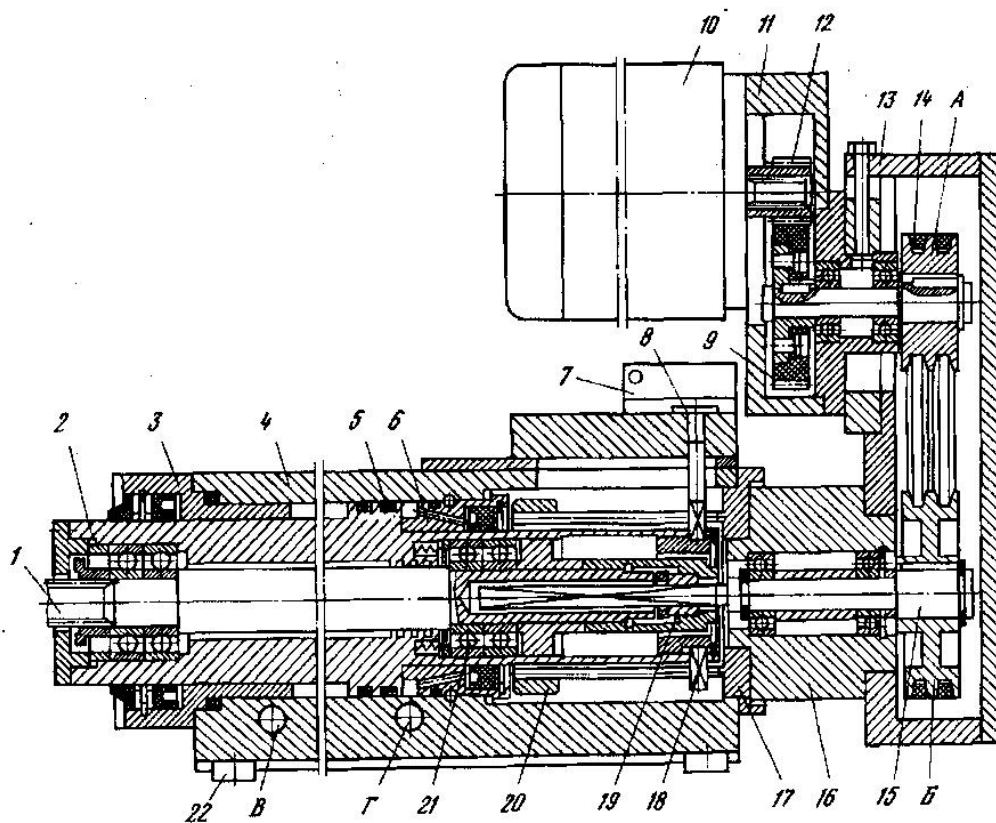


Рисунок 1.6 – Силова малогабаритна головка

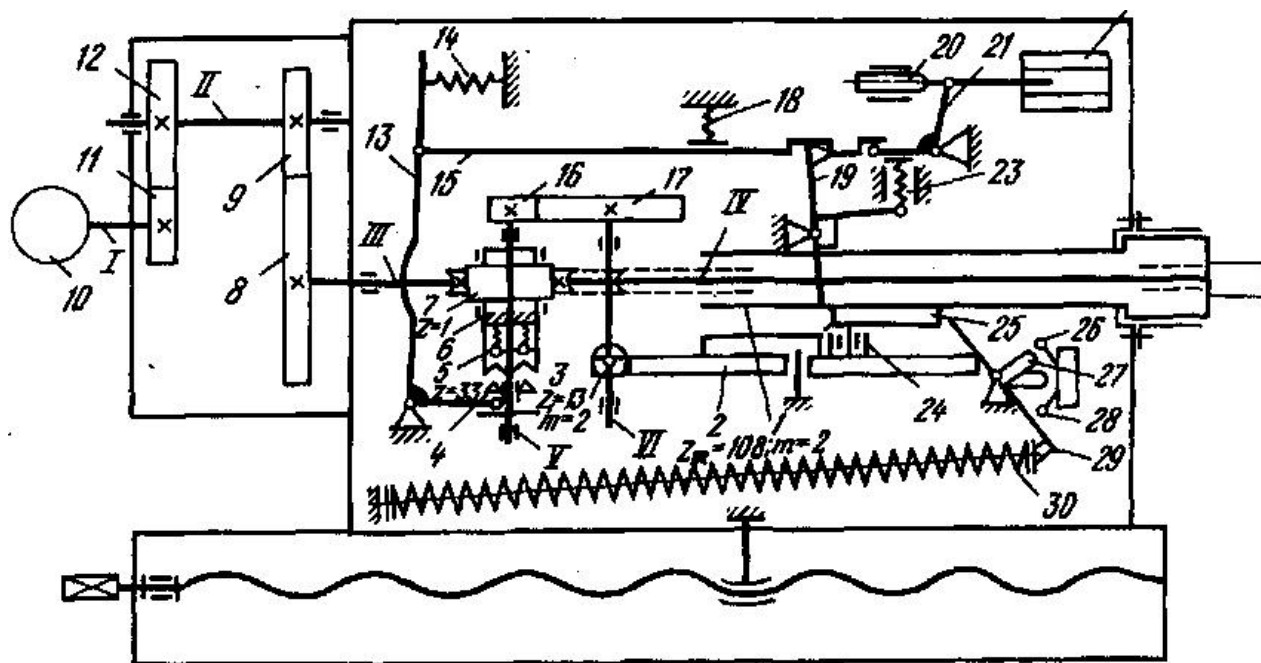


Рисунок 1.7 – Кінематична схема головки пінольного типу з плоскокулачковим механізмом подачі



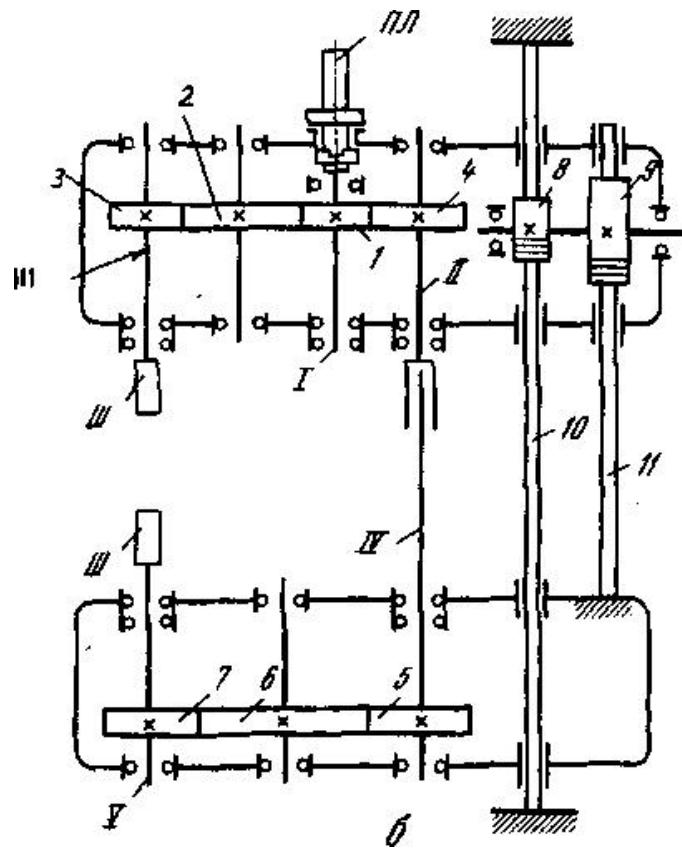
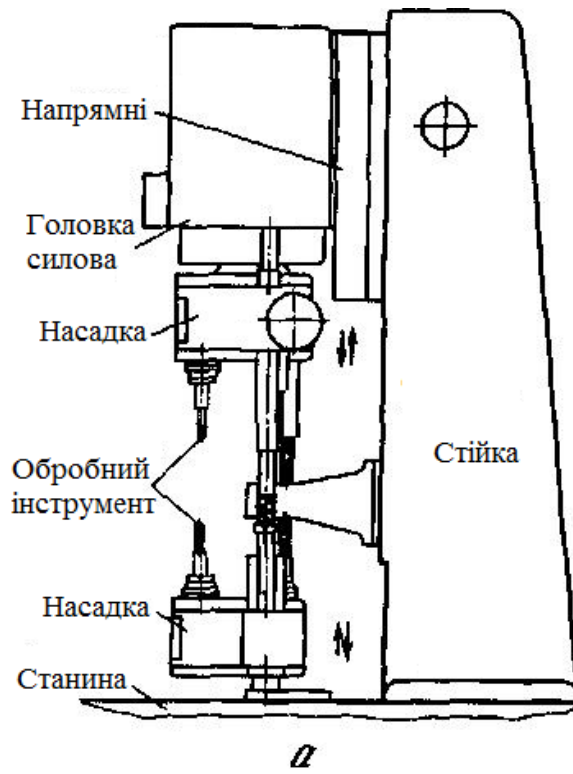


Рисунок 1.8 – Механізм для двосторонньої обробки: а) – загальний вигляд, б) – кінематична схема

Її конструкція передбачає можливість оснащення багатошпindelною насадкою, механізмом зворотного ходу, механізмом двосторонньої обробки, фрезерної насадкою та іншими пристроями. *Головний рух* реалізується від електродвигуна 10 через вал I, змінні колеса 11 і 12 на вал II і через колеса 9 та 8 – на вал III і далі на пустотілій черв'як 7 до шпинделя IV.

*Рух подачі* здійснюється піноллю 1 спільно зі шпинделем IV від черв'яка 7, колеса 6, через кулачкову запобіжну муфту 4, змінні колеса 16-17, від валу V на вал VI. Потім рух передається через шестерню 3 кулачку 2. Кулачок діє через ролик на вісь 24, закріплену разом з шпонкою 25 на пінолі 1, і надає останній зворотно-поступальне переміщення. Постійний контакт кулачка 2 з роликом осі 24 забезпечується пружиною 30.

Подача вмикається автоматично після спрацьовування електромагніта 22. Втягуючись сердечник магніту повертає важіль 21, який при цьому здійснює зачеплення тяги з важелем 19. Пружина 14, впливаючи на двоплечний важіль 13, повертає його і включає муфту 4. При цьому замикається ланцюг подачі, і піноль рухається вперед. Важіль 19 під впливом пружини 23 знаходиться в контакті з шпонкою 25 і повертається на осі. Вільний кінець важеля ковзає по виступу тяги 15 і потім потрапляє в її паз під дією пружини 18. Повертаючись назад, піноль 1 шпонкою 25 повертає важіль 19, який переміщує тягу 15, стискає пружину 14 і через важіль 13 відключає муфту 4, в результаті чого піноль зупиняється у вихідному положенні. У налагоджувальному режимі подача вмикається натисненням кнопки 20. Початкове положення контролюється мікроперемикачем 26, а команда на реверсування електродвигуна при різьбонарізних роботах силової головці надходить від мікроперемикача 28. Керування мікроперемикачами виконується за допомогою прапорців 27, закріплених на важелі 29. Для розширення технологічних можливостей силової головки оснащуються додатковими пристосуваннями.

*Механізм двосторонньої обробки* (рис. 1.8) призначений для обробки поверхонь (свердління, розточування, обточування, нарізання різьби), розташованих з протилежних сторін заготовки. Він складається з двох насадок (рис. 1.8, а), що переміщуються по круглим напрямних у протилежних напрямках (див. стрілки на рис. 1.8, а). Головний рух шпинделі III насадок отримують від валу і шпинделя силової головки через колеса 1, 2 і 3 на шпиндель III ведучої насадки, а також через шестерні 1, 4, 5, 6, 7 на шпиндель V веденої насадки. Обидві насадки переміщуються одночасно від пінолі силової головки. Рух подачі передається ведучій насадці, і через рейкові передачі 8-10 і 9-11 рух у протилежному напрямку надається веденій насадці.

*Багатошпindelні насадки* (рис. 1.9) використовуються для одночасної обробки (свердління, розгортання, нарізування різьби) декількох отворів з паралельними осями. Державка насадки закріплюється на торці силової головки, і рух зі шпинделя 2 головки через зубчасті колеса, встановлені на проміжних валиках 3, передається робочим шпинделем 1 насадки.

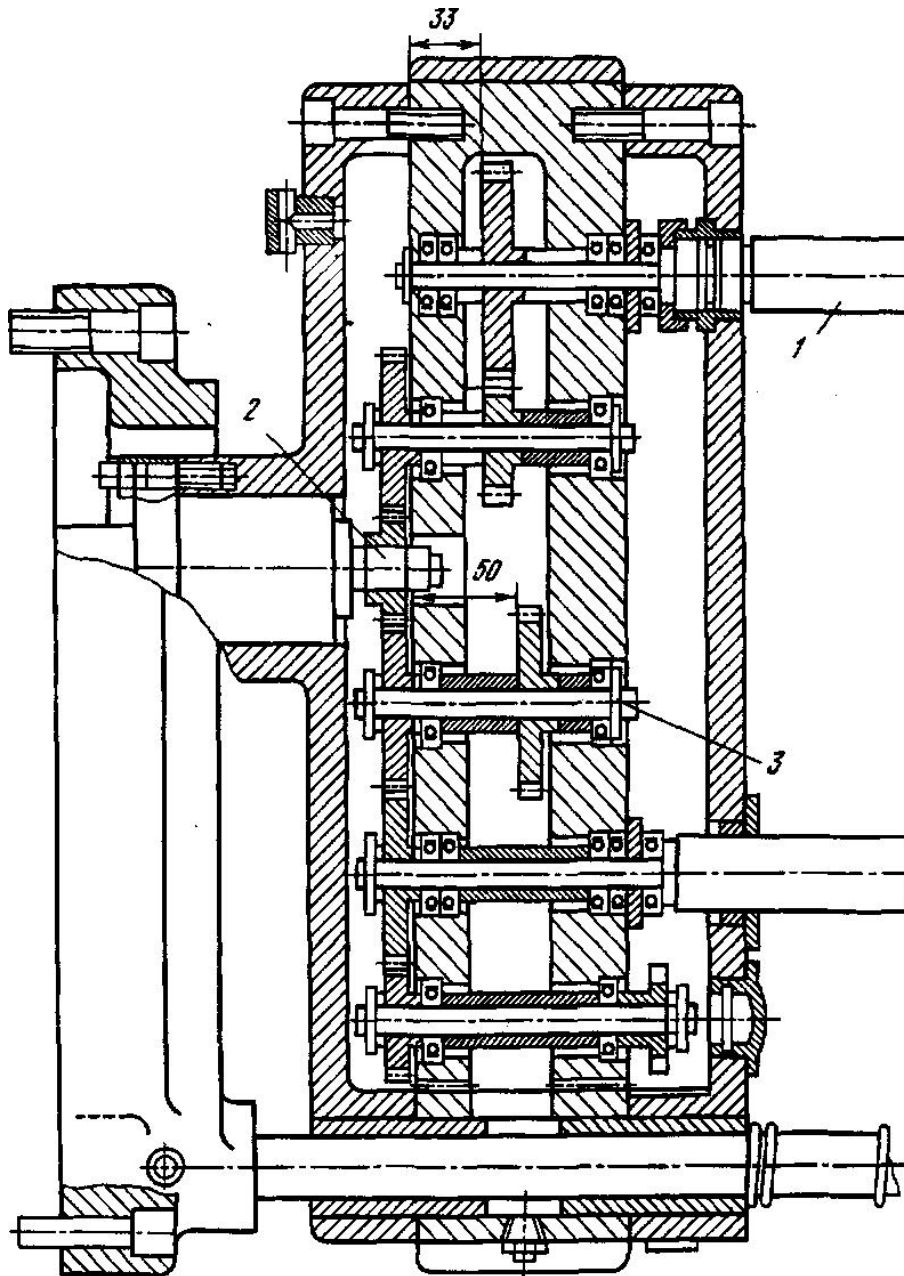


Рисунок 1.9 – Багатошпindelна насадка

**Силові столи** призначені для встановлення на них вузлів головного руху (розточувальних, свердлильних, фрезерних бабок; упорних косинців із шпindelними коробками) або затискних пристроїв з оброблюваними заготовками і надання їм прямолінійних робочих рухів подачі. Загальний вигляд і кінематична схема силового столу з електромеханічним приводом наведено на рис. 1.10. Стіл 3 переміщується по напрямній плиті 4, що має плоскі або призматичні напрямні 5, ходовим гвинтом 6, що приводиться в обертання електродвигуном 1 (M1) при швидких ходах, а електродвигуном 2 (M2) – при робочій подачі. Електромагнітна муфта 7 слугує для розділення кінематичного ланцюга подачі і швидких ходів.

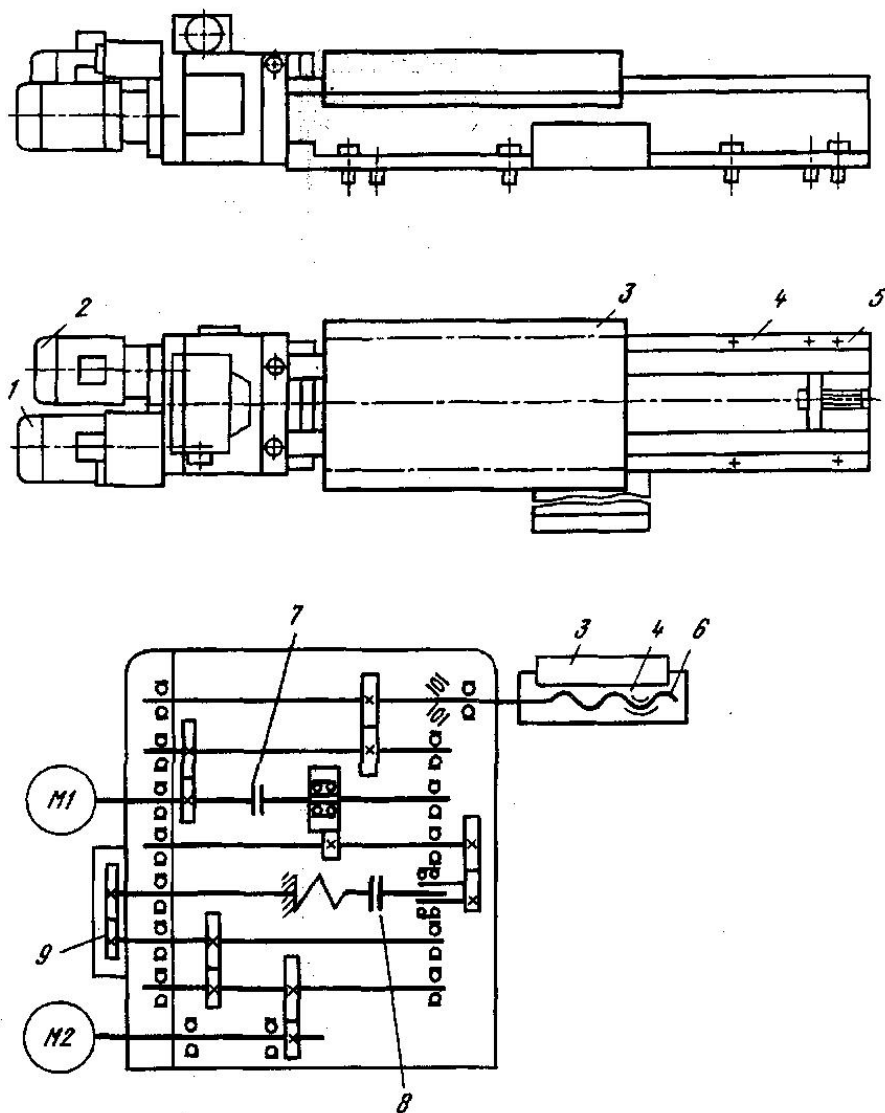


Рисунок 1.10 – Силовий стіл

Муфта 8 оберігає механізм приводу при підводі столу до жорсткого упору. В АВ використовують також хрестові силові столи, що забезпечують настановні переміщення в двох взаємоперпендикулярних напрямках і рух подачі по одному з них.

*Шпиндельні вузли* (свердлильні, розточувальні, фрезерні бабки, револьверні бабки) – одношпиндельні вузли, широко використовуються для виконання розточувальних, свердлильних, фрезерних операцій та нарізання різьби. Для підрізання торців бабки оснащуються механізмами поперечних подач і планшайбами. У комплекті з приводом головного руху і силовими столами бабки можуть встановлюватися на горизонтальну, вертикальну чи похилу основу для обробки поверхонь, розташованих під різними кутами.

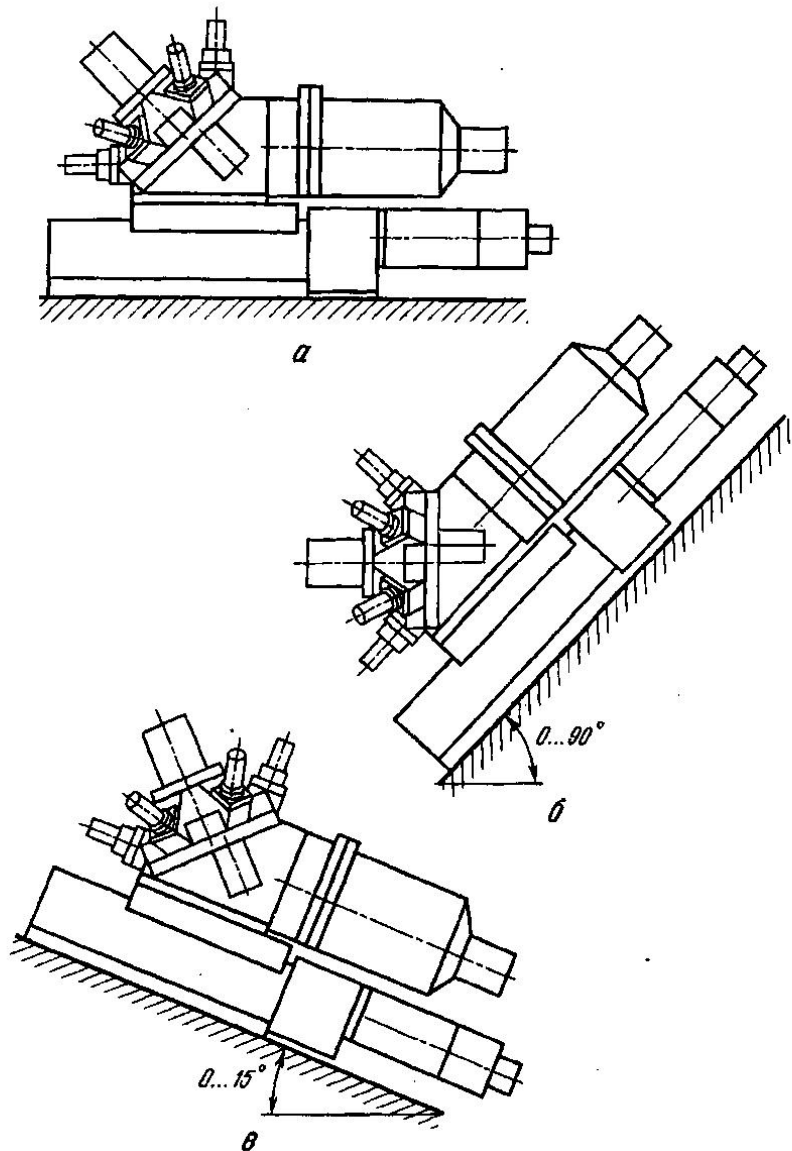


Рисунок 1.11 – Варіанти установки револьверної бабки:  
 а) – горизонтальна установка, б) – похила установка з напрямком робочої подачі зверху вниз; в) – похила установка з напрямком робочої подачі знизу вгору

*Револьверні бабки* призначені для надання головного руху ріжучому інструменту на робочій позиції і автоматичної зміни інструменту (при обробці декількох заготовок). Бабки виконують операції свердління, розгортання, фрезерування, розточування, а також багатошпindelну обробку при установці на них багатошпindelних коробок.

Варіанти установки револьверних бабок показані на рис. 1.11, а конструкція бабки – на рис. 1.12. Поворотний блок шпинделів 3, встановлений на осі 5, яка закріплена в корпусі 8. В якості опор використовуються роликпідшипники 4 і 6 з короткими циліндричними роликами.

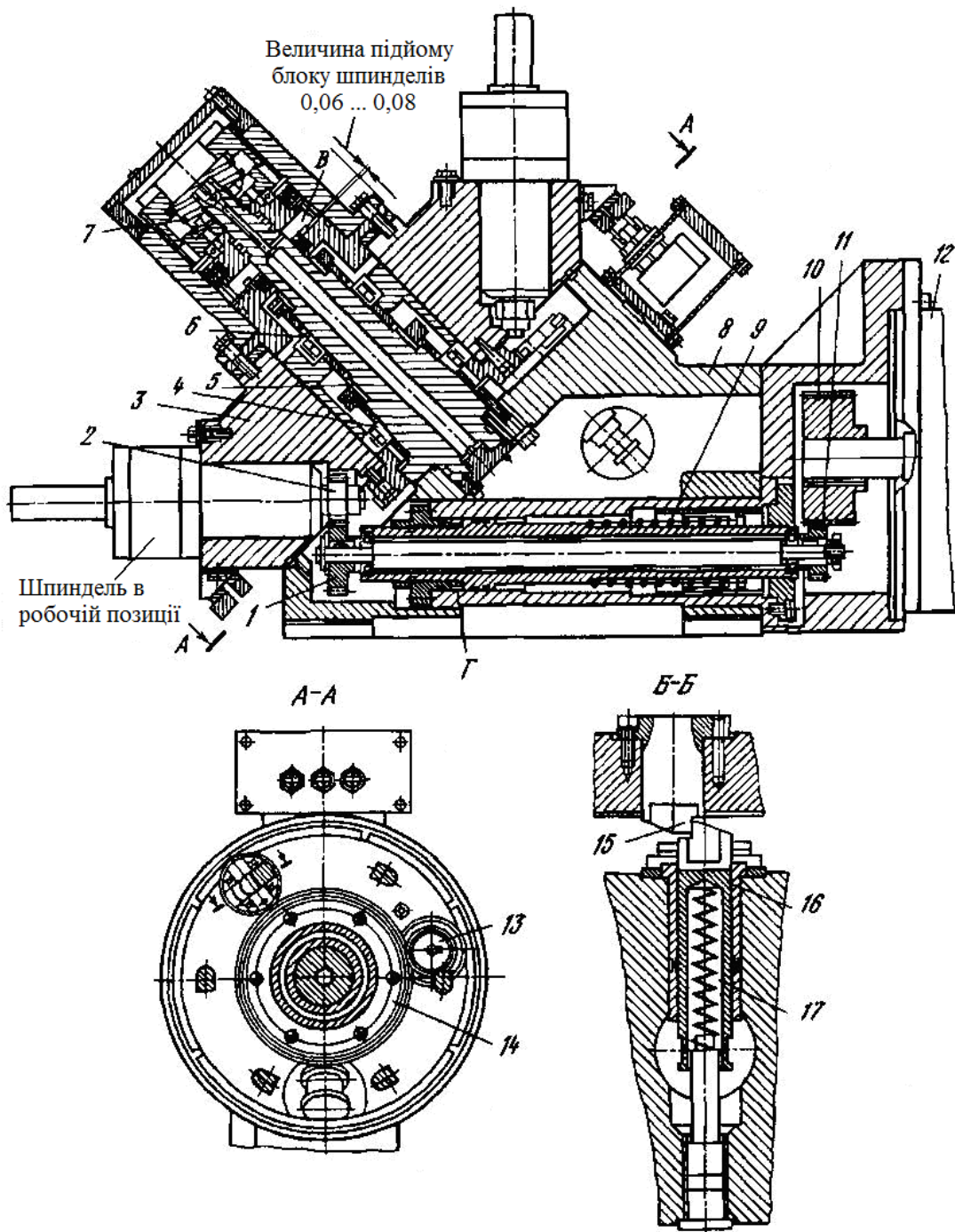
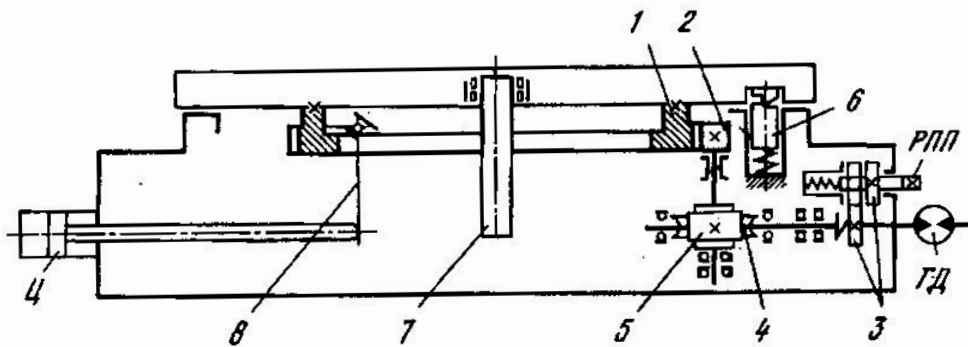


Рисунок 1.12 – Револьверна бабка

Шпиндель на робочій позиції обертається від регульованого електродвигуна 12 через колеса 10-11, 1-2. Введення в зачеплення колеса 1 з колесом 2 шпинделя на робочій позиції здійснюється пружиною 9, а виведення – подачею масла в порожнину "Г" і стисненням пружини 9. Блок шпинделів притискається до корпусу при подачі масла в порожнину "В", а при знятті тиску – блок шпинделів піднімається пружиною 7. Поворот і

реверс блоку здійснюється від гідромотора через колеса 13 і 14. Фіксація блоку шпинделів здійснюється упором 15 і фіксатором 16. При повороті блоку упор 15 "топить" рухомий фіксатор 16. Після проходження упора 15 блоку шпинделів над фіксатором 16 виконується реверс гідромотора. При зворотному обертанні блоку шпинделів упор 15 притискається до фіксатора 16, який повертається у вихідне положення пружиною 17.



планшайби; 1–зубчастий вінець; 2 – приводна шестірня;  
 3 – колеса ручного приводу; 4 – черв'ячне колесо,  
 5 – черв'як; 6 – фіксатор;  
 7 – центральна вісь; 8 – важіль затиску

*Транспортні вузли*, виконані у вигляді поворотних столів використовуються для транспортування заготовки з однієї робочої позиції на іншу і точного позиціонування заготовки.

Кінематична схема ділильного столу з гідроприводом наведена на рис. 1.13, а конструкція столу – на рис. 1.14. Планшайба 15 повертається гідродвигуном 3 через черв'ячну передачу 6 і циліндричну – 16. Наприкінці повороту упор 7 наїжджає на рухомий фіксатор 9, який при ході вниз діє на вимикач 13 і натискає золотник 14, який гальмує обертання гідродвигуна 3. При подальшому обертанні планшайби фіксатор звільняється, під дією пружини 10 піднімається вгору і розмикає вимикач 13.

Робоча рідина надходить у нижній отвір золотника 14, плунжер якого піднімається і забезпечує доступ рідини масла до гідродвигуна. Наприкінці реверсу упор 7, долаючи зусилля пружини 17, повертає валик 8 розташований на осі фіксатора 9. На нижньому кінці валика 8 знаходиться планка з гвинтом 11, який при повороті валика включає датчик вихідного положення 12. Після витримки часу вмикається гідророзвантаження на прямих планшайби і вмикається її затиск.

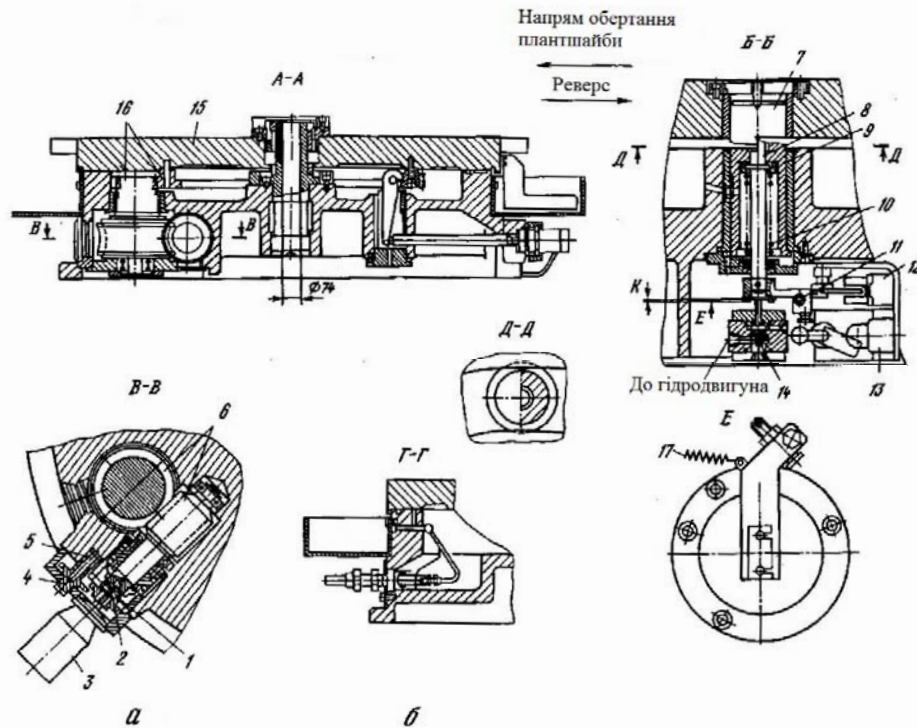


Рисунок 1.13 – Поворотно-ділильний стіл з гідроприводом

Стіл оснащений ручним приводом повороту планшайби, який використовується при налагодженні. Він складається з підпружиненого вала-шестерні 4, на кінці якого виконано шестигранний отвір, і колеса 2, з'єданого муфтою 1 з черв'яком 6. При стисканні пружини 5 шестерня 4 вводиться в зачеплення з колесом 2, після чого можна вручну повертати планшайбу 16. Затискні пристосування АВ забезпечують базування заготовки з необхідною точністю і надійне її закріплення. В автоматизованих приводах затиску використовують пневматичні або гідравлічні циліндри, а також електро- або гідромеханічні ключі.



## 2 АВТОМАТИЧНІ ЛІНІЇ

### 2.1 Основні типи автоматичних ліній (АЛ)

Автоматичні лінії призначені для виготовлення деталей в умовах великосерійного і масового виробництва. Економічна ефективність використання АЛ досягається завдяки їх високій продуктивності, скорочення обслуговуючого персоналу, стабільній якості виробів, ритмічності випуску, створенню умов для сучасних методів організації виробництва і як наслідок низької собівартості продукції.

Автоматична лінія (рис. 2.1, а) являє сукупність автоматичного основного технологічного і допоміжного обладнання (машин), встановленого в порядку проходження технологічного процесу, що має загальне керування або кілька взаємопов'язаних систем керування. Завантаження, розвантаження та міжопераційні переміщення заготовок від верстата до верстата здійснюються автоматичною транспортною системою, що має накопичувач первинного завантаження.

АЛ повинна містити не менше двох автоматичних верстатів.

*Ділянка АЛ* – частина АЛ, яка може діяти самостійно.

До складу АЛ входять:

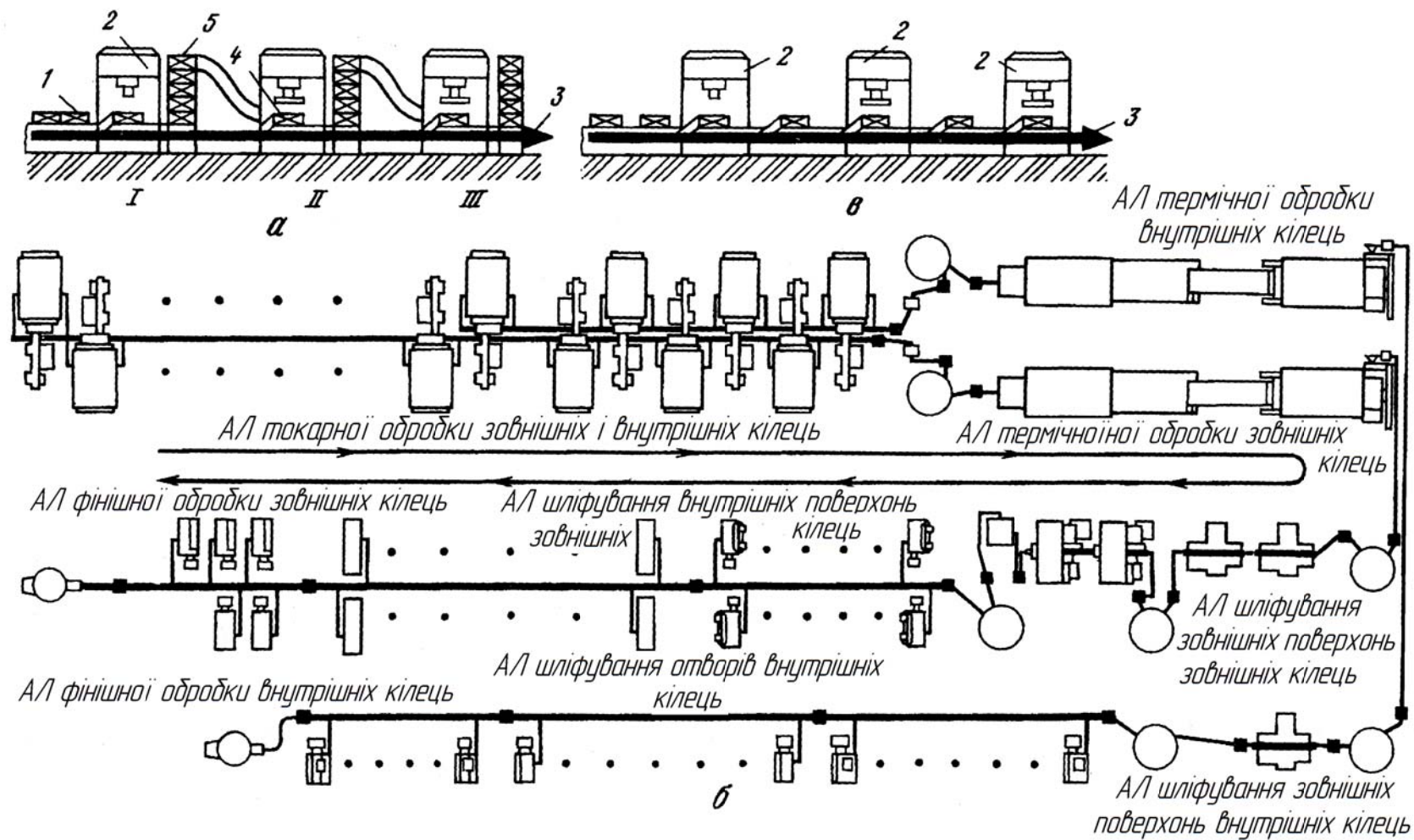
1. Технологічне обладнання для виконання частини технологічного процесу (агрегатні верстати, спеціальні та спеціалізовані автомати і напівавтомати – для механічної обробки заготовок; контрольно-сортувальне обладнання – для нанесення на поверхню деталей покриттів, миття, упакування тощо).

2. Транспортні агрегати (конвеєри, лотки, підйомники, пристрої для повороту заготовок – для виконання міжопераційних транспортних операцій; накопичувачі заділів для безперервної роботи лінії при простоях ділянок або окремого устаткування).

Завантажувальні пристрої – для подачі заготовок з основної транспортної траси в робочу зону верстата, пристрої для відведення стружки.

3. Система керування на базі електричних, електрогідравлічних, електромеханічних, електропневматичних, механічних та інших елементів. Вона забезпечує керування робочим циклом окремих агрегатів і верстатів, а також робочим циклом синхронних ліній і ділянок несинхронних ліній з метою забезпечення заданої послідовності їх роботи; взаємне блокування незалежно працюючих агрегатів ліній для забезпечення їх взаємодії; автоматичне виявлення місця і характеру виникаючих відмов; отримання інформації для керування експлуатацією обладнання (облік деталей, які випускаються, сигналізація необхідності зміни інструменту і т.д.).

**Система АЛ** – сукупність взаємопов'язаних ліній для послідовного виготовлення деталей, встановлених в послідовності процесу обробки, з'єднаних автоматичними транспортними (накопичувальними) пристроями і оснащених взаємопов'язаними системами керування.



25

Рисунок 2.1 – Компонівка автоматичної лінії: 1 – накопичувач первинного завантаження заготовок; 2 – верстат; 3 – конвеєр, 4 – заготовка, 5 – накопичувач, I, II, III – ділянки лінії

На рис. 2.1,б наведена схема системи ліній по обробці кілець і збиранні кулькових підшипників. На вбудованих лініях виконуються певні види обробки (точіння, шліфування і т.д.).

## 2.2 Класифікація АЛ

За ступенем суміщення часу обробки з транспортуванням заготовки АЛ підрозділяють на *стаціонарні, роторні та конвеєрні*.

За кількістю потоків розрізняють *однопотокові* (кожна операція виконується на одній заготовці) і *багатопотокові* (одна і та ж операція виконується одночасно на декількох заготовках).

Транспортні потоки на лініях можуть бути залежними і незалежними, тобто заготовки на подальшу обробку надходять на певне обладнання чи ні. За кількістю типів одночасно оброблюваних заготовок лінії ділять на *однопредметні* (однономенклатурні) і *багатопредметні* (багатономенклатурні).

Гнучка АЛ – переналагоджувана на задану і перенастроювана на нову номенклатуру деталей. Переналагодження може здійснюватися регулюванням або заміною окремих елементів оснащення, транспортних або завантажувальних пристроїв і т.д.

Різновиди АЛ по компонованні наведені на рис. 2.2.

**АЛ називають зблокованою** (синхронною) (див. рис. 2.1, в), якщо транспортна система і система керування пов'язана загальним циклом роботи. У цьому випадку обладнання працює синхронно (заготовки завантажуються, обробляються, пересуваються одночасно), і при послідовному розташуванні обладнання відмова будь-якого верстата викликає зупинку лінії протягом циклу .

Незблоковані (несинхронні) АЛ (див. рис. 2.1, а) такі, в яких транспортна система і система керування забезпечують (у певних межах) незалежний цикл роботи кожного верстата, встановленого послідовно або паралельно. Відмова будь-якого верстата не викликає одночасного простою АЛ, так як всі інші верстати продовжують роботу до закінчення міжопераційних заділів, розміщених в накопичувачах або транспортній системі.

За характером транспортування заготовок АЛ ділять на супутникові (заготовки базують, обробляють і транспортують на супутниках) і безсупутникові.

Важливим показником конструкції транспортної системи та обладнання є спосіб транспортування, який може бути наскрізним (через зону обробки) або не наскрізним, при цьому транспортний потік може бути вітковий і безвітковий. У АЛ з вітковим потоком потік заготовок ділиться хоча б на одній операції на кілька потоків, і обробка проводиться на паралельно працюючих верстатах (див. рис. 2.1, б).

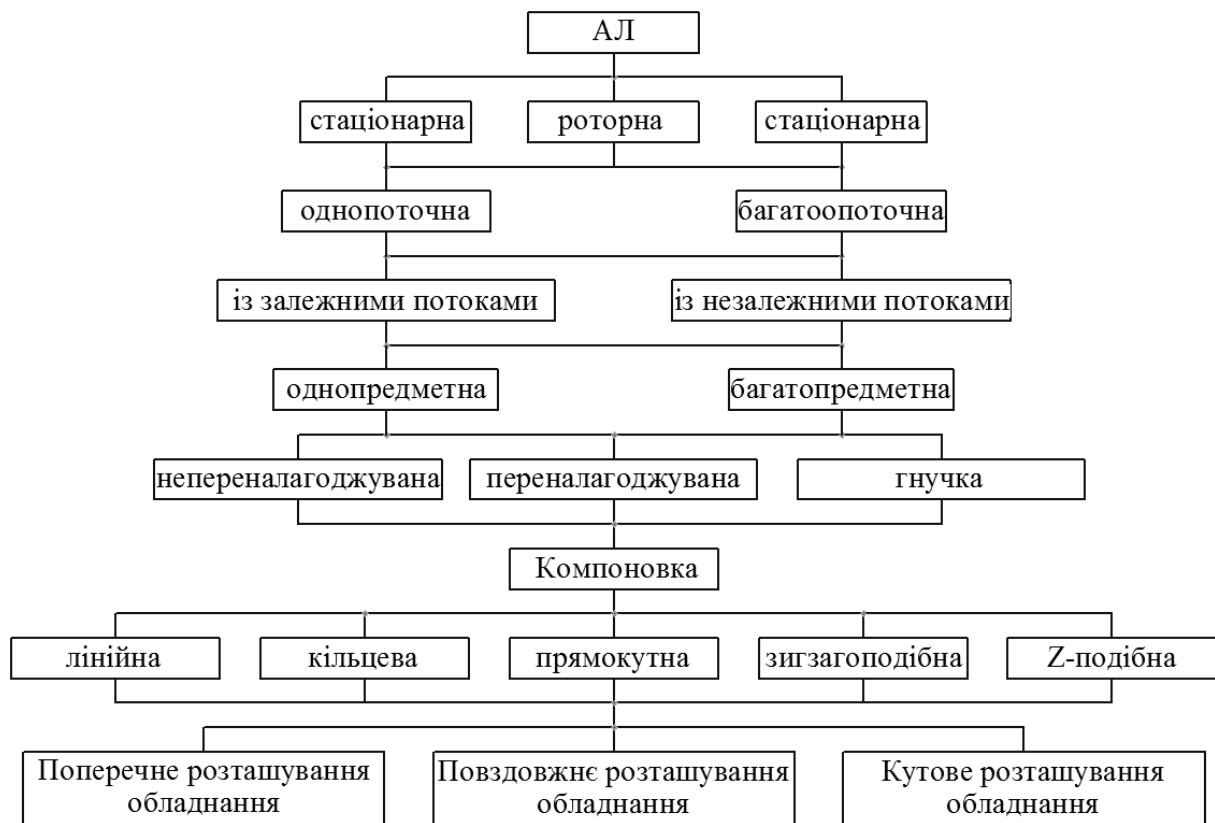


Рисунок 2.2 – Класифікація автоматичних ліній

За видом оброблюваних заготовок розрізняють АЛ для обробки корпусних деталей (головки блоків, блоки циліндрів, двигунів, корпуса коробок передач тощо) та лінії для обробки деталей типу тіл обертання (кільця підшипників, вали, гільзи і т.д.).

### 2.3 Автоматичні лінії для обробки корпусних деталей

АЛ будують на базі агрегатних верстатів; їх число і компоновка лінії залежать від складності виготовлення деталей, складу необхідних операцій і переходів обробки, необхідної продуктивності (число верстатів коливається від двох до ста).

Як приклад, розглянемо систему автоматичних ліній (САЛ), призначених для обробки блоку циліндрів двигуна автомобіля (рис. 2.3 ... 2.6). САЛ складається з 22 АЛ (1-20) рис. 18,3; АЛ 17 і 18 працюють паралельно, тому в системі передбачено по дві такі АЛ. Крім того, в САЛ встановлені автоматизовані ділянки 22, 23, 24 і 25 і чотири мийні агрегати 21. Блоки циліндрів переміщуються в АЛ кроковими конвеєрами 26, 27 і 28. Заготовкою блоку є поліпшений виливок (рис. 2.4).

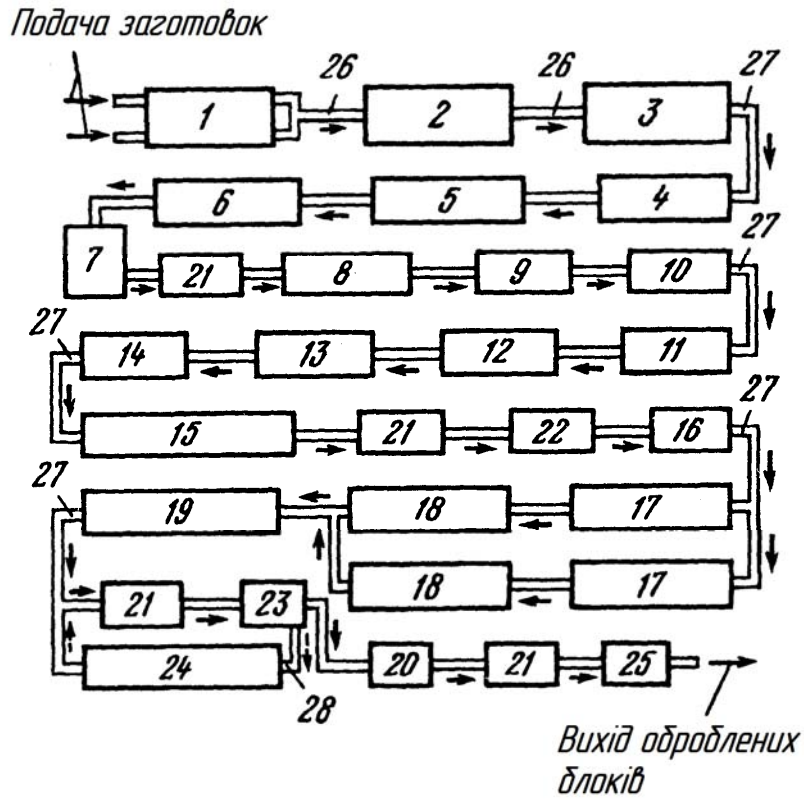


Рисунок 2.3 – Планування автоматичних ліній для обробки блоку циліндрів двигуна автомобіля

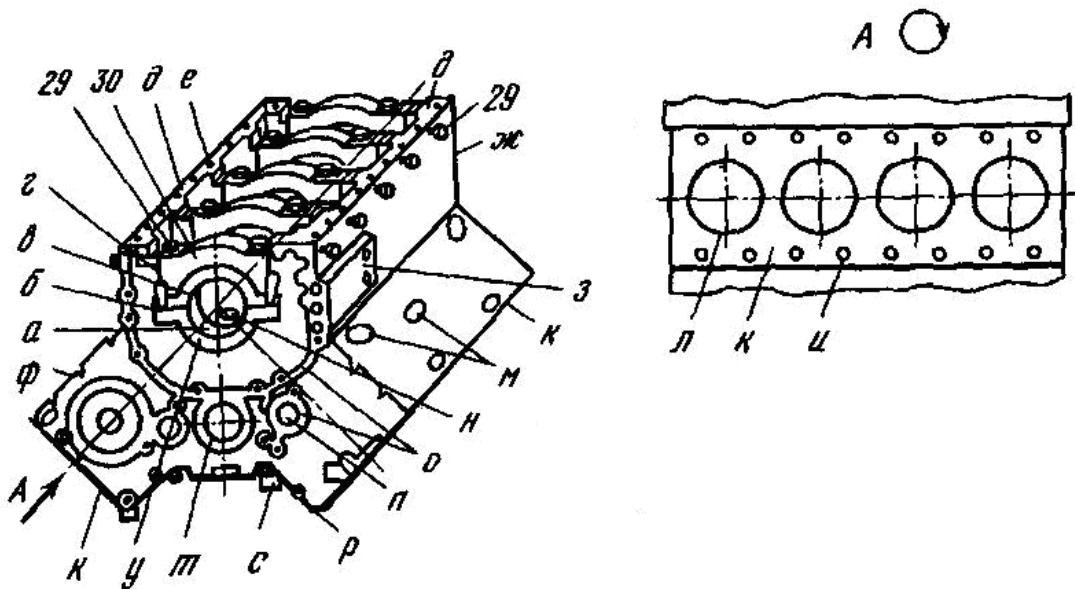


Рисунок 2.4 – Блок циліндрів двигуна

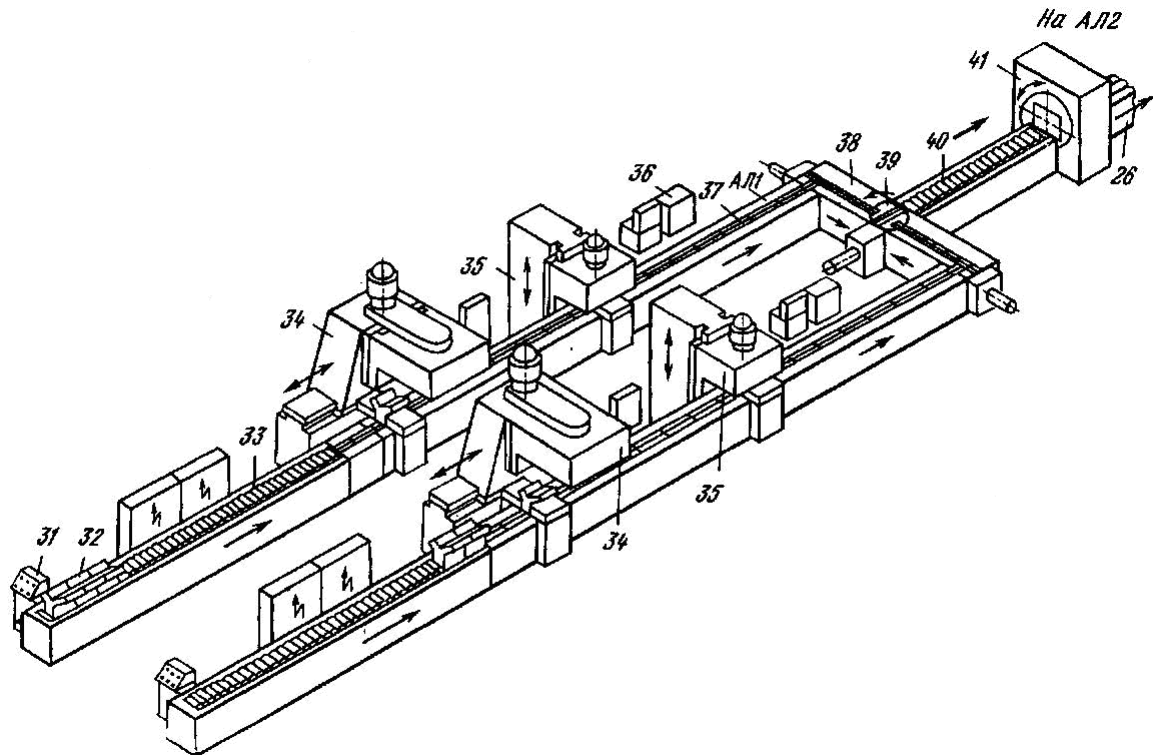


Рисунок 2.5 – Автоматична лінія для обробки базових поверхонь

У АЛ на автоматизованих ділянках проводяться наступні операції: АЛ1 – фрезерування базових поверхонь Р, Ш і обробка отвору Щ (рис. 2.4 і 2.6); АЛ 2 і 3 – фрезерування поверхонь а, б, г, д, ж, м, у, ф, обробка отворів під болти 29 для установки кришок корінних опор 30, обробка отворів "Н" під клапани; АЛ 4, 5 і 6 – фрезерування поверхонь К і О, розточування отворів Л під гільзи, чистове протягування базових поверхонь б і г для установки кришок 30, свердління отворів І, П та ін; АЛ 7 і 8 збирання блоку з кришкою 30, закручування болтів 29, заштифтування, чистове фрезерування поверхонь д під піддон; АЛ 9-14 – обробка отворів в площинах д, м, о, ф і свердління каналів для підведення масла; АЛ 15-20 – чистове розточування отворів а, в і г під опори колінчатого і розподільного валів, контроль діаметра зазначених отворів, чистове розточування отворів Л під гільзи, обробка отворів І під кріплення головок циліндрів; автоматизовані ділянки 22 і 23 – контроль герметичності каналів для підведення масла і водяного охолодження порожнин; ділянка 24 – ремонт забракованих блоків; ділянка 25 – ручний контроль.

На рис. 2.5 показана АЛ1, що входить до САЛ. Решта АЛ та ділянки мають, в основному, аналогічну структурну побудову. АЛ1 складається з двох паралельних потоків (з'єднуються в кінці АЛ в один), кожен з яких має спеціальний семишпindelний фрезерний 34 і свердлильний верстати 35. Заготовка 32 блока встановлюється на конвеєр-накопичувач 33 (з при-

водними роликми), звідки кроковим конвеєром 37 подається в затискні пристрої фрезерного верстата 34 і після обробки слідує на свердлильний верстат 35.

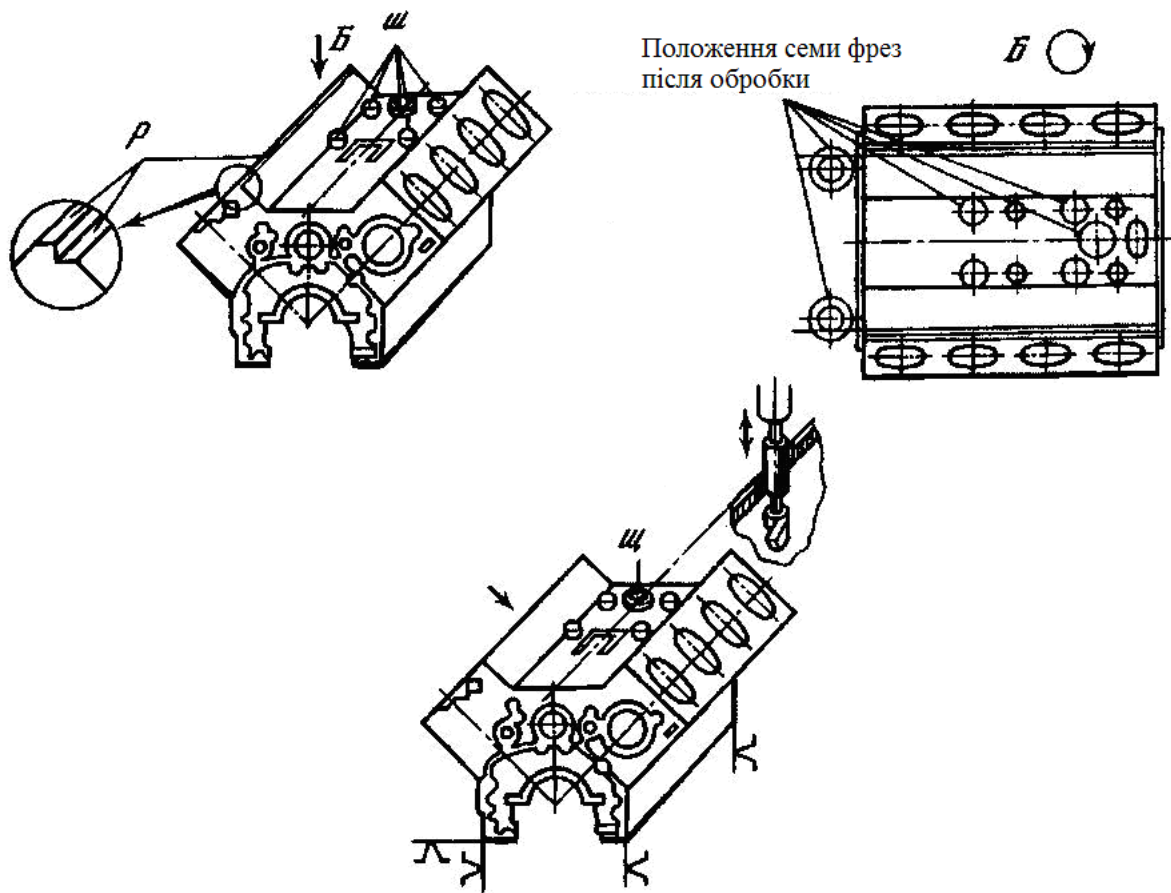


Рисунок 2.6 – Технологічний процес обробки

Далі конвеєрами 37 і 38 блок подається на стіл 39, де обертається на  $180^\circ$  в горизонтальній площині, а потім конвеєром-накопичувачем 40 – у барабан 41, де повертається на  $180^\circ$  у вертикальній площині. Після закінчення обробки блок (конвеєром 26) передається на лінії 2. Керування кожним потоком АЛ проводиться з пульта 31. Змащування верстатів здійснюється від станції 36 централізованої системи.

#### 2.4 Автоматичні лінії для обробки деталей типу тіл обертання

Деталі типу тіл обертання, призначені для обробки на автоматичних лініях, згідно зі способами базування, транспортування, а також використання основного технологічного обладнання, ділять на дві основні групи: деталі типу валів довжиною, що значною перевищує діаметр, і деталі типу дисків (кілець) діаметром, більшим за довжину.

Для токарної обробки, наприклад, валів широко використовують багаторізцеві токарно-копіювальні автомати, в той час як для виготовлення деталей типу дисків і кілець найбільше застосування знайшли горизонтальні і вертикальні багатошпиндельні токарні автомати.

**Багатошпиндельні токарні автомати** мають широкі технологічні можливості при обробці різноманітних деталей, забезпечуючи високий ступінь концентрації обробки.

Як приклад на рис. 2.7 наведена АЛ обслуговується порталними маніпуляторами (ПМ) для обробки валів електродвигунів. АЛ складається з похилого ланцюгового накопичувача 1 і дев'яти різноманітних верстатів 4, 5, 11-16, розташованих перпендикулярно до двох транспортних систем. Одна з систем (з довгим конвеєром 22) призначена для подачі заготовок і відводу валів 23, оброблених на операціях II, III, IV, VI, VII, VIII, для кожної з яких передбачається по одному верстату.

Друга система (з коротким конвеєром 21) використовується (спільно з першою системою) для відводу валів на операцію V, де передбачені два паралельно працюючих верстата 12.

Наявність двох транспортних систем полегшує переміщення валів, що знаходяться на різних стадіях обробки. Над верстатами і транспортними системами встановлено вісім маніпуляторів ПМ 17 і 9 для завантаження-розвантаження оброблюваних деталей. Маніпулятори розміщені на балках (порталах) 7, змонтованих на стійках 6.

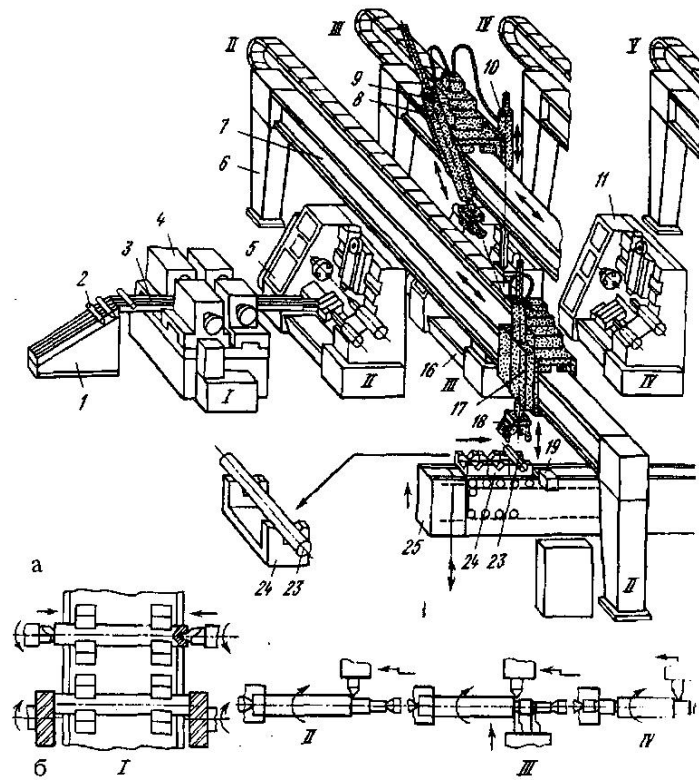
Кожна транспортна система забезпечує переміщення пристосувань супутників (ПС) 24 (з валами 23) по верхнім роликam конвеєрів 22 і 21 та повернення розвантажених ПС за допомогою опускаючого пристрою 20, натискних роликів конвеєра і підйомника 25.

Переміщення завантажених ПС 24 по конвеєрам відбувається до тих пір, поки вони не затримуються відсікачами 19, встановленими навпроти кожного верстата. Після обробки вала на операції VIII він за допомогою ПМ поміщається в контейнер.

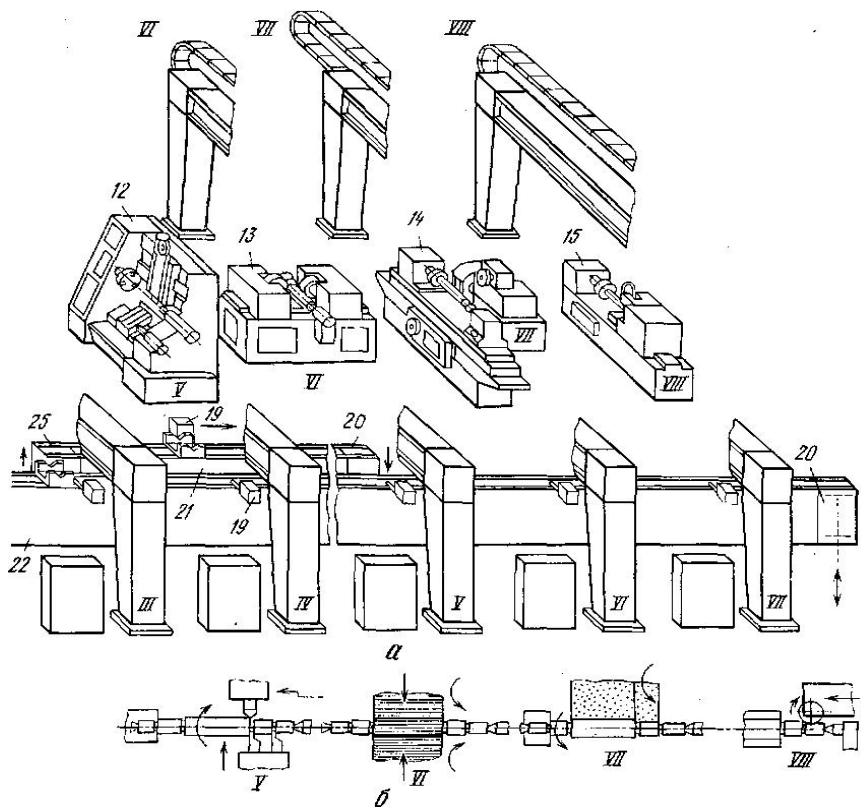
При сталій роботі АЛ вали обробляються в такий послідовності: завантажені вручну заготовки 2 з похилого накопичувача 1 кроковим конвеєром 3 надходять на фрезерно-центрувальний автомат 4 (операція I для обробки торців та свердління центрових отворів, рис 2.7,б), потім деталі тим же конвеєром передаються на гідрокопіювальний токарний автомат 5 для чорнового точіння правого хвостовика вала.

Зажимами 18 робочого органу однорукого маніпулятора 17 ПМ, що обслуговує операцію II і розташований над автоматом 5, оброблений вал захоплюється і переноситься на вільний ПС 24, що утримується на роликах довгого конвеєра 22 відсікачем 19.





a)



б)

Рисунок 2.7 – Автоматична лінія для обробки валів електродвигунів:  
а – загальний вигляд; б – технологічний процес обробки

За командою від маніпулятора ПМ відсікач відкривається, і ПС (з валом) переміщується до наступного закритого відсікача 19. Маніпулятор 9 ПМ, який обслуговує операцію III і знаходиться над конвеєром 22, захоплює робочим органом 8 вал (оброблений на операції II) з ПС, розташованого на конвеєрі 22. Потім той же ПМ робочим органом 10 укладає в ПС вал, раніше оброблений на операції III, і переміщається до гідрокопіювального автомату 16.

Спочатку (з допомогою затискного пристрою вільного робочого органу 10 маніпулятора) ПМ знімає оброблений на автоматі 16 вал, а потім другим робочим органом 8 завантажує новий вал для чистового обточування шийок і точіння канавок правого хвостовика.

Далі маніпулятор ПМ, що обслуговує операцію III, повертається до конвеєра для розвантаження-завантаження валів.

Аналогічно маніпулятор ПМ, обслуговуючого операцію VI, виконує розвантаження-завантаження валами гідрокопіювального автомата 11 для чорнового точіння шийок лівого хвостовика. При цьому маніпулятор ПМ, що обслуговує операцію IV, повертає вал (перед завантаженням в автомат 11) у горизонтальній площині на 180 °.

Після обробки вал (маніпулятором ПМ, що обслуговує операцію IV) переноситься на ПС довгого конвеєра 22, який забезпечує його переміщення до відсікачів двох верстатів 12, які здійснюють операцію V.

Маніпуляторами двох ПМ, що обслуговують операцію V, вал переноситься до гідрокопіювальних токарних автоматів 12 для чистового обточування шийок і прорізки канавок лівого хвостовика вала. Оброблений вал передається на ПС короткого конвеєра 21. На операції VI ПМ завантажує вал (з короткого конвеєра 21) на накатний автомат 13, а оброблений вал розвантажує на довгий конвеєр 22. На наступних операціях VII і VIII завантаження і розвантаження валів (відповідним ПМ) здійснюється з ПС тільки довгого конвеєра 22. На накатному автоматі 13 (операція VI) відбувається нанесення рифлень на зовнішній поверхні, що є необхідним для запресовування пакету заліза якоря. На круглошліфувальному автоматі 14 (операція VII) шліфується зовнішня поверхня рифлень і шийки. На шпоночно-фрезерному автоматі 15 (операція VIII) фрезерується шпонковий паз.

На рис. 2.8 наведена схема АЛ для токарної обробки кілець конічних роликотідшипників. На початку лінії встановлено автоматичний бункер 1 для накопичення і видачі штучних заготовок, а в кінці магазин 7 (з щітками, що обертаються). Транспортні пристрої (конвеєри підвідний 5 і відвідний 4, підйомники 2, гнучка лоткова система 6) передають заготовки з бункера до багатошпindelних токарних автоматів 3, а оброблені кільця 1 до пресу для нанесення клейма і далі в магазин.

Зовнішні кільця обробляють у шестишпindelних, а внутрішні – на восьмишпindelних токарних автоматах. На кожному верстаті реалізується повна токарна обробка кільця, технологічні процеси якій представлені відповідно на рис. 2.8, б, в. Завантаження, вивантаження і поворот кільця в процесі обробки забезпечується автооператором.

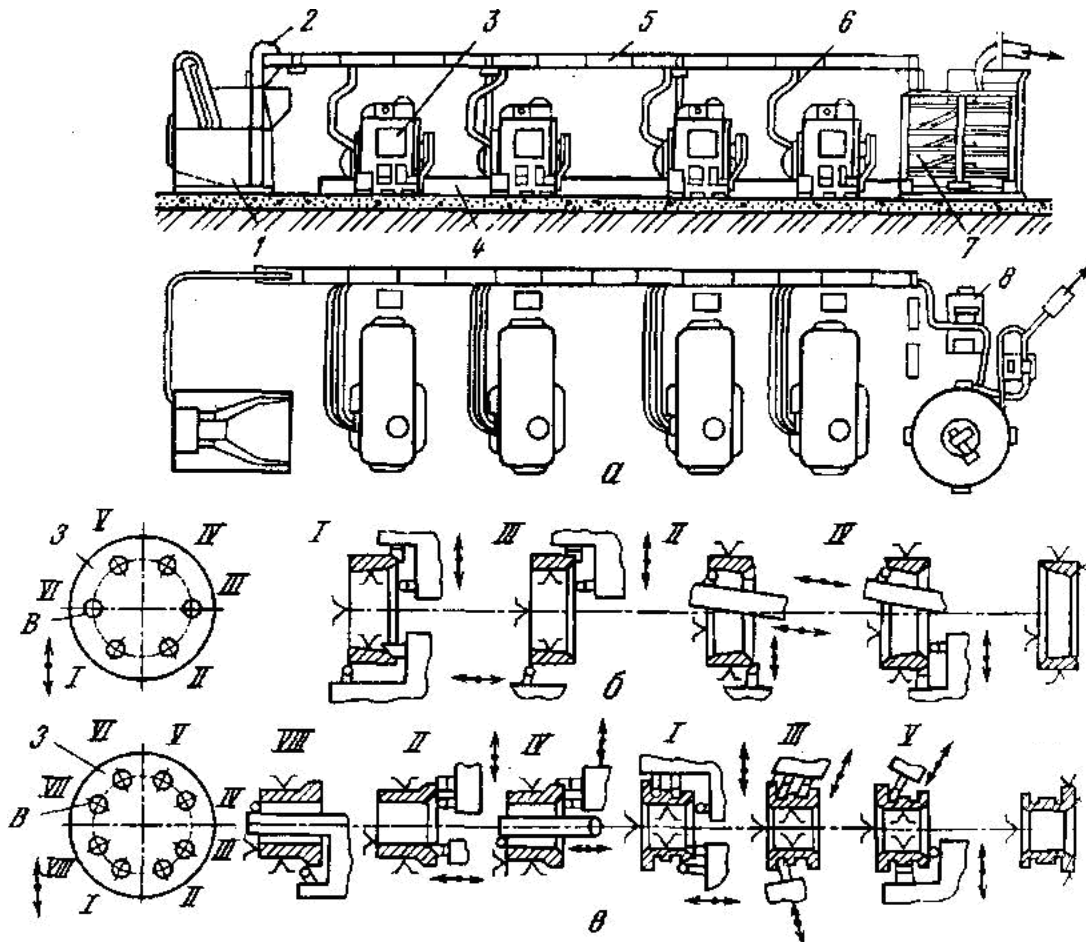


Рисунок 2.8 – Автоматична лінія токарної обробки кілець конічних роликів підшипників: а – загальний вигляд; б – обробка зовнішніх кілець; в – обробка внутрішніх кілець; "З" – завантаження; "В" – вивантаження

## 2.5 Роторні автоматичні лінії

Роторні автоматичні лінії по структурній побудові істотно відрізняються від розглянутих АЛ. Роторні лінії комплектуються (рис. 2.9) з роторних автоматів 1, на яких обробка заготовок виконується в процесі безперервного транспортування їх спільно з ріжучим інструментом. Таким чином, головною особливістю роторних ліній є суміщення в часі транспортування заготовок і їх обробки. Переміщення заготовки до всіх роторних автоматів проводиться транспортними роторами 2.

Траекторія транспортного переміщення заготовки має замкнуту форму (зазвичай це коло). На рис. 2.10 показана розгортка барабана роторного автомата. На інструментальному барабані 2 встановлені інструментальні шпинделі 1 (з кроком  $h$  співвідно з яким на транспортному барабані 3 розташовані оброблювані заготовки 4. Швидкість транспортного 3 та інструментального 2 барабанів однакова.

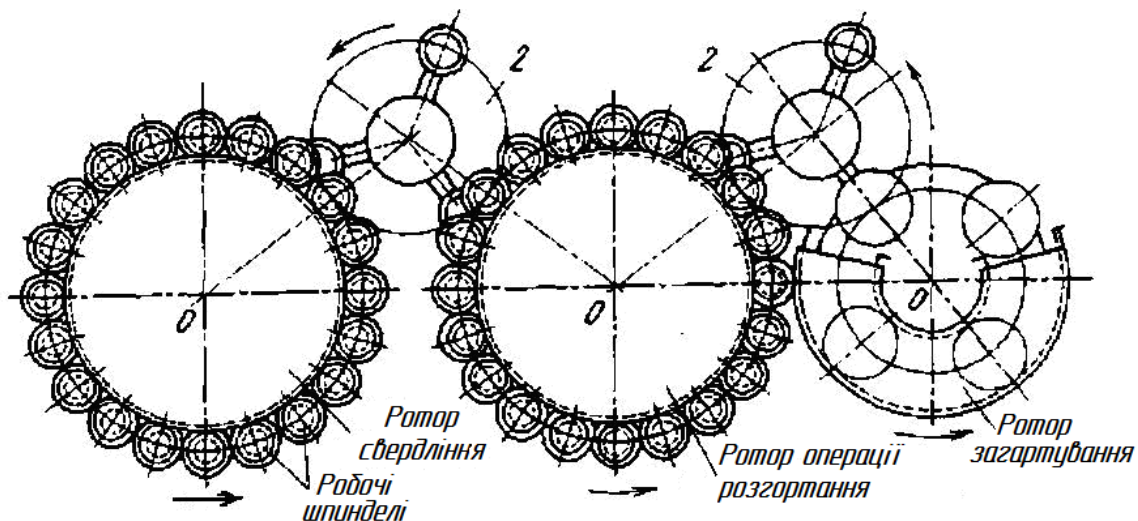


Рисунок 2.9 – Принципова схема роторної лінії

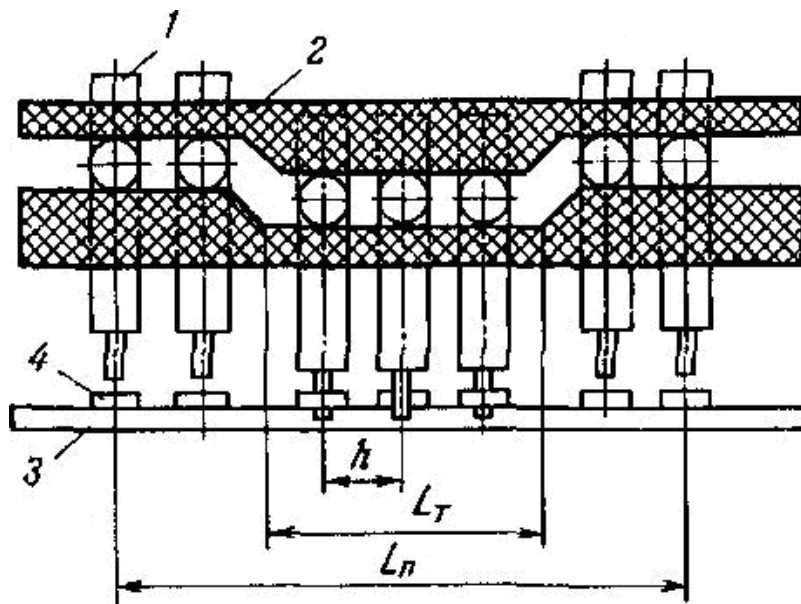


Рисунок 2.10 – Схема роторного автомата (розгортка барабана)

При обертанні диска з транспортною швидкістю  $V_T$  інструментальний шпиндель 1 обробляє заготовку 4 на шляху транспортування  $L_T$ , який менше довжини розгортки  $L_P$  інструментального барабана.

Всі інструментальні шпинделі оснащені однаковими інструментами і виконують тільки одну технологічну операцію. Кожен інструментальний шпиндель відповідає шпинделю виробу.

Технологічний час на обробку одного виробу:

$$T = L_T / V_T.$$

Повний цикл роботи один інструментальний шпиндель 1 робить за час  $T_n = (L_n - h) / V_T$  (тобто за один оберт барабана). Число виробів, що обробляються за один оберт барабана, рівне числу шпинделів, тобто час на обробку одного виробу  $T_l = h / V_T$ . На роторному автоматі шляхом підбору швидкості  $V_T$  переміщення транспортного диска і кроку 1 (відстані між шпинделями) можна отримати задану досить високу продуктивність. У роторних верстатах час на завантаження-вивантаження поєднаний з часом обробки. На рис. 2.11 показана типова одинична група автоматичної роторної лінії для збирання двох деталей.

## 2.6 Переналагоджувані автоматичні лінії

Переналагоджувані АЛ групової обробки призначені для виготовлення двох-десяти, а іноді і більше заздалегідь відомих аналогічних по конструкції, службовому призначенню і технології обробки, близьких за розмірами деталей в умовах багатосерійного і масового виробництва. Ці лінії використовують при необхідності одночасного випуску декількох модифікацій деталей і вузлів або машин. Обробка різних заготовок може вестися як паралельно так і послідовно після здійснення автоматичного або ручного переналагодження. Можливість переналагодження розширюється за рахунок використання спеціальних верстатів з ЧПК.

Відомі такі варіанти компонувань переналагоджуваних АЛ:

- *Переналагоджувані АЛ з гнучким транспортним потоком.* У цьому випадку для кожного типорозміру на лінії передбачають певні робочі позиції, подібні за технологічним процесом і за набором ріжучого інструменту. Кожна деталь має свій транспортний маршрут.

- *Переналагоджувані АЛ з послідовною обробкою заготовок різних типорозмірів.* Основне технологічне та транспортне обладнання, також як і система керування, переналагоджувані. Всі заготовки мають подібний технологічний процес при однаковому числі робочих позицій. Час переналагодження порівняно великий, внаслідок чого обробка ведеться великими партіями.

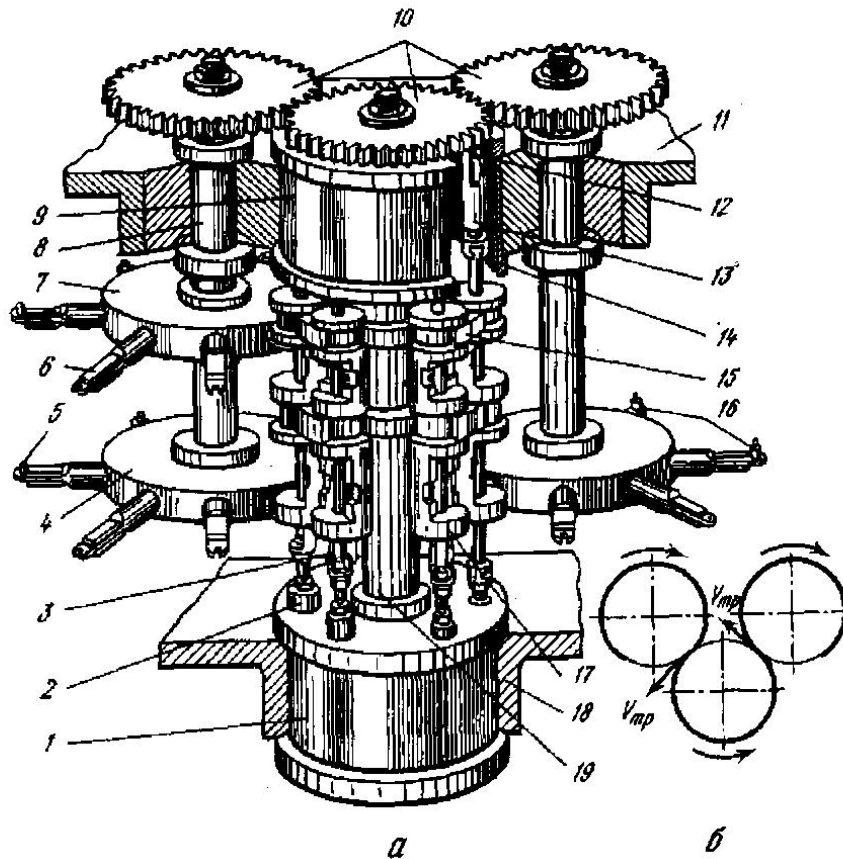


Рисунок 2.11 – Типова одинична група роторної лінії для збирання двох деталей:  
 а – схема, б – проекція руху потоку предмета обробки на горизонтальну площину,  
 1 – блок нижньої системи підведення складального ротора; 2 – повзуни нижнього приводу; 3 – нижній шток інструментального блоку; 4 – нижній диск транспортного (завантажувального) ротора; 5 – елементи, які збираються; 6 – захвати; 7 – верхній диск транспортного (завантажувального) ротора; 8 – вал транспортного ротора; 9 – блок верхньої системи приводу складального ротора; 10 – зубчаста передача транспортного обертання роторів; 11 – верхня частина станини; 12 – торцевий кулачок верхньої системи приводу; 13 – повзун верхньої системи приводу; 14 – пазовий кулачок верхньої системи приводу; 15 – блокотримачі; 16 – зібрані деталі; 17 – інструментальний блок; 18 – нижня частина станини; 19 – основний вал складального ротора

- *Переналагоджувані АЛ з фіксованим транспортним потоком деталей.*  
 У цьому випадку транспортні пристрої для всієї групи оброблюваних заготовок не підлягають переналадці (в основному це лінії з обробкою на пристосуваннях-супутниках). Переналагодження верстатів реалізується швидко, в автоматичному чи напівавтоматичному режимах. Витрати на оснащення також порівняно невеликі, але число типорозмірів в групі оброблюваних заготовок, як правило, не перевищує двох-чотирьох. Переналагоджувані лінії отримали широке поширення для групової обробки блоків циліндрів двигунів внутрішнього згоряння, що відрізняються тільки розмірами, числом циліндрів і кріпильних отворів.

## 3 ГНУЧКІ ВИРОБНИЧІ СИСТЕМИ

Гнучкими виробничими системами (ГВС) називають сукупність металообробного і допоміжного обладнання (транспортного, накопичувального, вантажно-розвантажувального і т.д.), що працює в автоматичному режимі і з єдиною системою керування в умовах багато-виробництва. Основні складові компоненти ГВС наведено на рис. 3.1.

Як правило, обладнання має системи числового програмного керування (ЧПК) з використанням ЕОМ різного рівня. Особливість ГВС полягає в тому, що її обладнання протягом заданого періоду часу має працювати в автоматичному режимі, тобто з обмеженою участю обслуговуючого персоналу (так званий «безлюдний» режим), а переналагодження обладнання на виготовлення нової продукції здійснюється в автоматизованому (з обмеженою участю людини) режимі.

### 3.1 Класифікація і структурні схеми ГВС

Гнучкі виробничі системи можна класифікувати за такими ознаками: організаційними, комплексності виготовлення деталей, виду обробки, різновиди оброблюваних виробів, рівнем автоматизації. За організаційною ознакою ГВС підрозділяють на гнучкі автоматизовані лінії (ГАЛ), гнучкі автоматизовані ділянки (ГАД) і гнучкі автоматизовані цехи (ГАЦ).

1. Відмінність ГАЛ від традиційних автоматичних ліній (див. главу 2) полягає в тому, що на ГАЛ можна обробляти деталі широкої номенклатури. Особливістю компонування ГАЛ є розташування технологічного обладнання (верстатів з ЧПК, гнучких виробничих модулів) у прийнятій послідовності технологічних операцій. У ГАЛ транспортні системи переміщують оброблювані вироби тільки за заздалегідь визначеними маршрутами.

2. Гнучка автоматизована ділянка (ГАД) на відміну від ГАЛ дозволяє змінювати послідовність технологічних операцій. Завдяки цьому досягається максимальне завантаження устаткування. До складу ГАД і ГАЛ можуть входити роботизовані технологічні комплекси (РТК), що включають технологічне обладнання, промисловий робот і додаткові засоби оснащення, наприклад, магазин заготовок та інструментальні магазини.

3. До складу гнучкого автоматизованого цеху (ГАЦ) можуть входити ГАЛ, ГАД, роботизовані технологічні лінії та ділянки, а також окреме технологічне та допоміжне обладнання: ГВМ, окремі верстати з ЧПК та ін

За призначенням ГВС (ГАД) поділяються на операційні, предметні і вузлові, що характеризує комплексність виготовлення виробів.

Операційні ГАД служать для виконання однорідних технологічних операцій, які є частиною комплексного технологічного процесу обробки певної групи виробів (заготівельні ГАД, зварювальні, складальні, механообробні, фарбувальні, ГАД для нанесення покриттів тощо).

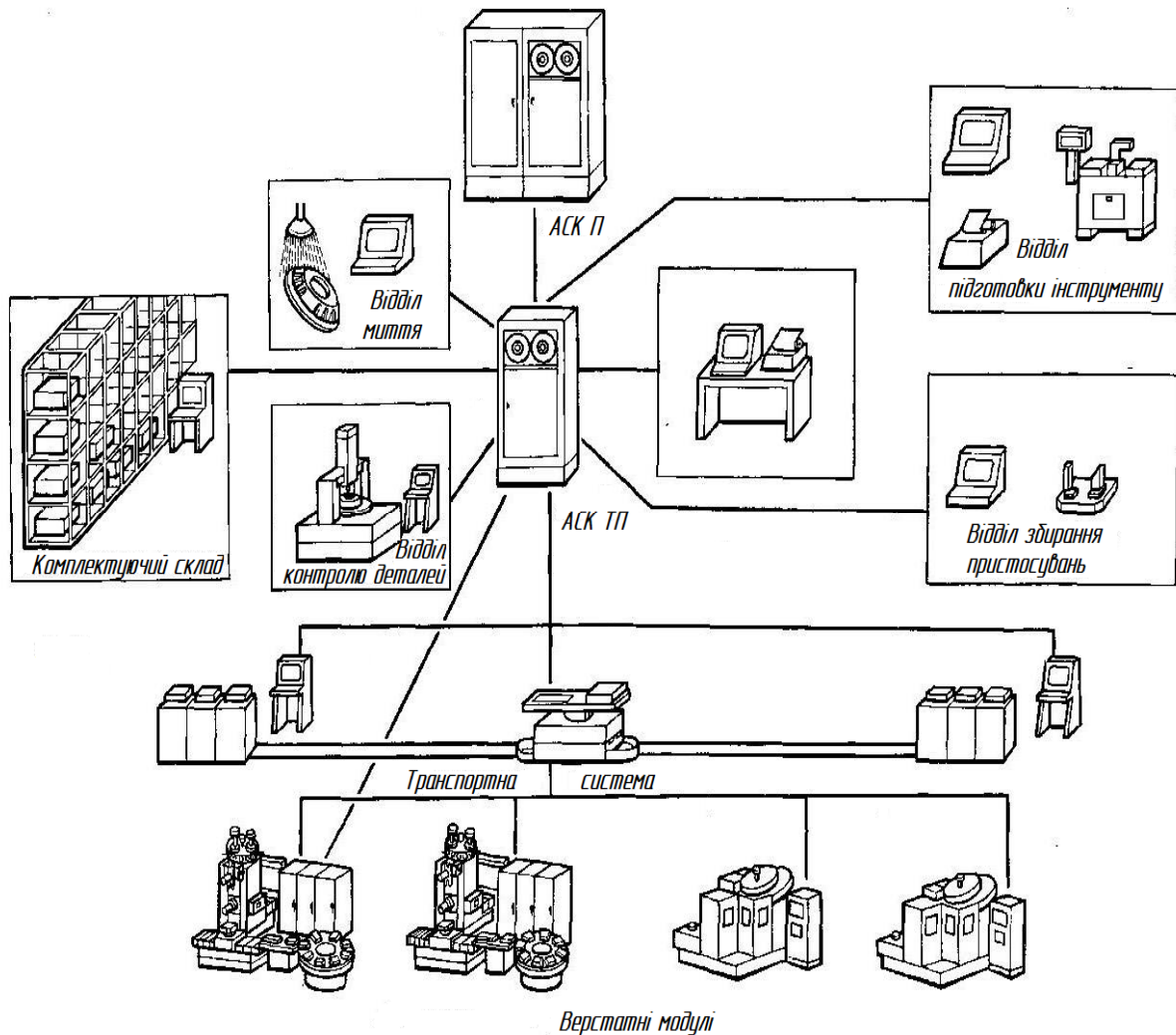


Рисунок 3.1 – Складові компоненти ГВС

Предметні ГАД – системи машин, на яких повністю (комплексно) обробляються (від заготовки до готового виробу) певна група виробів, наприклад, валів, втулок, корпусів, зубчастих коліс.

Вузлові ГАД – системи машин, продуктом виробництва яких є комплекти деталей і вузли певних типорозмірів. Комплекти деталей доповнюються зі складу відсутніми покупними деталями, а потім надходять на складальну ділянку. Операційні ГАД входять до складу предметних, а останні – до вузлових.

### 3.2 Структурно-компоновочні схеми ГВС для механічної обробки

Сучасна ГВС являє собою складну сукупність різного основного і допоміжного технологічного обладнання, транспортно-складської системи, ріжучого, допоміжного та вимірювального інструменту, автоматизованих



систем керування та систем забезпечення функціонування. Для вирішення різних технологічних завдань ГВС може комплектуватися різним обладнанням, наприклад, однотипними взаємозамінними багатоцільовими верстатами з ЧПК, різнотипними спеціалізованими верстатами з ЧПК (фрезерними, розточувальними верстатами, верстатами для зняття задирок і т.п.).

Під структурною схемою ГВС слід розуміти розташування компонентів ГВС що забезпечують найбільш раціональне функціонування всієї системи. При цьому до компонентів ГВС відносять технологічне обладнання, транспортну систему, склади, керуюче обладнання і т.п.

Умовні позначення на рис. 3.2: стрілками, позначеними подвійними лініями, показана автоматизована система керування ГВС; стрілками, позначеними суцільною товстою лінією – автоматизована система транспортування деталей, заготовок та інструментів.

На рис. 3.2 показана структурно-компоновочна схема ГВС, де виділені основні складові її компоненти. Зміна складу і взаємодії компонентів ГВС впливають на структуру.

Структурна схема ГВС визначається типом оброблюваних деталей, технологічним процесом їх виготовлення. Наприклад корпусні деталі обробляються зазвичай у пристосуваннях-супутниках, а тіла обертання ні; тривалість обробки корпусних деталей істотно більше, ніж тіл обертання, тому і різні внутрішньо-дільничні запаси заготовок і пристроїв для їх зберігання; для обробки корпусних деталей потрібна більш широка номенклатура ріжучого інструменту і технологічного оснащення, ніж при обробці тіл обертання і т.д.

Залежно від схеми розташування обладнання в ГВС переміщення заготовок і інших компонентів матеріального потоку може бути організовано по жорсткому маршруту, що характерно для ГАЛ (схеми рис. 3.3, а, б, г) або по змінюваному (гнучкому) маршрутом (у ГАД). При комбінованому потоці на окремих ділянках ГВС маршрут може не змінюватися, а на інших може бути змінений.

Вибір маршруту переміщення заготовки залежить від того, послідовно вона обробляється або з поверненням на склад після виконання операції, що обумовлює прямий або непрямий (через склад) зв'язок устаткування між собою. При прямому зв'язку обладнання деталі за допомогою переміщуючих і подавальних пристроїв транспортуються безпосередньо зі складу до обладнання. Після обробки на одному верстаті деталь подається до іншого, минаючи склад (багатосерійне виробництво).

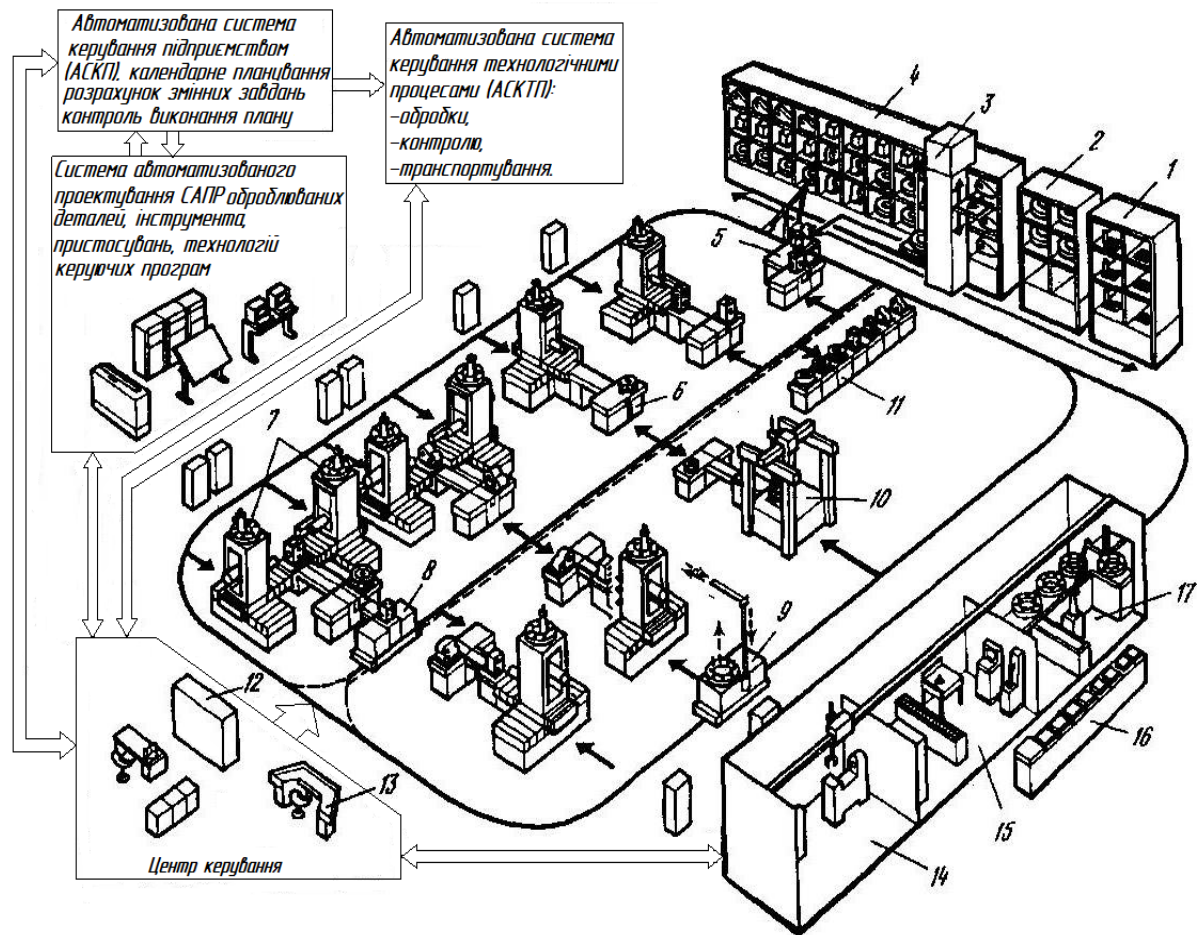


Рисунок 3.2 – Структурно-компонувальна схема ГВС механообробки:  
 1 – пристосування-супутники; 2 – інструментальні магазини; 3 – робот-штабелер; 4 – заготовки і деталі; 5 – монтажний стіл, 6 – накопичувачі з автоматичним завантаженням; 7 – оброблювальне обладнання; 8, 9 – самохідні транспортні візки-робокари; 10 – вимірювальна машина; 11 – пункт оперативного накопичення; 12 – ЕОМ; 13 – пульт оператора; 14 – відділення заточування інструменту; 15 – відділення комплектації і налаштування інструменту; 16 – відділення збирання пристосувань-супутників; 17 – відділення комплектації магазинів

При непряму зв'язку деталі переходять від одного верстата через склад до іншого верстата (при відносно короткій тривалості циклу обробки).

Переваги непрямого зв'язку:

- забезпечується більш повне завантаження технологічного обладнання;
- весь виробничий процес контролюється і управляється від центрального пульта керування.

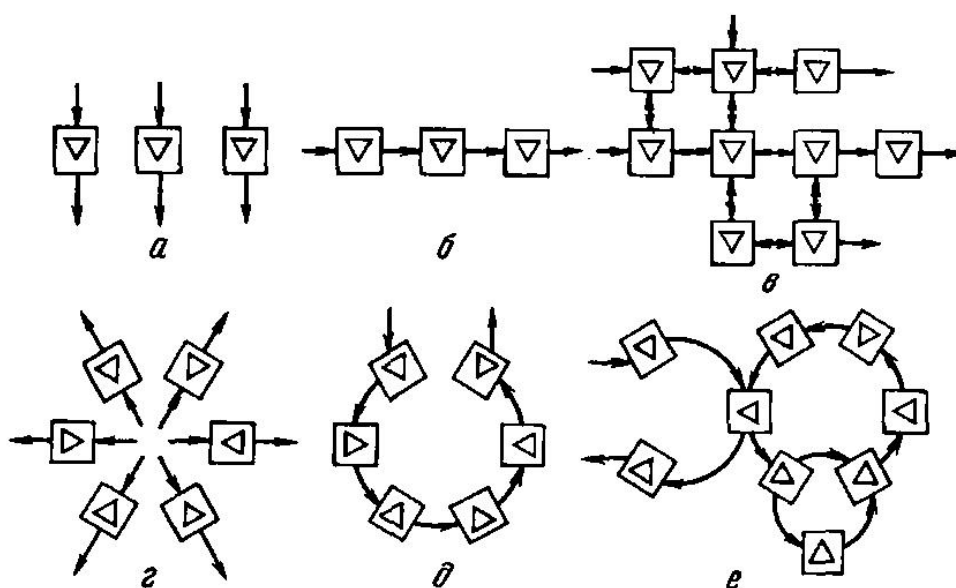


Рисунок 3.3 – Типові компоновальні схеми розташування устаткування ГВС: а – паралельно, б – лінійна однорядна, в – лінійна багаторядна (мережева), г – зіркоподібна, д – кругова, е – роторна.

**Примітки:** а, б, в – розімкнене положення обладнання; г, д, е – замкнуте положення обладнання

### 3.3 Гнучкі виробничі модулі (ГВМ)

ГВМ є основною складовою частиною ГВС.

ГВМ – це одиниця технологічного обладнання, автономно функціонуюча, автоматично здійснює весь цикл роботи пов'язаний з виготовленням виробів і має можливість бути вбудованою в ГВС. Крім обробки деталей ГВМ виконують в автоматичному режимі накопичення заготовок, завантаження заготовок в зону різання, вивантаження оброблених деталей, частковий або повний контроль точності обробки та інші допоміжні операції. В типовий механообробний ГВМ входить багатошпиндельний верстат з ЧПК і робот, керовані від ЕОМ, накопичувач заготовок і оброблених деталей і допоміжні пристрої (пристрої для видалення стружки з базових поверхонь, пристрої для контролю зносу інструменту та ін.)

Неодмінною характеристикою модуля є можливість вбудовування його в ГВС, внаслідок чого він повинен мати стандартні спряжені пристрої, що дозволяють йому зістиковуватися з автоматизованою транспортно-складською системою (АТСС, з центральною керуючою ЕОМ, а також окремими системами ЧПК верстатів, роботів, самохідних візків.

На рис. 3.4 подана структура гнучкого виробничого модуля, до складу якого крім багатоцільового верстата, що здійснює обробку, входять додаткові пристрої для реалізації наступних основних функцій:

- автоматизації переналагодження, здійснюваної в результаті наявності пристрою зміни інструменту і заготовок з накопичувачами значної ємності;
- самодіагностування за допомогою пристрою ЧПК, який повідомляє діагностичну інформацію як від датчиків, розташованих на верстаті, так і всіх компонентів самого керуючого пристрою, і реагує на неї заздалегідь запланованими діями, а також ідентифікує виникаючі аномалії;
- автоматизації контролю над технологічним процесом;
- контролю служби, зношення або пошкодження інструментів, точності обробки, величини навантаження приводів робочих органів та інше.

На рис. 3.5 як приклад показаний модуль для механічної обробки корпусних деталей. Шпиндельна бабка верстата встановлена в порталній стійці. Восьмипозиційний коловий накопичувач 5 столів-супутників забезпечує завантаження модуля оброблюваними заготовками на всю робочу зміну. Наявність столів-супутників контролюється автоматично за допомогою датчиків. Між робочим столом верстата і накопичувачем розміщено двопозиційний поворотний пристрій 6 зміни супутників.

Самостійний вузол 9 (спеціальний барабан, що містить 10 інструментів) представляє пристрій заміни ріжучого інструменту в магазині 8 верстата за заданою програмою, що дозволяє збільшити набір використовуваного інструменту, так як ємність інструментального магазину (30 інструментів, не завжди достатньо для тривалої роботи модуля в складі ГВС). За командою від системи керування пристрій передається з накопичувача на робочий стіл верстата. Потім стіл переміщується, конічний хвостовик барабана вводиться в шпиндель верстата і затискається. Стіл верстата з супутником барабана повертається у вихідне положення, а барабан з інструментом залишається в шпинделі.

Далі шпиндельна бабка з барабаном піднімається до зони дії маніпулятора для зміни інструменту з барабана в магазин верстата і зворотню перестановку непотрібного інструменту. При завершенні заміни інструменту шпиндельна бабка з барабаном опускається, барабан закріплюється у своєму супутнику, звільняється зі шпинделя і повертається в накопичувач.

Контрольно-вимірвальна система містить вимірвальну головку індуктивного типу, перетворювач аналогових сигналів, мікропроцесор і вузол введення коректуючої інформації в систему ЧПК. Вимірвальна головка в неробочому стані розташована в інструментальному магазині. За програмою вона встановлюється автоматично в шпиндель замість інструменту. Контроль розмірів здійснюється знову ж за програмою наявності контакту між щупом вимірвальної головки і відповідними поверхнями деталі. Переміщення деталі при контролі її розмірів, прийом сигналів вимірювання, обробка цих сигналів і видача корегувальних сигналів на приводи здійснюється системою ЧПК.

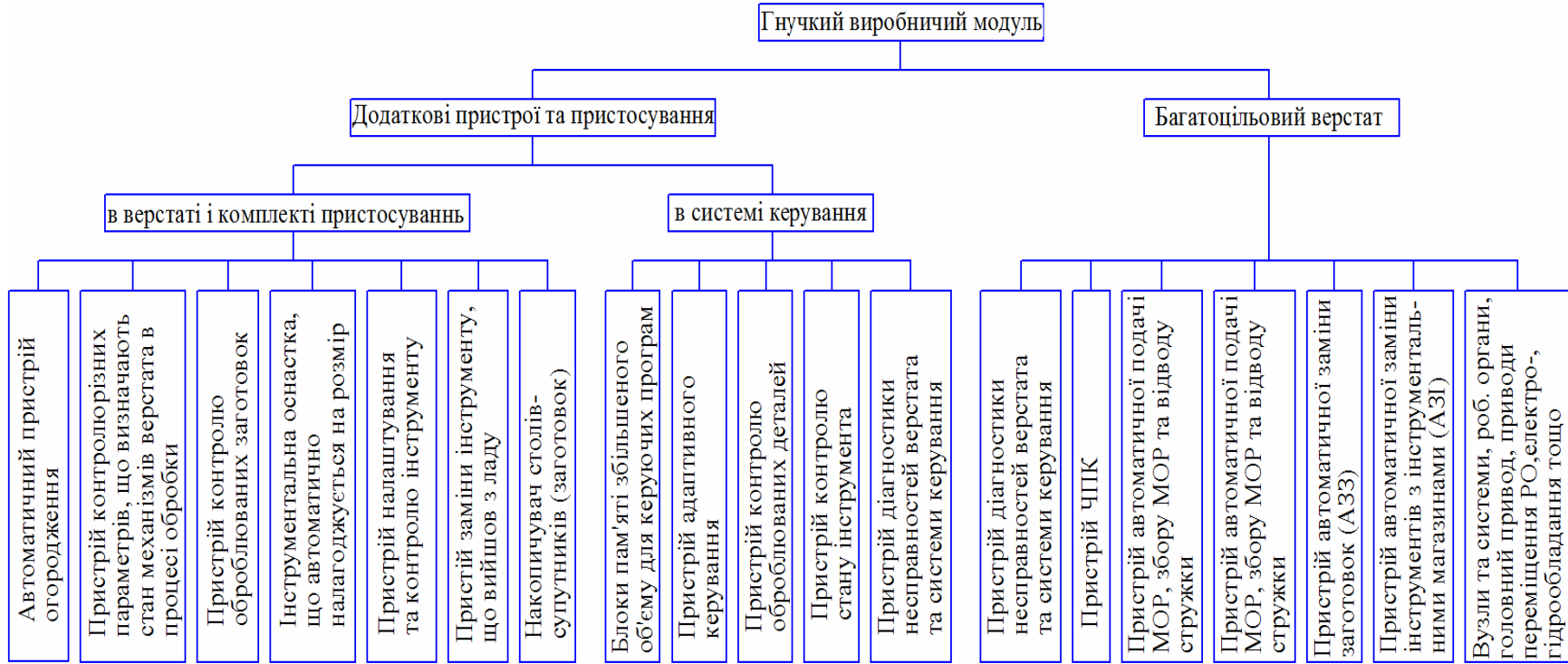


Рисунок 3.4 – Структура гнучкого виробничого модуля

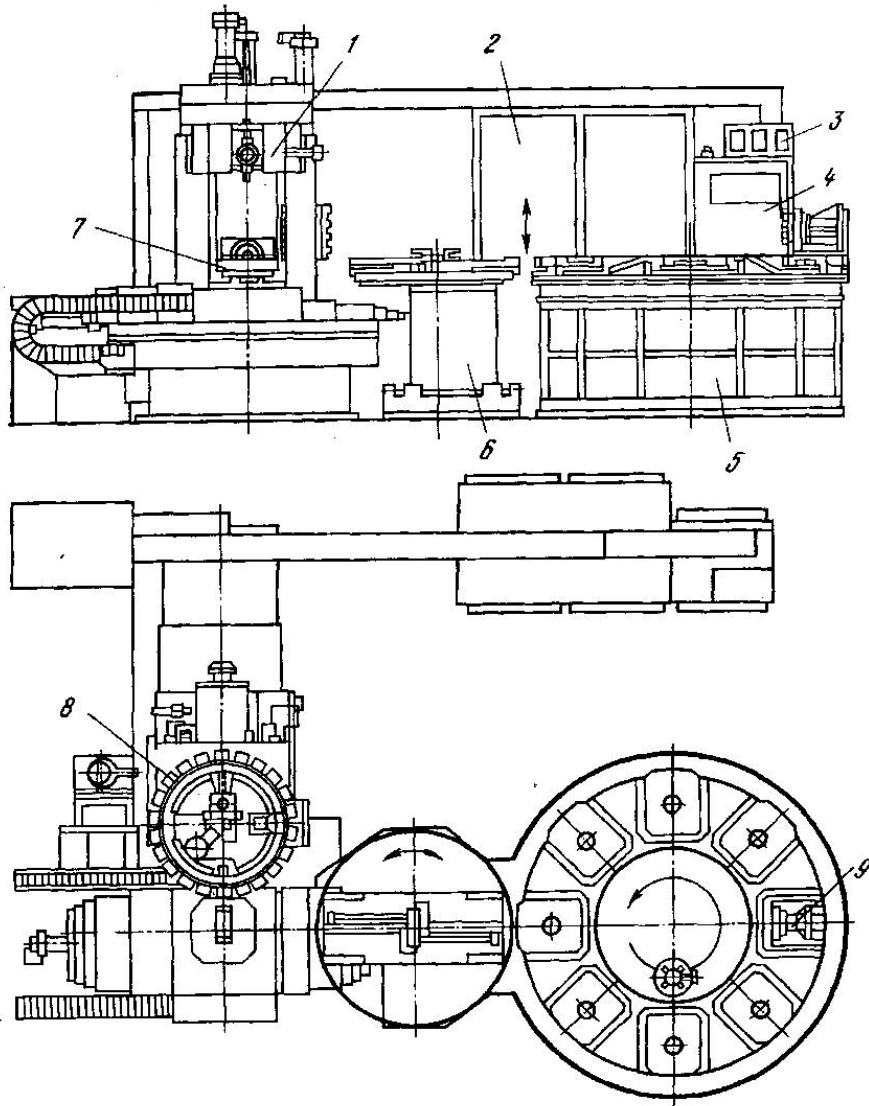


Рисунок 3.5 – ГВМ для механічної обробки корпусних деталей: 1 – свердильно-фрезерно-розточний багатоцільовий верстат з ЧПК; 2 – електроустановка з ЧПК; 3 – контрольно-вимірювальна система; 4 – система ЧПК; 5 – накопичувач столів-супутників з оброблюваними деталями; 6 – пристрій для зміни столів-супутників; 7 – стіл-супутник; 8 – інструментальний магазин; 9 – пристрій заміни інструменту в магазині

### Технічні характеристики ГВМ

Технологічні можливості і технічний рівень ГВМ визначаються: можливістю обробки, продуктивністю, точністю, надійністю, зручністю обслуговування, масою, займаною площею, оснащеністю системами забезпечення при роботі в «малолюдному» режимі і можливістю стикування з транспортними системами та іншими верстатами, що входять до складу ГВС. Більшість показників визначається верстатним обладнанням, використовуваним в ГВМ.

На рис. 3.6 наведені основні типи компоновок верстатів, що входять до ГВМ, призначених для обробки корпусних деталей. Сійка 1 з шпindelною бабкою 2, що переміщується по ній встановлюється або нерухомо (а), або переміщується по станині 3 (б).

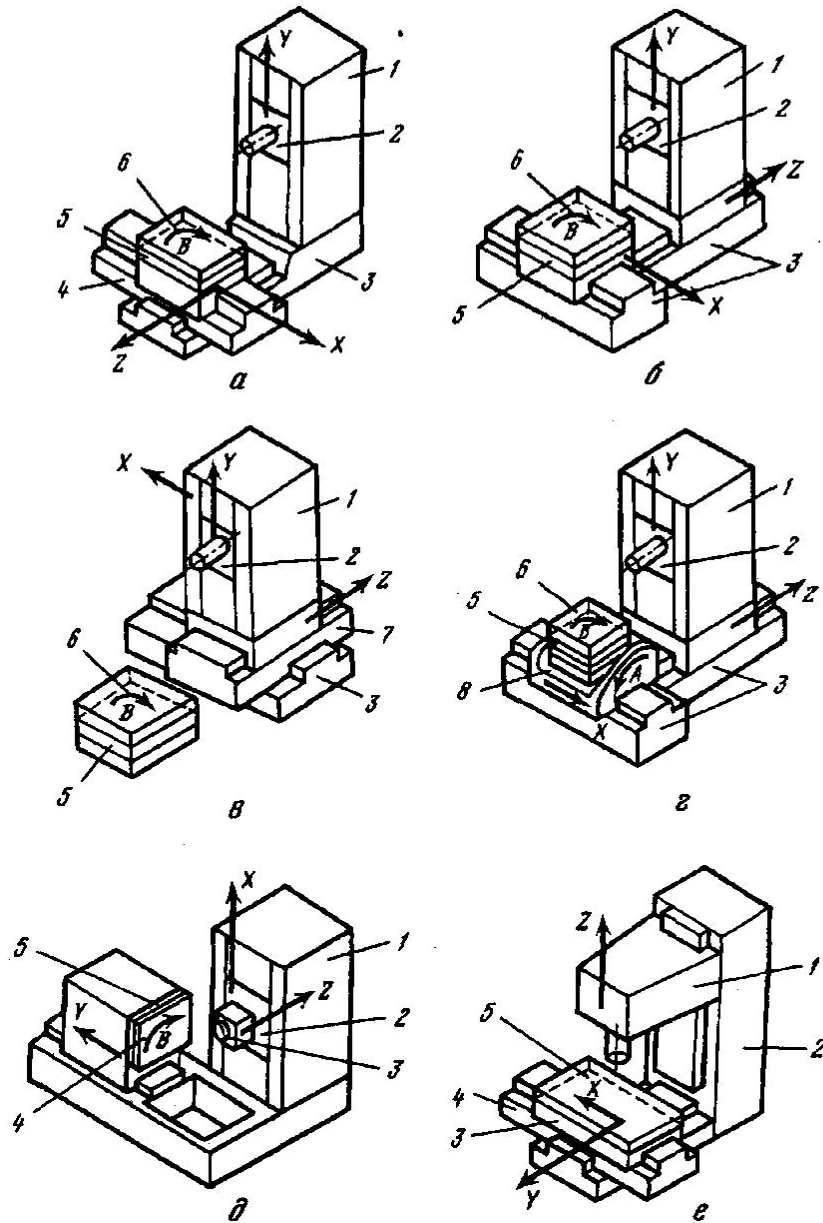


Рисунок 3.6 – Основні компоновки верстатів у ГВМ для обробки корпусних і плоских деталей

На рис. 3.6 наведено горизонтальний ГВМ з нерухомою сійкою і хрестовим поворотним столом (а), з рухомими по одній осі координат поворотним столом і сійкою (б). І нерухомих поворотним і хрестовою сійкою (в), з рухомим по одній лінійній осі поворотно-похилим столом (г),

з поворотним навколо горизонтальної осі координат столом (д); вертикальний ГВМ для обробки плоских деталей з хрестовим столом (е).

Поворотний стіл 5 з супутником 6 може встановлюватися на рухомому (а) або нерухомому (б) основу. Якщо ж стійка 1 за допомогою проміжних направляючих 7 переміщується по двох взаємно перпендикулярних осях, то поворотний стіл 5 виконується нерухомим (в). При поворотно-похилому столі 8 (схема г) на верстаті можуть оброблятися деталі з п'яти сторін і під різними кутами.

При компонованні за схемою д можлива обробка як корпусних деталей, так і деталей типу тіл обертання. У верстаті передбачений висувний шпindel 3 та стіл 5, що переміщається в напрямку, перпендикулярному осі шпинделя. Такий модуль може використовуватися для свердлильно-фрезерно-розточної обробки обертовим інструментом і для токарної обробки заготовок, закріплених на столі-супутнику 4 необертвовим інструментом (встановленим в нерухомому для цього режиму шпинделі 3).

На вертикальному верстаті (схема е) при подовженому столі 5, який переміщується по хрестовому столу 4, зручно обробляти протяжні заготовки довільної форми (часто плоскі).

Основний розмір (ширина столу) верстатів змінюється з коефіцієнтом 1,26; максимальна частота обертання шпинделів досягає  $12000 \text{ хв}^{-1}$  (для шпинделя з конусом 30) і  $7000 \text{ хв}^{-1}$  (конус 40),  $5000 \text{ хв}^{-1}$  (конус 50). Швидкість швидких переміщень робочих органів становить  $10 \dots 15 \text{ м/хв.}$ , час зміни заготовок  $15 \dots 20 \text{ с}$  (середні верстати).

### 3.4 Гнучкі автоматизовані ділянки (ГАД)

Найбільшого поширення набули ГАД, що обробляють окремо корпусні деталі та окремо тіла обертання (операційні і предметні ГВС).

#### ГАД для обробки корпусних деталей

Застосовуються при виготовленні корпусних деталей одного технологічного класу при обмеженою і постійною номенклатурою випуску в зазначених нижче межах:

річний випуск деталей кожного найменування, шт.	50 ... 500
кількість деталей в партії, шт.	10 ... 50
повторюваність запусків партій деталей на рік, раз	4 ... 12
річна номенклатура випуску, число найменувань деталей	20 ... 60

На ГАД виконуються чорнові, напівчистові і чистові фрезерні, розточувальні, свердлильні, різьбонарізні і інші операції з трьох, чотирьох сторін заготовки без її перевстановлення. ГАД створюються як на базі односторонніх взаємозамінних багатоцільових верстатів, так і свердлильних, роз-



точувальних та інших верстатів з ЧПК, що функціонально доповнюють їх технологічні можливості.

На рис. 3.7 наведена схема ГАД «Галка 50», призначеного для комплексної обробки корпусних деталей (з максимальними розмірами  $500 \times 500 \times 500$  мм), що складається з чотирьох ГВМ 5, автоматизованої транспортної системи 6, складу 3, відділень для підготовки пристосувань-супутників (ПС) 2 та інструментальних комплектів 4, центру автоматизованої технологічної підготовки 1, а також керуючого обчислювального комплексу (КОК) 7.

Модуль, що використовується на ділянці, сконструйований на базі багатоцільового верстата мод. IP500МФ4 і оснащений восьмипозиційним лінійним накопичувачем деталей, які встановлені на пристосуваннях-супутниках, і пристроєм їх автоматичної зміни.

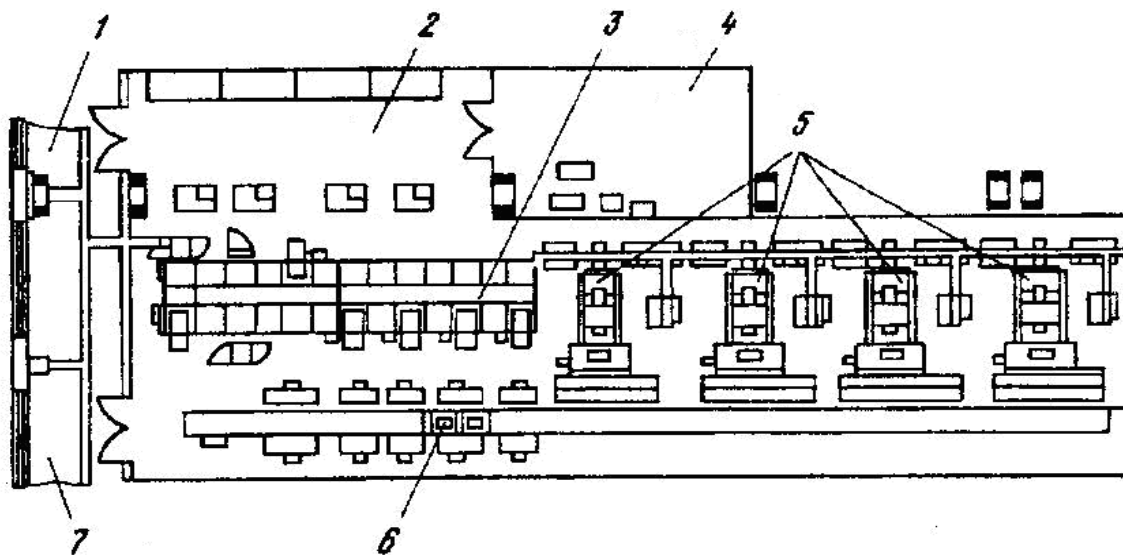


Рисунок 3.7 – Структурно-компоновочна схема ГАД «Галка 50»

*Накопичувач* деталей дозволяє модулю реалізувати умови «безлюдної технології» мінімум протягом однієї зміни.

*Транспортні системи* 6 складаються з візка-маніпулятора і станцій завантаження-розвантаження пристосувань-супутників та комплектів інструментів. Візок-маніпулятор переміщується по рейковому шляху і перевозить заготовки (встановлені на двох ПС) від станції завантаження до багатомісного накопичувача, готові деталі від накопичувача до станції завантаження або розвантаження, комплекти інструментів від станції завантаження до накопичувача, а також використані комплекти інструментів на станцію розвантаження.

*Автоматизований склад* має 182 осередки, які обслуговує кранштабелер.

Відділення підготовки пристосувань-супутників служить для налаштування і збірки пристосувань-супутників за допомогою універсально-

складальних пристосувань. Зібрані робочими супутники направляються в автоматизований склад.

*Керуючий обчислювальний комплекс* забезпечує ефективну організацію та керування в реальному масштабі часу технологічними процесами обробки заготовки, а також видачу інформації про поточний стан технологічних процесів і про роботу ГАД в цілому. ГАД для обробки деталей типу тіл обертання призначені для експлуатації в умовах середньосерійного виробництва.

До складу ГАД входять токарні напівавтомати з ЧПК, і багатоцільові верстати свердлильно-фрезерно-розточної групи. При необхідності ГАД доповнюється шліфувальним, зубооброблювальним та іншим обладнанням, що дозволяє виготовляти на них до 90% всієї номенклатури деталей типу тіл обертання.

### **3.5 Гнучкі автоматичні лінії (ГАЛ)**

ГАЛ на відміну від традиційної автоматичної лінії АЛ може переналагоджувати на обробку нової деталі, а також може перебудовуватися на випуск заздалегідь невідомих деталей, близьких за технологією обробки до деталей, що виготовлялися раніше. За основу вибору структурно-компоновочних схем ГАЛ приймається груповий технологічний процес обробки. Зазвичай ГАЛ використовується для обробки сімейства подібних деталей, наприклад, блоків циліндрів 6-, 8- та 10-рядних та їх модифікацій одного типу двигуна. Технологічний процес будується так, щоб операції, пов'язані з переналагодженням обладнання, виконувалися на певних верстатах або позиціях ГАЛ. У цьому випадку переналагоджуване обладнання оснащується ПЧПК, пристроями автоматичної зміни інструментів і багатопшпіндельних головок та іншими механізмами.

Характерними особливостями ГАЛ в порівнянні з традиційними АЛ є:

1. Більш широке застосування засобів обчислювальної техніки (ПЧПК, програмованих командних апаратів) для керування роботою і переналагодження устаткування.

2. Використання на окремих робочих позиціях револьверних головок зі змінними інструментами або інструментальними блоками (рис. 3.8); змінних шпіндельних коробок для багатоінструментальної обробки, встановлених на поворотних столах; транспортних або інших пристроях.

3. Включення до складу лінії уніфікованих вузлів, оснащених ПЧПК, а також певних ділянок транспортної системи, що мають змінний цикл роботи і т.п.

4. Використання переналагоджуваних механізмів у складі традиційного обладнання (наприклад, шпиндельних коробок з рухомими в осьовому і радіальному напрямках в агрегатних верстатах).

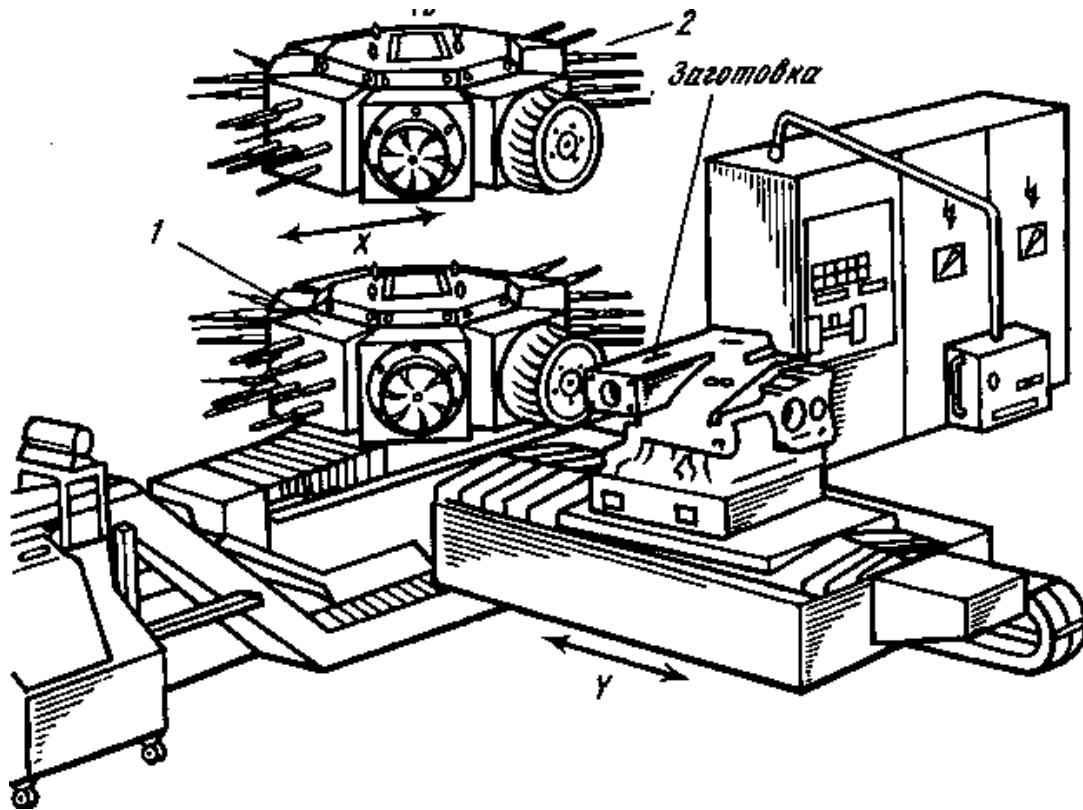


Рисунок 3.8 – Пристрій зміни головок: 1 – багатошпиндельна коробка, 2 – змінні головки

На рис. 3.9 показана схема верстата, що має переналагоджувані силовий стіл 1, з ділильно-поворотним пристроєм. На останньому змонтовані чотири шпиндельні коробки 3, кожна з яких призначена для використання при обробці тільки певної деталі 4. При переналадці лінії досить повернути пристрій 2 і поставити в робоче положення нову шпиндельну коробку, оснащену відповідним комплектом ріжучих інструментів.

Основним високопродуктивним обладнанням, яким оснащують ГАЛ для обробки корпусних деталей, є верстати зі змішаними шпиндельними коробками (рис. 3.10). При цьому можливі два варіанти їх використання:

- 1) заготовка в процесі обробки переміщується між нерухомих верстатами (для багатосерійного виробництва);
- 2) заготовка стаціонарно встановлена на робочій позиції, до якої окремим конвеєром подаються шпиндельні коробки в послідовності, що задана технологічним маршрутом (для середньо серійного виробництва).

На агрегатних верстатах з неавтоматизованою зміною шпиндельних коробок (рис. 3.10, а) взаємозамінні шпиндельні коробки 2 подаються на силовий вузол 1, який здійснює робочу подачу при свердлінні і різьбонарізанні. Зміна їх проводиться один-три рази на місяць.

На верстаті, показаному на рис. 3.10, б, призначеному для свердління, нарізання різьб і розточування, шпиндельні коробки 3 (у кількості не більше 4) встановлюють на ділально-поворотний стіл 1, який змонтований на силовому столі 2. У варіанті за рис. 3.10, в – змінні шпиндельні коробки 3 (до 12 штук) встановлені на поворотному кільцевому столі 4.

У центрі поворотного столу монтується привод 5 головного руху шпиндельних коробок. На силовому столі 1 розташовані робочий 2 і поворотний 6 столи. Деталь, встановлена на робочому столі, може оброблятися з чотирьох сторін.

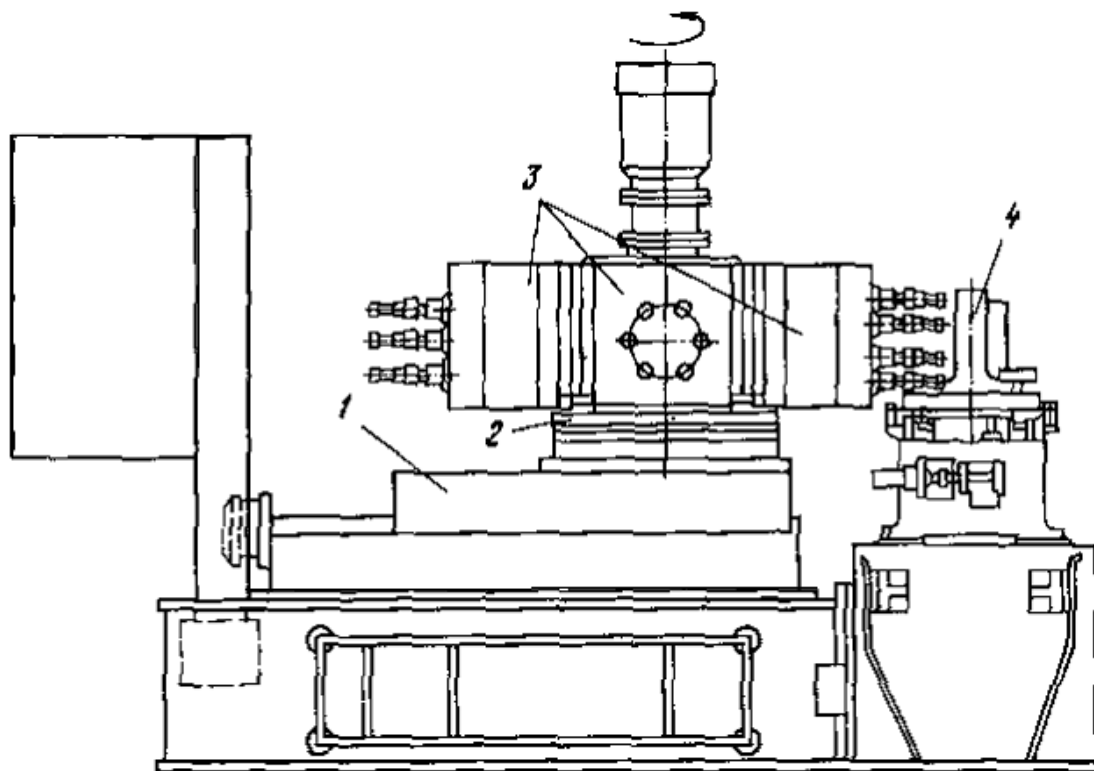


Рисунок 3.9 – Верстат з поворотними шпиндельними коробками:  
1– силовий стіл, 2 –ділально-поворотний пристрій, 3 – шпиндельні коробки, 4 – заготовки, що обробляються

У барабанних верстатах (рис. 3.10, г) змінні шпиндельні коробки 2 розташовуються в магазині 1 (з числом коробок 4 ... 10).

На ГАЛ зі змінними шпindelьними коробками, що транспортуються по базовій площині (рис. 3.10, д), обробляються послідовно деталі декількох найменувань. Заготовки встановлюються на робочому столі 4. Комплекти шпindelьних коробок 1 зберігаються на складі 2. Основна особливість такого рішення – здійснення подачі силовим вузлом 3.

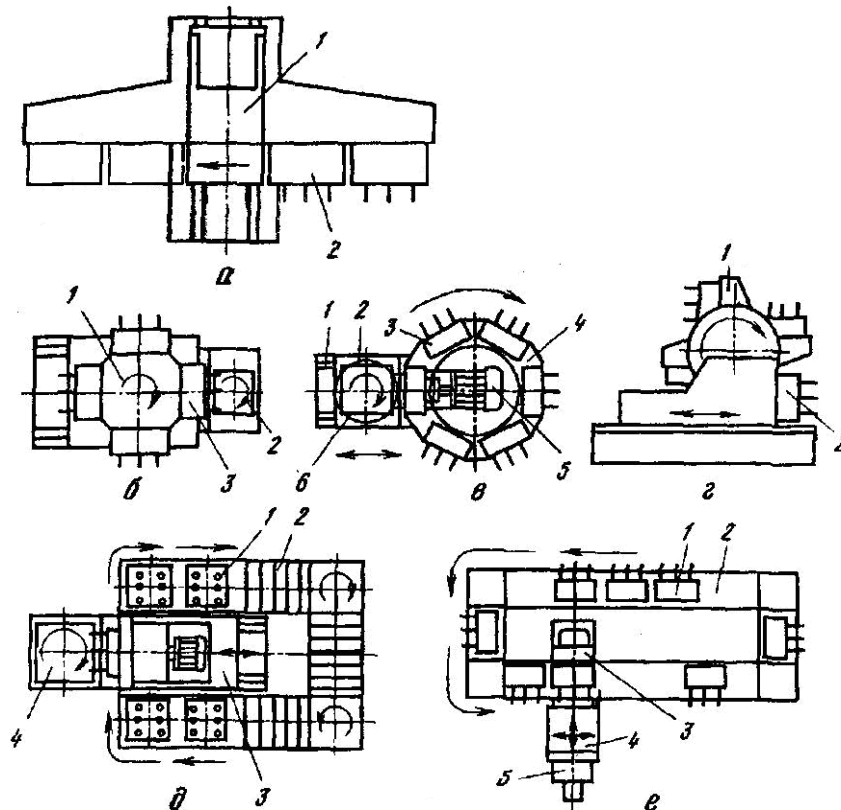


Рисунок 3.10 – Основні параметри агрегатних верстатів зі змінними шпindelьними коробками

У випадку ГАЛ зі змінними шпindelьними коробками, що транспортуються по нижній площині (рис. 3.10, е), рух подачі і установчий рух одержує заготовка, закріплена на хрестовому столі 5. Комплект шпindelьних коробок 1 розташовується на роликівому конвеєрі 2 безперервної дії в порядку технологічного маршруту обробки. На силовому вузлі 3 вхідний вал кожної шпindelьної коробки входить в зачеплення (за допомогою муфти) із стаціонарним приводом головного руху.

### 3.6 Автоматизовані транспортно-складські системи ГВС (АТСС)

Нормальне функціонування ГВС багато в чому визначається наявністю необхідної кількості заготовок, ріжучого і допоміжного інструменту і технологічного оснащення, транспортування та складування яких здійснюється АТСС. До технічних засобів АТСС відносяться: крани-штабелери, стелажі для зберігання вантажів, виробнича тара, пристрої, що забезпечують

перезавантаження деталей, контейнери, транспортні роботи (електророботари), засоби доставки МОР і видалення стружки, промислові роботи.

Транспортна система функціонально пов'язана з основним і допоміжним обладнанням ГВС і забезпечує переміщення заготовок, виробів, оснащення. Вироби можуть переміщатися на супутниках (палетах, касетах тощо) або без них (по лотках, склізам і т.п.). До складу АТСС включаються різні конвеєри, рольганги, лотки, електророботари і т.п. Типова схема компоновки АТСС наведена на рис. 3.11.

При лінійному розташуванні обладнання на базі кранів-штабелерів і підлогового обладнання АТСС працює таким чином: (рис. 3.11, а): заготовки, готові деталі і технологічна оснастка укладаються в тару поза АТСС. Потім тара проходить контрольне пристрій і надходить на завантажувальний ланцюговий конвеєр до крану-штабелеру, який встановлює її у вільну комірку стелажа. Система керування відшукує потрібну комірку стелажа з тарою, кран-штабелер забирає цю тару і встановлює на приймальний пристрій робочого місця біля верстата.

Далі кран штабелер забирає тару з обробленими деталями з приймального пристрою робочого місця і встановлює її або у вільну комірку стелажа, або відправляє за іншою адресою. На технологічне обладнання деталі і тара подаються роботами, маніпуляторами або вручну, якщо обладнання для подачі деталей із тари не входить до складу АТСС.

Робота АТСС багаторядного типу (рис. 3.11, б) відрізняється тим що вантажні одиниці розподіляються по прийомним пристроям електророботарами.

У АТСС кільцевого типу (рис. 3.11, в) міжопераційні накопичення і транспортування вантажних одиниць здійснюються на кільцевому конвеєрі по периферії якого розташовані приймальні пристрої верстатів.

У АТСС багаторядного типу (рис. 19,11, г) вантажні одиниці розподіляються на приймальні пристрої робочих місць верстатів за допомогою підвісного транспорту (підвісний вантажонесучий або штовхаючий конвеєри, монорейкова дорога). Такі системи АТСС характеризуються високою інтенсивністю вантажопотоків і невеликим числом номенклатури заготовок.

У АТСС кільцевого типу (рис. 3.11, д) міжопераційні накопичення вантажних одиниць можуть здійснюватися і в кільцевих підвісних конвеєрних лініях, які, як правило, переміщують штучні вантажі.

Широке поширення в АТСС отримали самохідні транспортні візки (електророботари), які мають різні маршрути і транспортують різні деталі та заготовки.

Складські системи призначені для зберігання біля верстатів або на ділянці необхідної кількості заготовок, інструменту, оснащення, змінних вузлів та інших компонентів матеріального потоку. Зберігання може бути централізованим, коли є загальний склад для всієї ГВС, децентралізованим, коли матеріали зберігаються біля верстатів, і комбінованим, що поєднує особливості того й іншого складування.

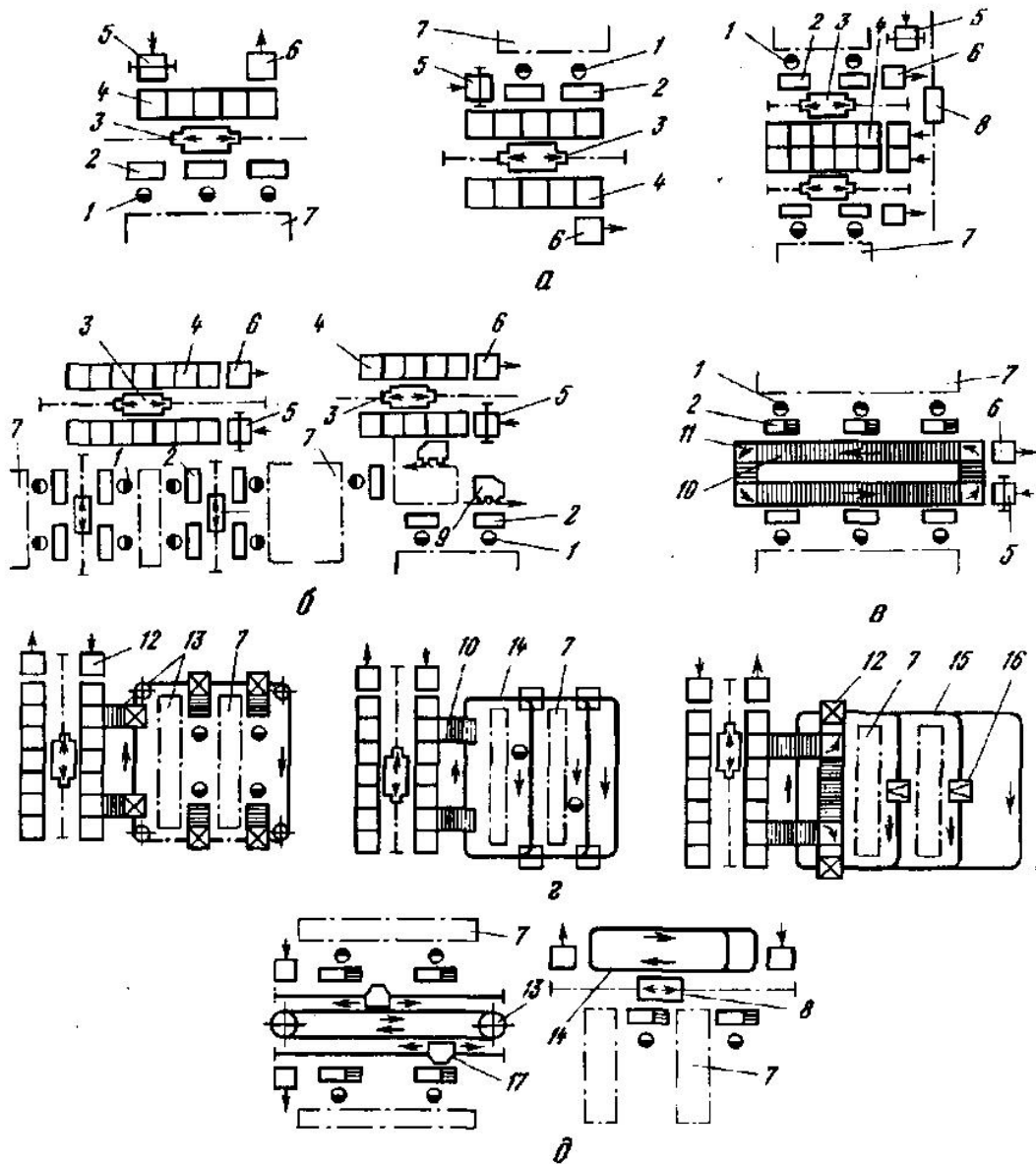


Рисунок 3.11 – Типова схема компонувань автоматизованих транспортно-складських систем: а – лінійного типу, б – багаторядного типу на базі кранів-штабелерів і підлогового обладнання, в – кільцевого типу на базі конвейерного обладнання, г – багаторядного типу на базі підвісного транспорту; д – кільцевого типу на базі підвісного транспорту; 1 – робот (оператор), 2 – приймальний пристрій, 3 – кран-штабелер, 4 – стелаж, 5 – контрольний пристрій, 6 – ділянка розвантаження, 7 – технологічне обладнання, 8 – передавальний візок, 9 – електроробоча, 10 – роликівий конвеєр, 11 – поворотний стіл, 12 – конвеєрний підлоговий маніпулятор, 13 – підвісний вантажонесучі конвеєр, 14 – однорейкових дорога, 15 – підвісний штовхає конвеєр, 16 – опускна секція, 17 – конвеєрний підвісний маніпулятор

### Автоматизація завантажувально-розвантажувальних операцій

Найбільшого поширення в якості засобів автоматизації завантажувально-розвантажувальних операцій отримали промислові роботи (ПР). В механообробних ГВС використовуються порталні і підлогові промислові роботи (рис. 3.12 і 3.13).

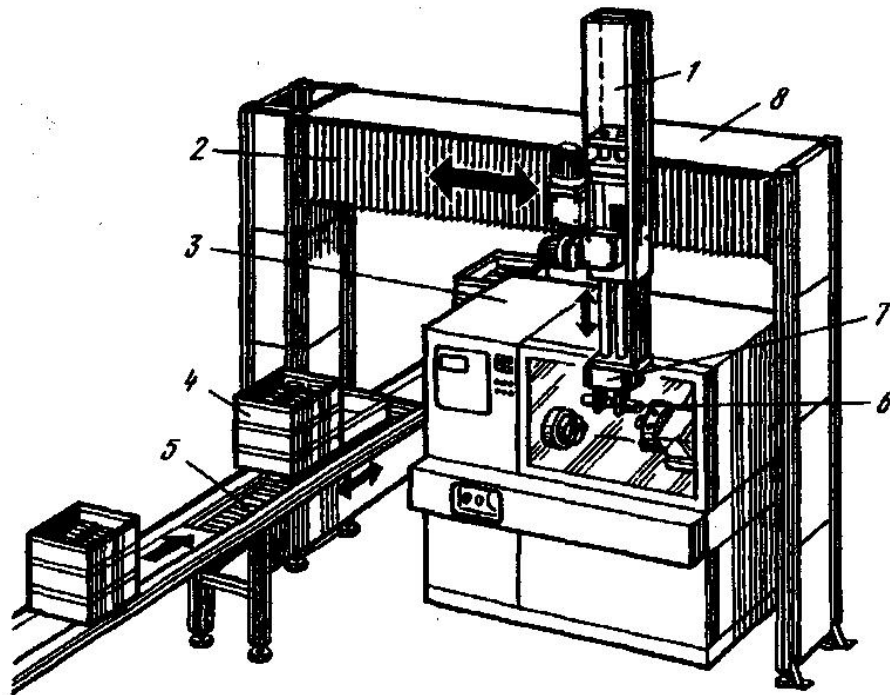


Рисунок 3.12 – Портальний промисловий робот: 1 – робот, 2 – портал, 3 – верстат, 4 – штабель піддонів із заготовками, 5, 6 – захвати, 7 – ротаційний блок захоплення, 8 – уніфікована каретка

Однією із головних умов застосування ПР є розташування виробничого обладнання таким чином, щоб предмети, що переносяться в процесі виконання технологічних операцій були зручно розташовані для обслуговування, а їх місце могло бути при необхідності визначено за допомогою сигналів вимірювальних пристроїв робота.

Промислові роботи можуть забезпечувати заміну пристосувань, ріжучого і вимірювального інструменту та інших засобів технологічного оснащення.

### 3.7 Системи контролю якості продукції

Розрізняють три види автоматичного контролю оброблених деталей: до початку, під час і після обробки.

Контроль першого виду спрямований, насамперед, на створення умов для безперебійної роботи обладнання, так як деталі з підвищеним припуском можуть викликати поломку інструментів.



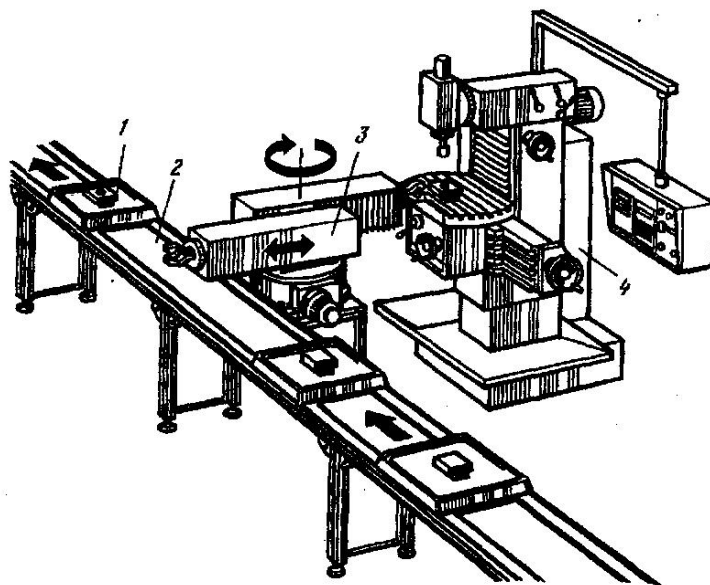


Рисунок 3.13 – Підлоговий ПР: 1 – столи-супутники, 2 – конвеєр, 3 – робот, 4 – верстат

Контроль другого виду (найбільш важливий) проводиться в процесі роботи і призначений для запобігання браку. За даними вимірювання безпосередньо в процесі обробки видаються команди на корегування керуючої програми.

Контроль третього виду передбачений головним чином для гарантії якості виготовленої продукції. Контрольно-вимірювальні операції можуть виконуватися як безпосередньо на верстатах, так і поза ним. На верстатах з ЧПК, що працюють в автономному режимі, початкові розмірні налаштування і поточне підналагодження, спостереження за зносом ріжучих інструментів, своєчасна зміна інструменту і введення розмірного налаштування після такої заміни виконуються оператором. На верстатах, що працюють у складі ГВС, всі ці функції виконуються автоматично комплексом апаратних і програмних засобів, що є елементами системи автоматичного контролю (САК) ГВС. Вимірювальні пристрої виконують прямий контроль деталей, якщо вони визначають їх розміри, і непрямий контроль, якщо вони визначають поломку інструментів та їх знос.

Контрольно-вимірювальні операції поза верстатом проводяться на спеціальних координатно-вимірювальних машинах (КВМ). Вони відрізняються більш високою продуктивністю і точністю вимірювань в порівнянні з контролем, реалізованим безпосередньо на металорізальному верстаті. Результати вимірювань можуть бути передані в цьому випадку і на обробне обладнання з метою його автоматичного підналагодження, а також використані при прийманні готової продукції. На рис. 3.14 показано загальний вигляд КВМ портального типу. Виконавчим органом КВМ є шуپی – вимірювальні головки високої чутливості, які можуть бути механічними, оптичними та електронними. На рис. 3.15 наведена схема вимірювань оброблених виробів (деталей).

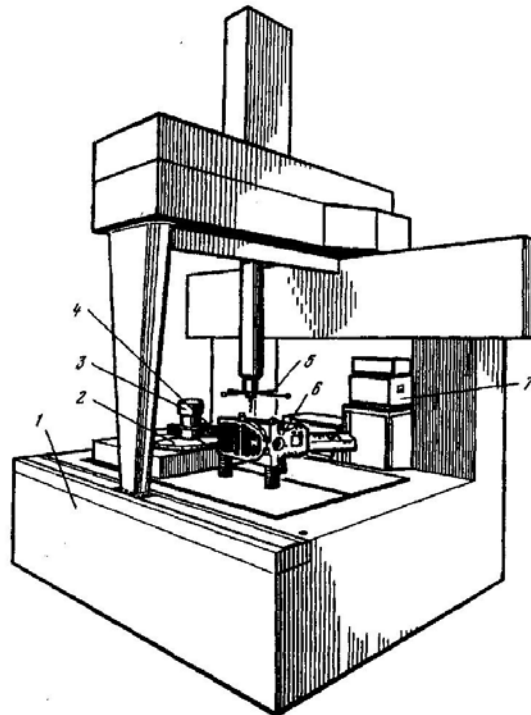


Рисунок 3.14 – Координатно-вимірювальна машина: 1 – корпус, 2 – поворотний стіл, 3 – притискний пристрій, 4 – деталь, яка очікує вимір, 5 – інструментальні щупи, 6 – вимірювана деталь, 7 – система керування

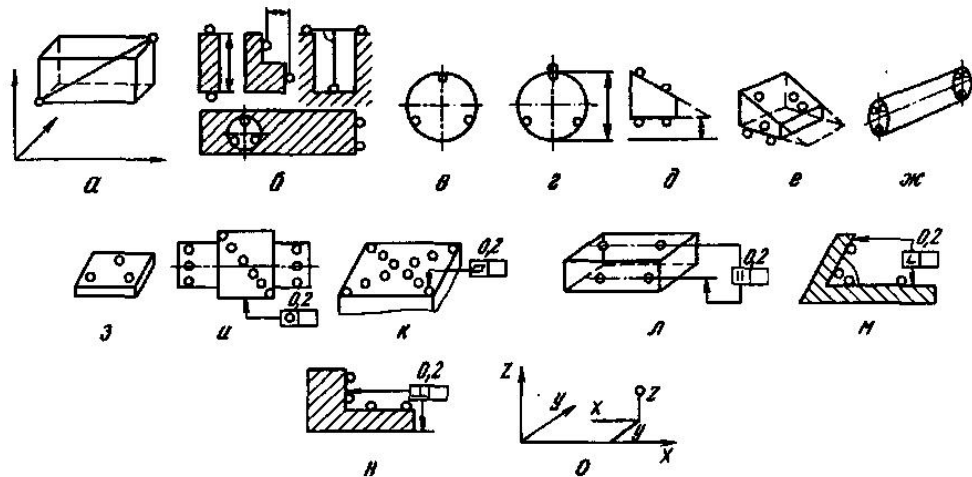


Рисунок 3.15 – Визначення місця розташування і кількості точок контакту щупа з вимірюваною поверхнею : а – в координатному напрямку, б – довжина, в – в центрі кола, г – діаметр кола, д – точки перетину, е – пряма перетину, ж – прямої, з – площини, і – круглості, к – площинності, л – паралельності, м – кута, н – перпендикулярності, о – точки простору

### Системи діагностики технічного стану обладнання у ГВС

Для виконання діагностування в автоматичному режимі в даний час розроблені різні алгоритми, основним завданням яких є перевірка відповідності керуючих команд заданим значенням. Як робочі ознаки для таких алгоритмів можуть використовуватися нормовані силові навантаження, амплітуди автоколиваний, тепловий стан елементів верстата.

## 4 ТРАНСПОРТНО-ЗАВАНТАЖУВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

### 4.1 Бункерні завантажувально-орієнтувальні пристрої

Бункерні завантажувально-орієнтувальні пристрої складаються з групи механізмів, призначених для прийому заготовок навалом і видачі їх в робочу зону верстата орієнтованими в просторі і в часі: передбункера, бункера, пристрою автоматичного орієнтування, магазину, відсікача, подавача (живильника). Бункерні завантажувально-орієнтувальні пристрої, відносяться до категорії транспортних пристроїв, що не вбудовуються у верстат.

До транспортних пристроїв, що вбудовуються в верстат, відносяться механізми: заштовхувача, затискувача, виштовхувача, знімання.

Передбункер призначений для створення необхідного запасу заготовок, що забезпечують необхідний час безперервної роботи верстата, і створення сприятливих умов для роботи бункера.

Бункер приймає заготовки навалом та видає їх орієнтованими в просторі (первинна орієнтація).

Лотік слугує для транспортування заготовок між функціональними механізмами бункерного завантажувально-орієнтувального пристрою. Лотік може виконувати функції магазину та пристрою вторинної орієнтації.

Пристрій автоматичного орієнтування здійснює вторинне орієнтування заготовок складної конфігурації.

Магазин приймає, накопичує і зберігає остаточно орієнтовані заготовки. Він компенсує нерівномірну продуктивність бункера.

Відсікач та подавач працюють синхронно з робочими органами верстата, подаючи заготовку в робочу зону в визначені періоди робочою циклу. Вони орієнтують заготовку в часі.

Залежно від способу видачі заготовок, що знаходиться у бункері, розрізняють: поштучну видачу заготовок, видачу заготовок порціями, безперервну видачу заготовок.

Бункери з поштучною видачею заготовок: кишенькові та гачкові. Продуктивність цього типу бункерів визначається за формулою

$$Q = K \cdot z \cdot n, \quad (4.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт заповнення захватних органів;

$z$  – число захватних органів (кишень, гачків), що беруть участь в одному циклі роботи;

$n$  – число циклів роботи (обертів, подвійних ходів) за хвилину.

Бункери з видачею заготовок порціями: секторні, шиберні, дискові, щілинні, лопатеві, елеваторного типу. Продуктивність бункерів такого типу визначається за формулою

$$Q = K \cdot z \cdot m \cdot n, \quad (4.2)$$

де  $K$  – коефіцієнт заповнення захватних органів;  
 $z$  – число захватних органів (секторів, шиберів, пазів в диску, лопатей), що беруть участь в одному циклі роботи;  
 $m$  – число заготовок, що може буш захоплене одним захватним органом;  
 $n$  – число робочих циклів (обертів, подвійних ходів) за хвилину.

Бункери з безперервною видачею заготовок: трубчасті, фрикційні, вібраційні. Продуктивність бункерів цього типу визначається за формулою

$$Q = K \cdot v / l, \quad (4.3)$$

де  $K$  – коефіцієнт западання для трубчастих бункерів (або коефіцієнт, що враховує проковзування, затори і т. ін., для фрикційних і вібраційних бункерів);  
 $v$  – середня швидкість руху заготовок, м/хв;  
 $l$  – розмір заготовок в напрямку руху, м.

Вираз (4.3) може бути використаний безпосередньо для практичних розрахунків продуктивності бункерів, в яких швидкість руху заготовок постійна

В трубчастих і вібраційних бункерних пристроях визначення теоретичної продуктивності ускладнене через змінну швидкість руху заготовок.

#### 4.1.1 Бункери з поштучною видачею заготовок

**Кишенькові бункери.** Форма бункера залежить від типу захватного органа, кута тертя заготовок по бункеру, кута нахилу внутрішніх стінок бункера і способу орієнтування заготовок в бункері. Захватний орган кишенькового бункера являє собою диск з профільними вирізами. Кожух бункера виконується у вигляді усіченого цийївдра 5 (рис. 4.1, а), в донній частині 3 якого розміщений диск б з кишнями 4. Робоче положення бункера нахилене. Диск б, обертається від приводу 1 за допомогою черв'ячної передачі 2. При цьому він захоплює знизу своїми кишнями заготовки, переміщує їх нагору, де вони випадають через отвір 9 у дні в приймальний лоток 8. При переповненні лотка 8 автоматично спрацьовує запобіжний механізм 7.

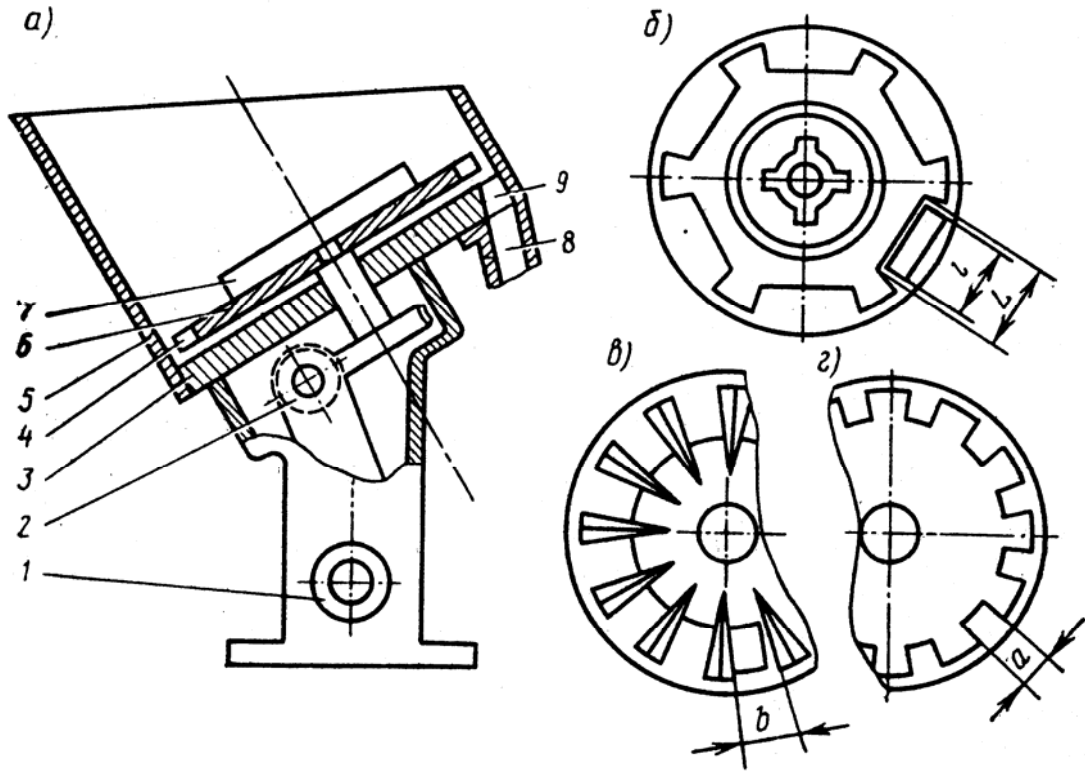


Рисунок 4.1 – Схема кишенькового бункера

Розташування кишней на диску безпосередньо впливає на продуктивність бункера, бо від цього залежить коефіцієнт заповнення і допустима швидкість обертання диска.

На орієнтування заготовок всередині бункера впливають: відношення довжини деталі 1 до її діаметру  $d$  ( $l/d$ ); розташування центру ваги; кількість заготовок, що знаходяться в бункері; форма данної частини бункера. Для заготовок, у яких  $l/d > 1$ , орієнтування всередині бункера буде виконуватись по хорді диска (рис. 4.1, б). Тому кишні диска повинні розташуватись по хорді. Розміри такої кишні рекомендується визначати з виразу

$$l < L < l + d \quad (4.5)$$

При розташуванні по хорді кількість кишней невелика, що знижує продуктивність бункера. При цьому ж розмірі диска кількість кишней можна збільшити, розташовуючи їх радіально (рис. 4.1, в). Однак в цьому випадку різко знижується коефіцієнт заповнення кишней. Його можна збільшити, зробивши на диску радіальні виступи, що сприяють западанню заготовок в кишню. Розмір кишні при її радіальному розташуванні на диску визначається за формулою

$$b = (1.4 \dots 1.6) \cdot d. \quad (4.6)$$

Для заготовок у яких  $l/d < 1$ , наприклад, шайб, кишені розташовуються по торцю заготовки (рис. 4.1, г) і їхній розмір в мм знаходиться за формулою

$$a = 1.7d - (1...2) \quad (4.7)$$

Швидкість диска з кишнями повинна забезпечити можливість випадання заготовки у відповідний лотік за час її проходження над лотком і визначається за формулою

$$v = \Delta t \cdot \sqrt{g \frac{\sin \alpha}{\Delta h}},$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  
 $\Delta h = 0,2...0,5$  мм – глибина опускання заготовки у вирізі вікна, при якому вона вважається захопленою;

$\Delta t \leq 0,5d$  – зазор по кроку, мм;  
 $d$  – діаметр заготовок, мм;  
 $\alpha$  – кут нахилу диска, град.

Об'єм бункера визначається запасом заготовок, необхідним для забезпечення його безперервної роботи протягом заданого проміжку часу і обчислюється за формулою

$$V_{\sigma} = \frac{V_3 \cdot T}{t \cdot K_v},$$

де  $V_3$  – об'єм однієї заготовки, м<sup>3</sup>;  
 $T$  – період часу безперервної роботи бункера при одній його заправці, хв.;  
 $t$  – штучний час на обробку заготовок, хв;  
 $K_v$  – коефіцієнт об'ємного заповнення.

Мінімальний період безперервної роботи бункера при одній заправці складає 8...10 хвилин.

Коефіцієнт об'ємного заповнення залежить від форми заготовок і відношення  $l/d$ . Для циліндричних і конічних заготовок, деталей простої форми тину шайб, кульок і т. п. коефіцієнт  $K_v = 0,5...0,65$ . Нижня межа ( $K_v = 0,5$ ) береться для заготовок  $l \gg d$ , верхня ( $K_v = 0,65$ ) для заготовок  $l < d$ .

**Гачкові бункери.** Застосовуються для завантаження заготовок із внутрішніми отвором (втулки, ковпачки, шайби). Основний тип бункера з гачками на периферії зображений на рис. 4.2, а. Заготовки, засипані в передбункер 8, через вікно, регульоване заслінкою 7, надходять в бункер 3, де їх в нижньому положенні захоплюють гачки 4, що сидять на диску 5 який обертається, і переносять в приймач 2, а з нього в трубчастий лотік 1. Приймач виконаний в вигляді трубчастого лотка з розрізом. При переповненні трубки подача заготовок в приймач автоматично припиняється за допомогою запобіжного механізму 6. Окружну швидкість диска з гачками рекомендується приймати в межах 0,2...0,5 м/с. При цьому для дрібних деталей швидкість вибирається більша, ніж для великих.

Кількість гачків залежить від кроку розташування гачків, та визначається за формулою (рис. 4.2, б)

$$t = \Delta t + l + l_k + \delta_c, \quad (4.9)$$

де  $\Delta t$  – зазор по кроку, мм;

$l$  – довжина заготовок, мм;

$l_k$  – довжина (рис. 4.2, б) загнутого кінця гачка, мм;

$\delta_c$  – товщина стрижня гачка, мм.

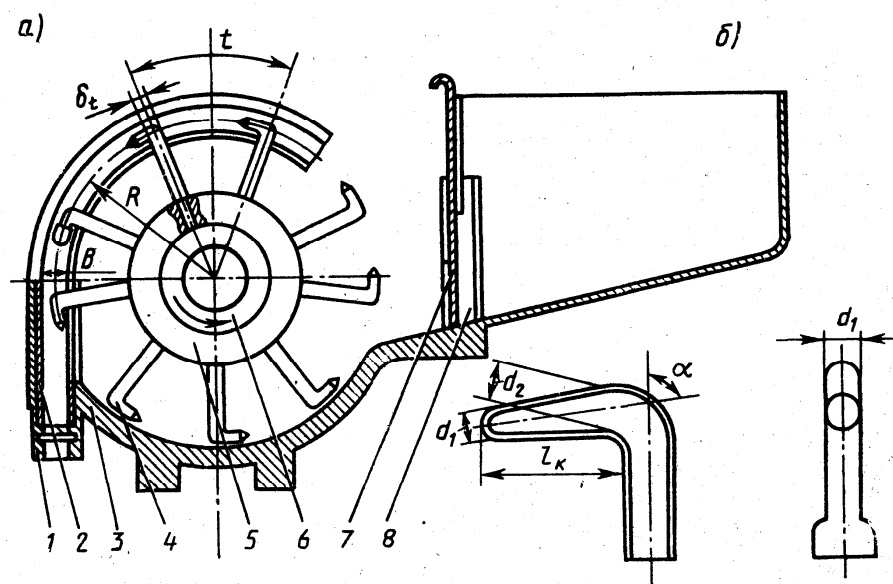


Рисунок 4.2 – Схема гачкового бункера

Крок  $t$  вибирається так, щоб уникнути заклинювання заготовок між гачками (по довжині кроку повинно вкладатися не ціле число деталей по довжині). Кількість гачків, як правило, 9...12. Зазор по кроку  $\Delta t$  необхідний для переміщення заготовок між гачками в зоні захоплення за час повороту диска на один крок і залежить від колової швидкості. Чим більше колова швидкість, тим більше має бути зазор по кроку.

Радіус  $R$  розташування гачків по вісі відігнутої частини гачка вибирають за формулою

$$R = (5 \dots 10) \cdot l \quad (4.10)$$

Розміри гачка визначають за формулами (див.рис. 4.2, б)

$$l_k = (1,2 \dots 1,3) \cdot l \quad (4.11)$$

$$d_2 = (0,45 \dots 0,6) \cdot d_b \quad (4.12)$$

де  $d_b$  – внутрішній діаметр заготовок, мм.

Відігнуту частину гачка необхідно заточувати на конус, при куті відігну  $\alpha = 80 \dots 85^\circ$

Для подачі циліндричних ковпачків з  $l > d$  застосовується бункер з розташуванням гачків або штирів на внутрішній поверхні кільця 4, що обертається (рис. 4.3). Заготовки захоплюються і орієнтуються штирями 3 в нижній частині бункера, після цього переміщуються догори, де скочуються в приймальний лотік. Для запобігання зіскакування заготовок зі штирів у прммміму положенні ііони підтримуються планкою 2.

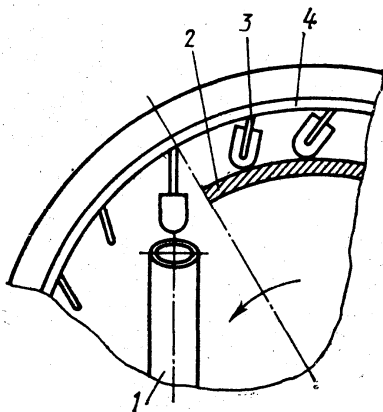


Рисунок 4.3 – Схема гачкового бункера із внутрішнім розташуванням штирів

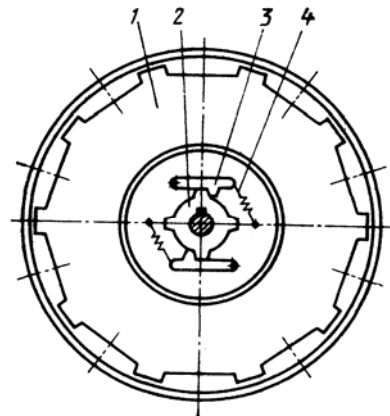


Рисунок 4.4 – Запобіжний пристрій

Запобіжні пристрої застосовуються в бункерах для забезпечення безаварійної роботи. На рис. 4.4 зображений запобіжний пристрій, що зірочки 2, що сидить на приводному валу, і двох важелів 3. Важелі сидять на вісях, що закріплені на диску 1, і пружинами 4 притискаються до зірочки.

#### 4.1.2 Бункери з пропорційною видачею заготовок

**Секторні і шиберні бункери.** Застосовуються для завантаження іш отоіок гину гвинтів, болтів, заклепок, шайб, гайок. Секторний бункер складається з кожуха 2, в якому засипані заготовки, сектора 4, скидувача 3



і привода 5 (рис. 4.5, а). В нижньому положенні в щілину сектора западають заготовки. При підйомі сектора, в верхньому його положенні, заготовки під дією сили тяжіння скочуються по щілині сектора в відповідний лоток 1. Скидач 3 в вигляді гребня затримує невірно орієнтовані заготовки.

Секторний бункер, як правило, виконується з передбункером для зменшення навантаження на сектор і забезпечення нормальної роботи привода. Головні розрахункові параметри секторного бункера, продуктивність, габарити бункера і передбункера, радіус сектора 4 та довжина відповідного лотка 1, число  $p$  подвійних ходів сектора в хвилину. Продуктивність секторного бункера  $Q$  визначають за формулою (4.4.), її максимальне значення  $Q_{max} = 60 \dots 200$  шт/хв.

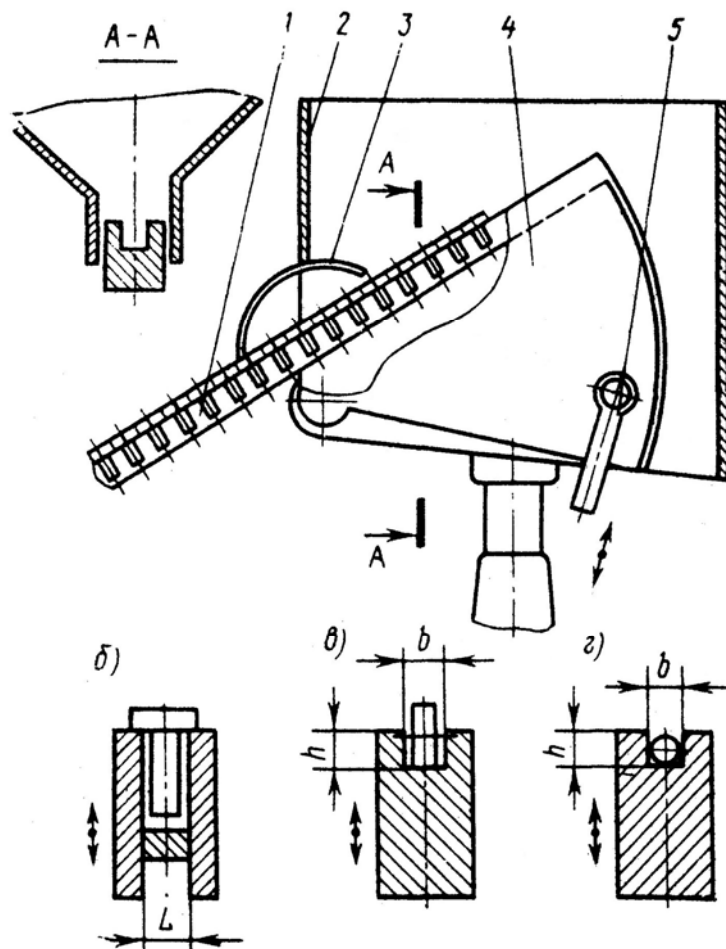


Рисунок 4.5 – Секторний бункер

Коефіцієнт заповнення сектора приймається рівним: для заготовок типу болтів, вісей з відношенням  $l \gg d - K = 0,4 \dots 0,8$ , для плоских заготовок з відношенням  $l/b = 1 \dots 3$  ( $b$  – ширина заготовки) –  $K = 0,3..0,4$ , а для  $l/b = 3..5 - K = 0,2 \dots 0,3$ .

Число секторів  $z$ , що бере участь в одному циклі роботи, найчастіше дорівнює одиниці.

Розрахункове число подвійних ходів за хвилину

$$n_p = \frac{Q \cdot l(d)}{K \cdot l_0},$$

де  $l(d)$  – розмір заготовок в напрямку руху, мм;

$l_0$  – довжина відповідно лотка, яку приймають рівною  $l_0 = (8 \dots 15) \cdot l(d)$  мм.

На практиці  $l_0$  приймається в межах 200...800 мм. Число подвійних ходів сектора за хвилину найчастіше 40...80. При цьому максимальна швидкість сектора  $v_{\max} = 0,6 \dots 1,2$  м/с.

Максимально допустима ширина щілини визначається виразом

$$H_{щ, \max} = \sqrt{\frac{[l(h) + d]^2}{1 + f^2}} \cdot n_1,$$

де  $l(h)$  – довжина циліндричної заготовки або товщина плоскої, мм;

$f$  – коефіцієнт тертя, рівний  $\operatorname{tg}(\rho)$  ( $\rho$  – кут тертя);

$n_1$  – коефіцієнт надійності, що приймається рівним 0,9...0,95.

Профіль перерізу сектора залежить від форми заготовок. Якщо заготовки мають форму стрижня з головкою, то сектор виконують з трьох планок (рис. 4.5, б). Відстань між планками  $L = (1,05 \dots 1,15) \cdot d$  забезпечує западання заготовок в щілину і їхнє зависання на головці. Якщо заготовка має форму стрижня (рис. 4.5, г), то на секторі робиться канавка, ширина якої  $b = 1,05 \dots 1,1) \cdot d$ , а глибина  $l \geq 0,75d$ ,  $h \geq 0,75d$ . Для заготовок, що мають форму диска або шайби, сектор виконується з канавкою, ширина якої  $b = 1,05 \dots 1,1) \cdot d$ , а глибина  $h = 0,5 d$  (рис.5,в).

Об'єм бункера з передбункером визначається за виразом

$$V = Q \cdot V_0 \cdot T \cdot (1/\varepsilon), \quad (4.15)$$

де  $Q$  – продуктивність бункера, шт/хв;

$V_0$  – об'єм однієї заготовки, м<sup>3</sup>;

$\varepsilon$  – коефіцієнт неповноти об'єму заготовки (для гладких і коротких заготовок – 0,7...0,9; для ступінчастих і довгих – 0,4...0,6), що враховує порожнини в об'ємі заготовок які завантажуються;

$T$  – заданий період часу безперервної роботи, хв.

Ширина бункера  $B = (12 \dots 15) \cdot l(h)$ . Висота бункера  $H = (0,25 \dots 0,5) \cdot R_c$ , де  $R_c$  – радіус сектора, рівний  $ml(d) + L_c$ ,  $L_c$  – розмір скидача, що вибирається в межах 20...40мм.

Середній рівень висоти завантаження заготовок у бункері  $H_0 = (0,2...0,4)H$ . Кут нахилу кожуха  $\varphi < \gamma < 90^\circ - 2\rho$ , де  $\operatorname{tg} \varphi = f_c$  – коефіцієнт тертя ковзання.

В шибєрних бункерах шибєр вчиняє прямолінійний зворотно-поступальний рух. В нижньому положенні шибєра заготовки западають в щілину, а в верхньому – скочуються в лотік. Невірно орієнтовані заготовки скидаються диском, що обертається, в бункер.

#### 4.1.3 Бункери безперервної видачі заготовок

**Трубочасті бункери.** Заготовки переміщуються за рахунок власної ваги і їхня первинна орієнтація здійснюється трубкою. Трубочасті бункери прості по конструкції, надійні і не потребують запобіжних механізмів; конструктивно розрізняються за траєкторією руху трубки (обертальні, чворотно-поступальні або комбіновані) і в залежності від того, яка частина бункера виконує ці рухи – трубка або кожух. Найбільше розповсюджений тип трубчастого бункера з трубкою 2, що обертається (рис. 4.6). Для збільшення продуктивності застосовують перегрібай 1.

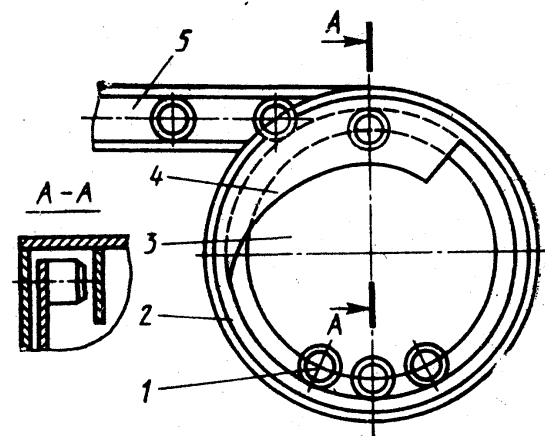
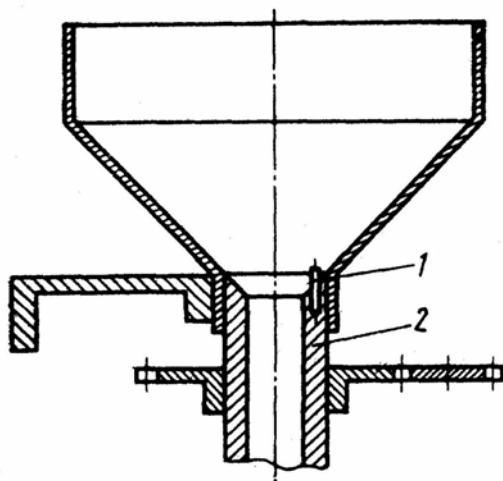


Рисунок 4.6 – Трубочастий бункер

Рисунок 4.7 – Дисківий фрикційний бункер

**Дисківі фрикційні бункери.** Застосовують для завантаження і транспортування плоских заготовок типу кілець, фланців, дисків (рис. 4.7). Заготовки засипаються в бункер 2 навалом, а фрикційний диск 3, що обертається, захоплює їх за собою за допомогою сили тертя і проштовхує в вихідний лотік 5. Вхід в приймальну частину лотка 5 прикривається козирком 4.

Для нормальної роботи бункера необхідно, щоб сила тертя по дну фрикційного диска була більше сили тертя по боковій стінці. Робочий об'єм бункера  $V_0 = 0,7V$ , де  $V$  – повний об'єм бункера.

Дисківі фрикційні бункери широко застосовують в підшипниковій промисловості.

**Вібраційні бункери.** Широко застосовують в машинобудуванні для завантаження і транспортування штучних заготовок в зону обробки, в складальних автоматах. Теоретичні основи вібраційного транспортування будуть розглянуті в наступних розділах даного посібника.

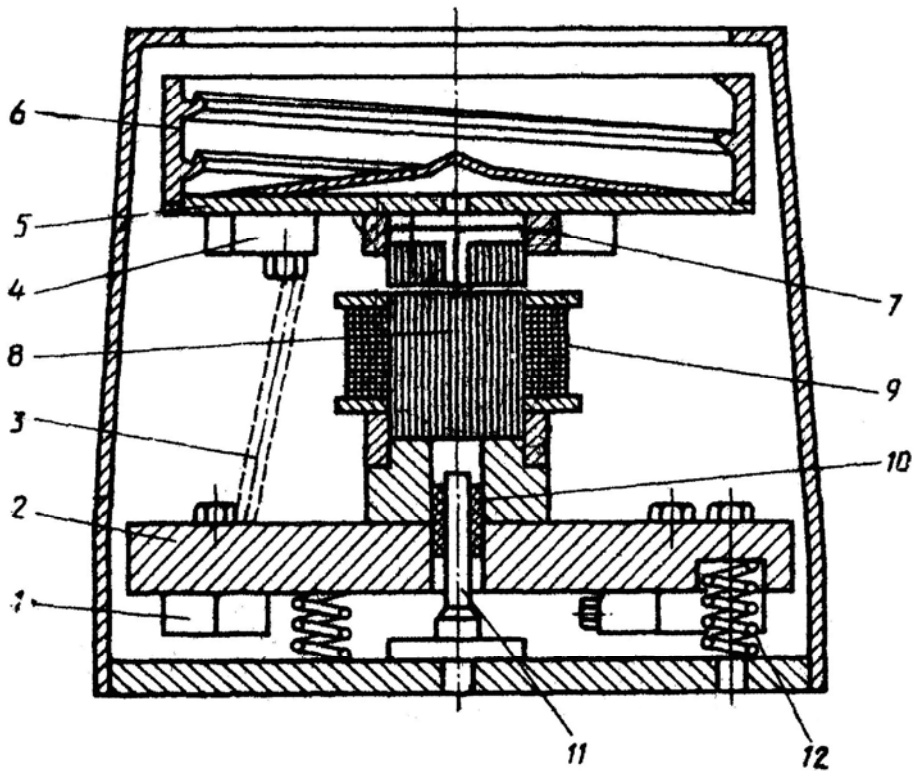


Рисунок 4.8 – Вібраційний фрикційний бункер

Конструктивна схема типового вібраційного бункера з центральним електромагнітним вібратором показана на рис. 4.8. Бункер складається з чаші 6, на внутрішній поверхні якої розміщений лотік в вигляді гвинтової спіралі. Чаша 6 з конусним дном 5 розміщена на трьох нахилених пружинах 3 круглого перетину. Пружини жорстко закріплені в верхніх 4 і нижніх 1 башмаках. Електромагнітний вібратор 9 встановлений в центрі плити 2. Якір вібратора 9 прикріплений до дна 5 бункера через проміжну алюмінієву прокладку 7, що ізолює бункер з заготовками від намагнічування. Вертикальні коливання якоря вібратора з допомогою похилих пружин перетворюються в коливання чаші по спіралі. В процесі коливання на заготовку діє відцентрова сила, що зсуває її від центру до внутрішньої стінки чаші на спіральний лотік. На спіральному лотку за рахунок сили інерції заготовка ковзає або вчиняє мікропольоти в напрямку підйому спіралі. Система налаштовується на резонансний режим зміною робочої довжини пружин 3. Швидкість руху заготовок по спіральному лотку регулюється зміною примусової сили вібратора, що залежить від зазору між якорем і

сердечником електромагніта 8. Для віброізоляції бункер встановлений на трьох витих циліндричних пружинах 12 малої жорсткості. Замість пружин можуть бути використані гумові амортизатори. Для усунення рухомості бункера в горизонтальній площині в отвір плити встановлена вісь 11 з гумовою втулкою 10 з невеликим зазором.

## 4.2 Транспортні пристрої автоматичних ліній

Транспортні пристрої автоматичних ліній призначені для передачі заготовок з однієї позиції на іншу. В процесі транспортування може виконуватися ряд складних операцій, таких, як поворот і орієнтація заготовок, завантаження і розвантаження робочих позицій верстатів, розподіл потоку, створення запасу для забезпечення безперебійної роботи лінії. Від правильного вибору типів транспортних пристроїв залежить продуктивність і надійність роботи лінії.

Транспортні пристрої автоматичних ліній діляться на два основних класи: транспортні пристрої з жорстким зв'язком і транспортні пристрої з гнучким зв'язком. Окрему групу складають транспортні пристрої, що призначені для виведення стружки. На рис. 4.9 зображена класифікація транспортних пристроїв автоматичних ліній машинобудівних виробництв.

### 4.2.1 Транспортні пристрої автоматичних ліній з жорстким зв'язком

**Крокові транспортери.** Переміщують заготовку що оброблюється з однієї позиції в іншу на певний крок, рівний відстані між верстатами або кратний цій відстані.

Типи крокових транспортерів: з заскочками, з прапорцями, рейферні, рейнерні, штовхальні, ланцюгові. Найбільше розповсюдження отримали крокові транспортери з заскочками (рис. 4.10, а). На штанзі встановлені підпружинені заскочки 2 на вісях. При русі вперед (зліва на право) штанга з заскочками захоплює заготовку 3 і переміщує її на наступну позицію. При русі назад (справа наліво) заскочки втеплюються, обертаючись на вісях, і проходять під заготовкою.

Швидкість переміщення транспортера не перевищує 10 м/хв, в кінці ходу швидкість його потрібно знижувати, бо при більших швидкостях заготовки можуть рухатись по інерції вперед. Перевага цих транспортерів – простота руху (прямолінійне зворотно-поступальне) і відповідна їй простота приводу (пневмо- або гідропривод), основний недолік – складність точного позиціонування заготовок на робочій позиції верстата.



Рисунок 4.9 – Класифікація транспортних пристроїв автоматичних ліній

Крокові штангові транспортери з прапорцями забезпечують швидкість переміщення понад 10 м/хв і більш точне позиціонування заготовок на робочих позиціях лінії (рис. 4.10, б).

При русі вперед штанга 1 транспортера з прапорцями захоплює заготовку 2 і переміщує на один крок. При русі назад штанга з прапорцями повертається на певний кут. Таким чином штанга транспортера з прапорцями виконує прямолінійне зворотно-поступальне переміщення і коливальне переміщення навколо своєї вісі. Для коливного руху штанги навколо своєї вісі вимагається додатковий привод.

Грейферні крокові транспортери (рис. 4.10, в) мають обмежене застосування. Штанга транспортера з прапорцями переміщує заготовку в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Транспортер працює по наступному циклу: підйом заготовок вгору, переміщення їх на один крок вперед опускання на напрямних (при цьому штанга опускається ще нижче) і повернення в вихідне положення. Транспортери такого типу застосовуються в тих випадках, коли захват заготовок може бути здійснений тільки з одного боку, а для переміщення і встановлення їх необхідно спочатку підняти. Рейнерні крокові транспортери являють собою ускладнений тип грейферних (рис. 4.10, г). Заготовки 3 переміщуються захватами 2, що сидять на штанзі 1, яка розміщена згори над верстатами.

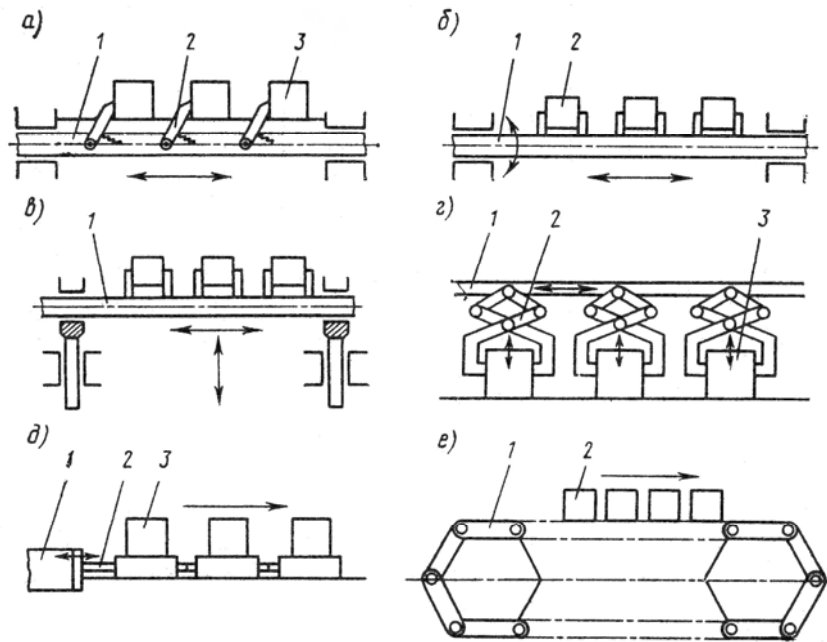


Рисунок 4.10 – Типи крокових транспортерів

Ці транспортери знайшли застосування в автоматичних лініях для обробки валів. Рейнерні транспортери спрощують компоновку лінії і економлять виробничу площу. Однак вони складні по влаштуванню і тому мають недостатню надійність в роботі.

Найбільш простими за конструкцією є пгговхальні крокові транспортери (рис. 4.10, д). В них шток 2 гідроциліндра 1 безпосередньо діє на останню заготовку 3 всього ряду заготовок, переміщуючи їх впритул одну за одною. Недолік таких транспортерів полягає в тому, що фіксація заготовок ускладнюється внаслідок накопичування помилок позиціонування кожною наступною заготовкою через розкид їхніх лінійних розмірів.

Ланцюгові транспортери можуть застосовуватися як в якості засобів безперервного транспорту, так і крокового (рис. 4.10, е). Ланцюг одержує зворотно-поступальний рух. Заготовки 2, що лежать вільно на ланцюзі переміщуються на відстань, більшу, ніж передбачене кроком між позиціями: При дотриманні такої умови буде забезпечене надійне переміщення заготовок до висувних упорів.

#### **Транспортні ротори, спеціальні перештовхувачі і перевантажувачі.**

За допомогою цих пристроїв виконується передача заготовок від одного робочого ротора до іншого. Перші роторні автоматичні лінії були виконані з горизонтальним розташуванням вісей робочих і транспортних роторів. В сучасних роторних автоматизованих лініях вісі роторів розміщені вертикально, що призвело до зміни конструкцій транспортних роторів (рис. 4.11).

В якості транспортних роторів найбільш часто застосовуються дискові з перештовхувачем і кліщові. Дисковий транспортний ротор 6 (рис. 4.12) здійснює передачу заготовок 5 в робочий ротор 3 перештовхувачем 4 з примусовим приводом від кулачка. Кулачок 1 має спеціальний профіль, що забезпечує необхідний характер переміщення важеля 2.

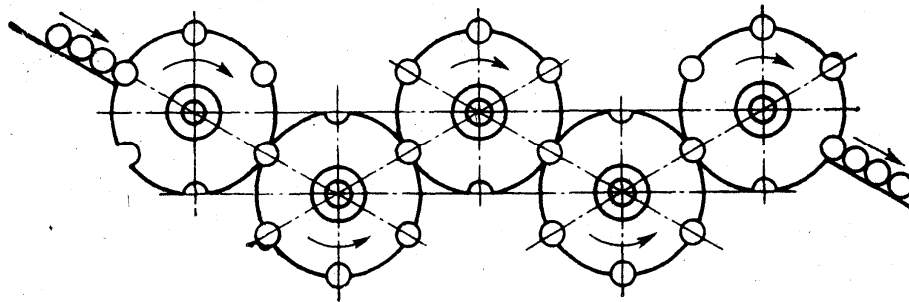


Рисунок 4.11 – Транспортна роторна лінія

На практиці часто застосовуються роторні автоматичні лінії, в яких робочі ротори мають різноманітні транспортуючі швидкості (рис. 4.13)

Зміна транспортуючої швидкості транспортного ротора 2 досягається за допомогою непорушного кулачка 3, по якому переміщуються ролики 4 кліщових повзунів 5. Профіль кулачка виконаний так, що заготовка в момент прийому з робочого ротора 1 кліщовим повзуном 5 переміщується по колу радіусом  $R_1$  і її транспортуюча швидкість дорівнює  $v_{t1}$ . Заготовка в момент передачі з транспортного ротора 2 в робочий ротор 6 переміщується вже на коло з радіусом  $R_2$  і її транспортна швидкість дорівнює  $v_{t2}$ .

Транспортні ротори включають механізми захвату і орієнтації заготовок, зміни рівня заготовок і вилучення їх з потоку, контролю форми і положення елементів заготовок, зміни їх крокового розташування, супроводу заготовок на ділянці передачі, живлення, ділення і об'єднання потоку.

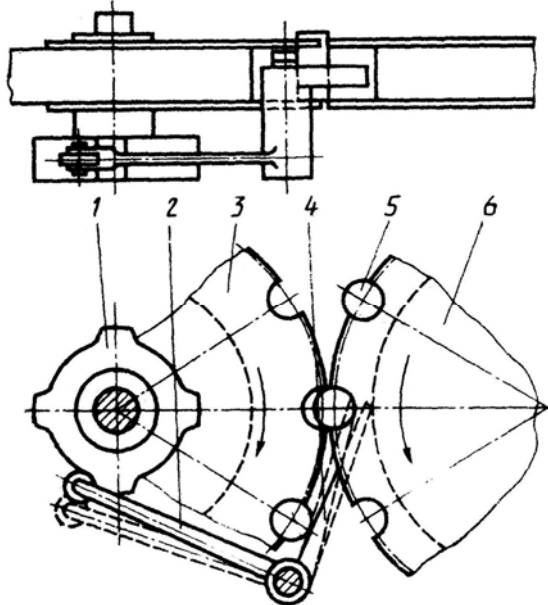


Рисунок 4.12 – Дисківий транспортний ротор

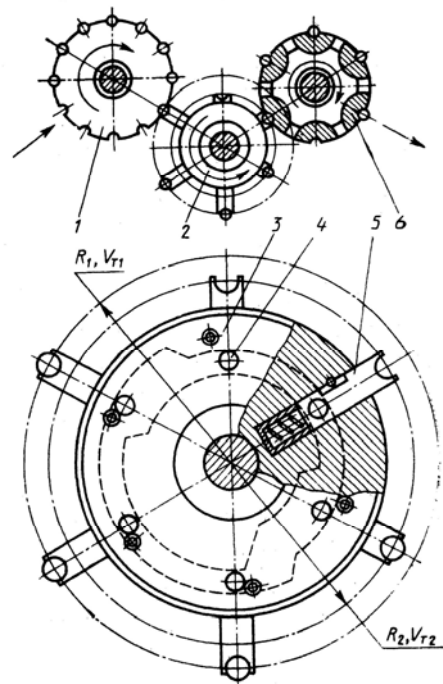


Рисунок 4.13 – Роторна лінія з різною швидкістю транспортування



**Поворотні пристрої.** З їхньою допомогою здійснюється зміна орієнтації заготовок. В залежності від технологічного процесу обробки заготовок на автоматичних лініях застосовуються такі типи поворотних пристроїв: поворотні столи для повороту заготовок навколо вертикальної осі (рис. 4.14, а); барабани для повороту заготовок навколо горизонтальної осі (рис. 4.14, б); кантувачі для повороту заготовок навколо нахиленої осі (рис. 4.14, в).

Поворотні столи застосовуються як проміжні пристрої між незалежними дільницями автоматичної лінії, що мають власні транспортери. Такі столи є типовими і знаходять застосування для різноманітних автоматичних ліній.

**Автооператори.** Це спеціальні пристрої, які виконують передачу заготовок в завантажувальні позиції верстатів і повернення їх на загальний міжверстатний транспортер. Розглянемо в якості прикладу конструктивну схему транспортної системи з автооператором для обробки заготовок типу валів електродвигунів (рис. 4.15). Вали переміщуються між позиціями верстатів по транспортеру-лотку 3, розташованому поза робочою зоною верстатів паралельно їхнім вісям центрів. Переміщення валів по лотку здійснюється кроковим транспортером 2 з заскочками, що встановлює їх в вхідне положення проти робочих позицій верстатів. Автооператор 4 переміщує заготовку з лотка транспортера 3 в робочу зону верстата для встановлення в центрах, а після закінчення процесу обробки заготовки автооператором 4 повертається на транспортер. Переміщення автооператора в поперечному напрямку здійснюється з допомогою гідроциліндра і двох рейкових передач 5 і 6.

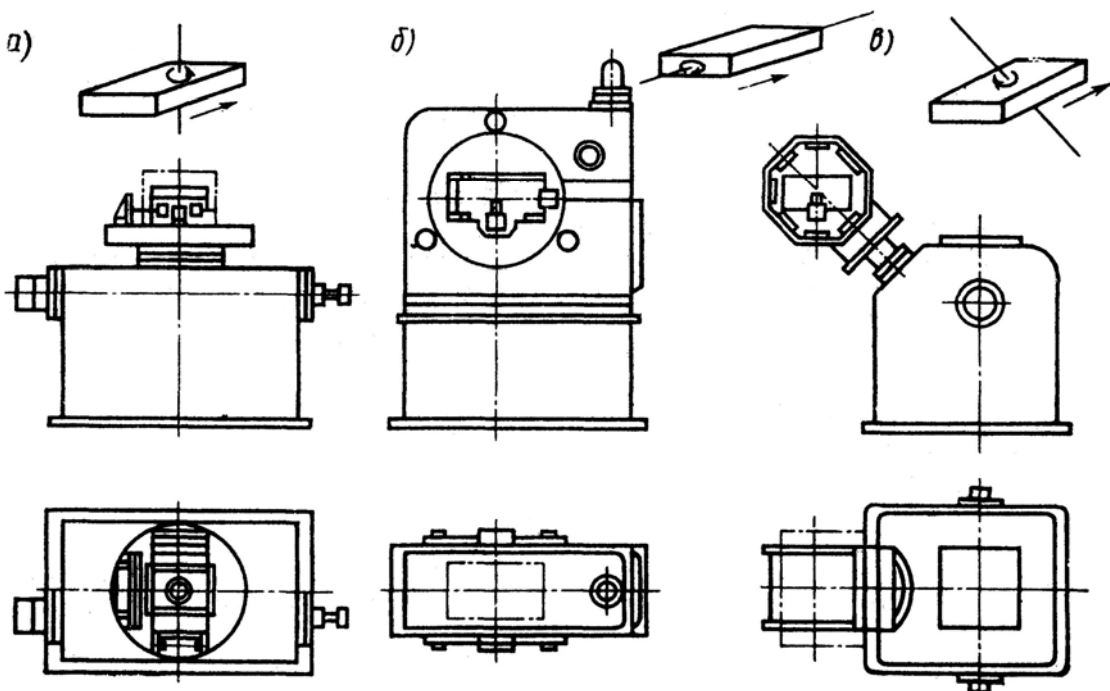


Рисунок 4.14 – Поворотні пристрої

В такому транспортному пристрої автооператор послідовно виконує операції встановлення і зняття заготовок, що не дозволяє сумістити допоміжний час з встановленням і зняттям заготовки. Таке суміщення досягається застосуванням автооператора з двома головками. Перша головка приймає заготовку з транспортера і подає її в робочу зону верстата, друга, майже водночас з першою, перемішує оброблену заготовку з робочої зони верстата на транспортер. Застосування такого автооператора дозволяє скоротити допоміжний час, необхідний для встановлення і зняття заготовки. Широке застосування знаходять автооператори в полуавтоматах і автоматах, призначених для обробки кілець підшипників, і в пристроях для автоматичної зміни інструмента на верстатах з ЧПК

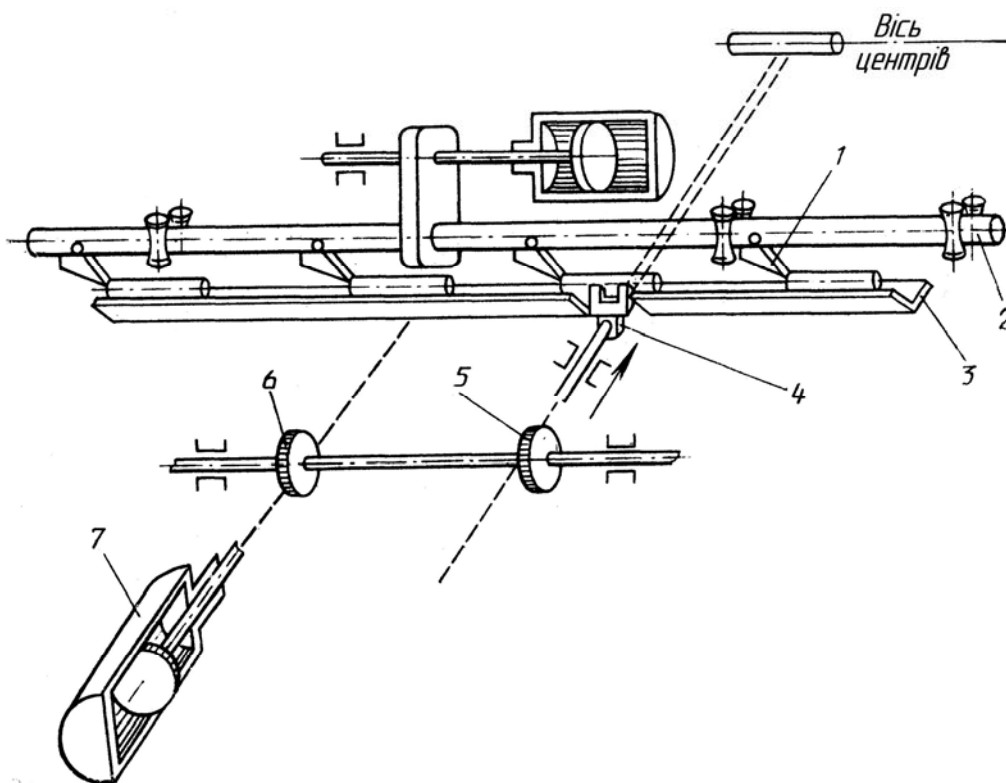


Рисунок 4.15 – Конструктивна схему транспортної системи з автооператором для обробки заготовок типу валів електродвигунів

**Пристрої-супутники.** Застосовуються для деталей складної форми (колінчасті вали, шатуни, важелі, вентилі, поршні і т.ін.), які важко автоматично фіксувати і закріплювати на позиціях обробки. Форма і габарити супутників залежать від форми і розмірів заготовок, що обробляються, і засобів їхньої обробки на автоматичних лініях.

На рис. 4.16 показана конструкція пристосування-супутника, на якому закріплено чотири шатуни двигуна. Шатуни 5 базуються по торцях великої і малої головок. Положення великої головки фіксує паз 11, а малої – паз .9. На завантажувальній позиції, на початку автоматичної лінії, обертанням

вручну рукоятки 10 піджимають верхнім кінцем прихвату 6 малу головку шатуна до гвинта 8. З допомогою шестерен 7, що обертаються електромеханічними ключами, системою тяг рух передається йрихватам 4, що затискають шатуни. Супутник переміщується між верстатами лінії на чотирьох роликах 2 по двох планках 1. На робочих позиціях верстатів супутники встановлюють в стаціонарні пристосування де вони фіксуються двома рухомими фіксаторами і кріпляться двома гідроциліндрами до планок. В момент закріплення супутника ролики 2 піднімаються ввєрх і стискають пружину 3.

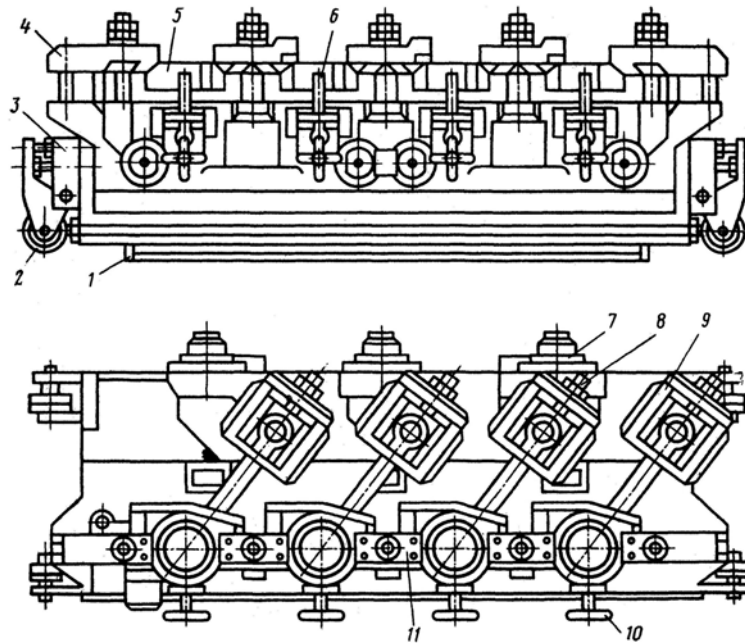


Рисунок 4.16 – Конструкція пристосування-супутника

Транспортні системи автоматичних ліній зі супутниками складаються з транспортерів для прямого і зворотного переміщення супутників і двох зв'язуючих їх транспортних пристроїв, які розташовані на початку і в кінці транспортерів лінії.

**Транспортні пристрої повернення супутників.** Переміщують супутники від кінця лінії до її початку на завантажувальну позицію. Для отримання компактної лінії транспортер повернення 5 супутників 3 розміщують під основним робочим транспортером 4 (рис. 4.17, а) або над ним. Супутники за допомогою вертикального столика 6 опускаються на транспортер повернення 5, де вони захоплюються транспортером. В крайньому лівому положенні супутники піднімаються підйомачем 1 на позицію розвантаження. На позиції 2 здійснюється завантаження супутника заготовкою. Однак таке розташування має той недолік, що ускладнює ремонт і обслуговування транспортера повернення супутників, ускладнює видалення стружки.

Для коротких ліній і невеликих по масі супутників застосовують ланцюговий транспортер (рис. 4.17, б). На коротких автоматичних лініях в якості транспортерів повернення супутників використовуються лотки-сковзала (рис. 4.17, в).

Найбільше застосування отримала транспортна система автоматичних ліній, в якій транспортер повернення супутників 2 розміщують в одній горизонтальній площині з основним робочим транспортером 3 (рис. 4.17, г). Бокові транспортери 1 і 4 з'єднують транспортери 2 і 3. При такій компоновці збільшується площа, займана лінією, але покращується обслуговування і ремонт, спрощується розміщення агрегатів для миття і очищення супутників.

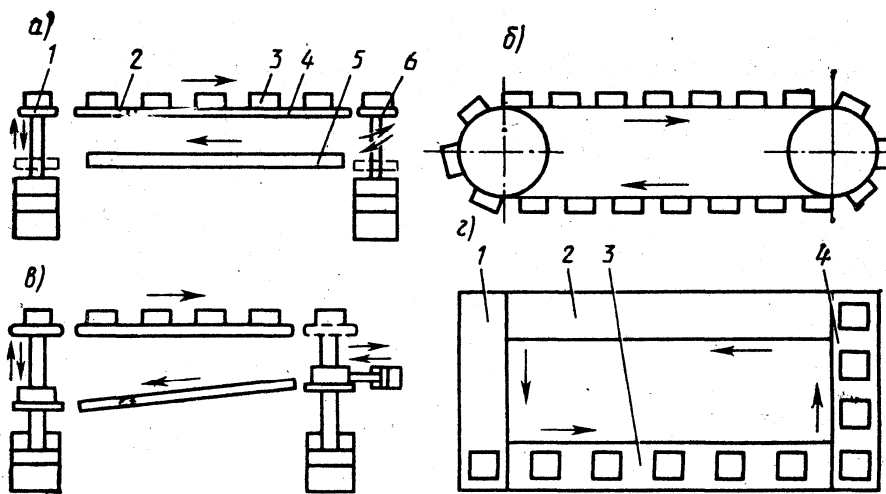


Рисунок 4.17 – Компонування ліній із транспортером повернення супутників

#### 4.2.2 Транспортні пристрої автоматичних ліній з гнучким зв'язком

Автоматичні лінії з гнучким зв'язком – це лінії, в яких верстати працюють незалежно один від одного, по власному самостійному циклу, а зв'язок між ними здійснюється завдяки міжопераційним запасам.

Типова автоматична лінія з гнучким зв'язком складається з таких основних транспортно-завантажувальних пристроїв: підіймача, транспортера-розподільника, пристрою прийому і видачі заготовок, лотків, відвідних транспортерів, міжопераційних накопичувачів.

**Підіймачі.** Призначені для транспортування заготовок на задану висоту, з якої вони під дією власної ваги скочуються по транспортних пристроях до робочих позицій верстатів. На автоматичних лініях застосовуються три типи підіймачів: ланцюгові, штовхальні і вібраційні.

Ланцюговий підіймач (рис. 4.18, а) складається з корпусу 2, в якому змонтовані приводні 10 і натяжні зірочки, які отримують рух від приводу 11. Втулково-роликівий ланцюг 3 має перекладки 8, на які попадають за-

готовки з лотка 7 за допомогою відсікача 6. Синхронізатор 4 управляє відсікачем 6 за допомогою тяги 5. Заготовки під дією сили ваги скочуються в приймальний лотік 9. Ланцюгові підіймачі працюють плавно і з високою надійністю.

Штовхальний підіймач застосовується для підйому заготовок на висоту не більш 1 м (рис. 4.18, б). Заготовки, що надходять з лотка 4, проштовхуються в шахту 5 штовхачем 2, що виконує зворотно-поступальний рух від кривошпно-шатунного механізму І. Заготовки в у; падінш затримуються в шахті 5 що підпружинена заскочкою 3. Основні недоліки цього типу підіймача – мала продуктивність, різке зниження надійності і довговічності при зносі елементів, можливість заклинювання.

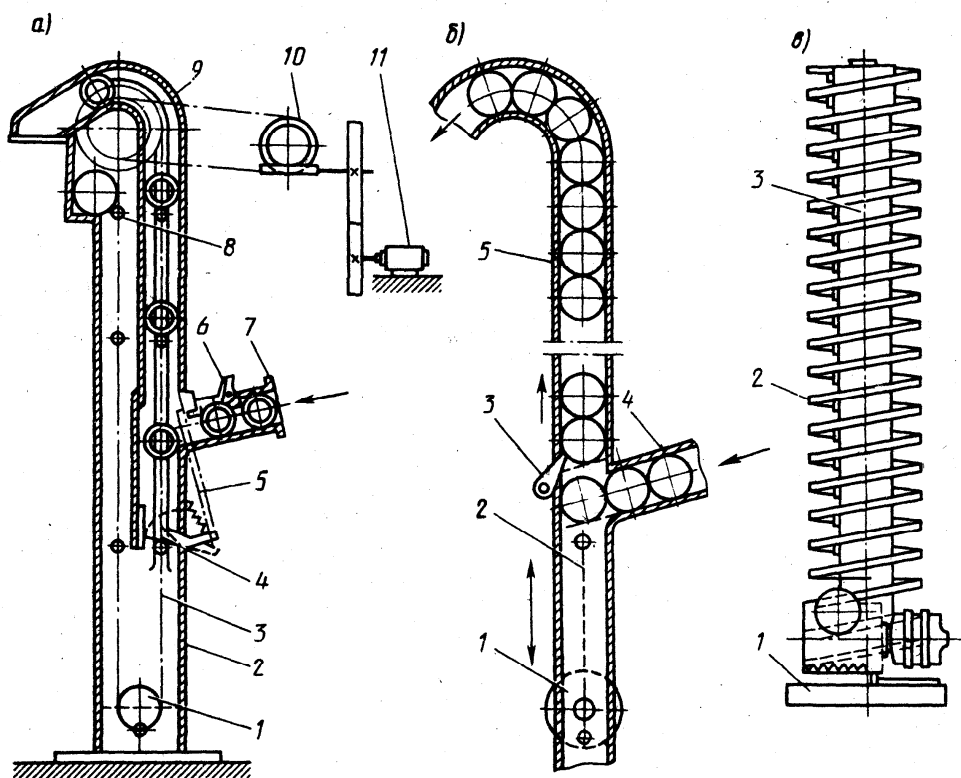


Рисунок 4.18 – Основні типи підіймачів

Вібраційний підіймач застосовується для транспортування легких заготовок (рис. 4.18, в). Він складається з труби 3 з гвинтовим лотком 2, закріплених на основі. Вібраційні коливання створюються дебалансним або електромагнітним вібратором. Заготовки, що надходять на нижню частину підіймача, під впливом вібрацій заходять на лотік 2 і переміщуються вгору. Вібраційний підіймач може використовуватися і в якості міжопераційного накопичувача.

**Транспортери-розподільники.** Застосовуються для розподілу заготовок типу тіл обертання на ряд паралельно діючих верстатів автоматичної лінії. Вони розрізняються способом транспортування (примусове або гра-

вітаційне) і способом розподілу потоку заготовок. Транспортер-розподільник з примусовим способом переміщення заготовок (рис. 4.19) складається з корпусу 4, всередині якого є порожнина, що повторює форму заготовок. Заготовки 3, що надходять з лотка 2, заковчуються в простір між перекладами ланцюга 5, перекочуються ним по дорожці 6 і влучають на нижню сторону корпусу розподільника. Заготовки западають в вільний осередок 7. Попадання заготовок на транспортер-розподільник і в осередок 7 регулюється пристроями прийому і видачі заготовок 1 і 8.

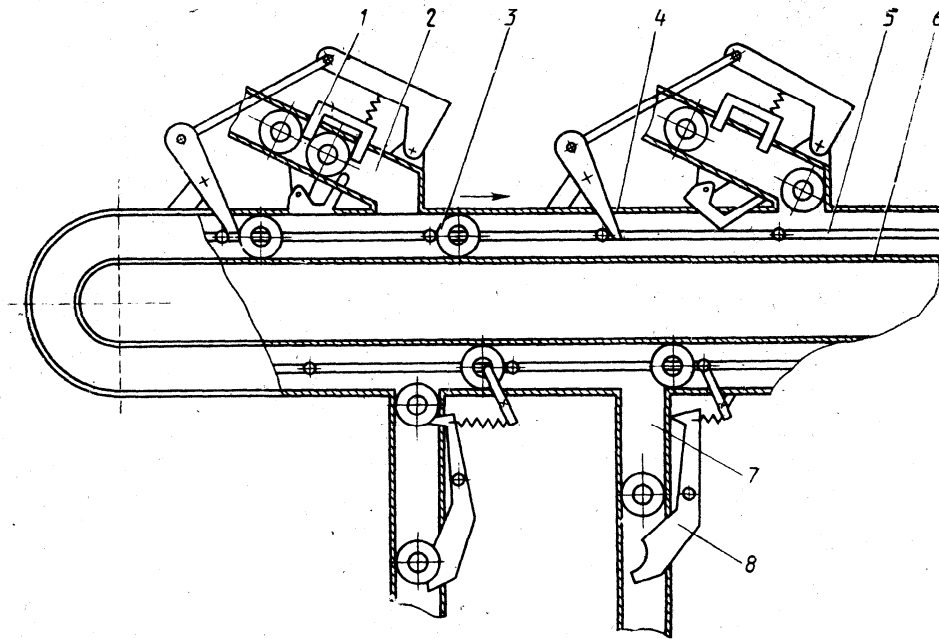


Рисунок 4.19 – Транспортер-розподільник з примусовим способом переміщення заготовок

**Пристрої прийому і видачі заготовок.** В транспортних системах автоматичних ліній застосовуються відсікачі, завантажувачі і розвантажувачі.

Відсікачі відділяють від загальної маси по одній або декілька (порцію) заготовок. Вони широко застосовуються в верстатах автоматах, транспортерах-розподільниках, лотках. За конструктивними ознаками відсікачі ділять на штифтові, кулачкові і барабанні.

Штифтові відсікачі застосовуються з прямолінійно-зворотним рухом штифтів або хитальним навколо вісі (рис. 4.20, а). Їхній недолік – в нейтральному положенні можливе заклинювання заготовок та продуктивність обмежується швидкістю вільного руху заготовок. Продуктивність штифтових відсікачів не перевищує 100...200 заготовок за хвилину.

Кулачкові відсікачі мають пару кулачків 1, зміщених один відносно одного так, що один з них при повороті випускає заготовку, а інший утримує всі інші (рис. 4.20, б).

Барабанні відсікачі мають диски з виїмками під заготовку (рис. 4.20, в). Обертаючись безупинно або преривчасто, диск захоплює по одній заготовці, утримуючи всі інші.

Завантажувачі призначені для завантаження і транспортування заготовок на робочу позицію верстата. Вони бувають таких типів: шиберні, мотилеві, барабанні, револьверні, шнекові.

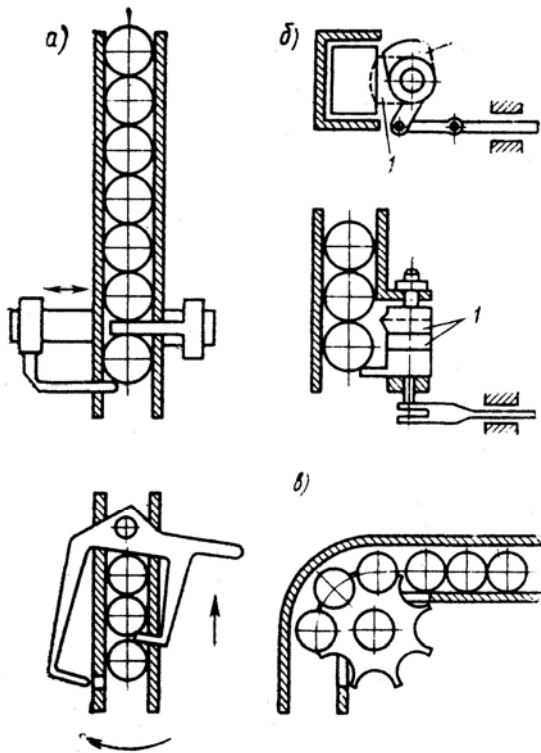


Рисунок 4.20 – Основні типи відсікачів

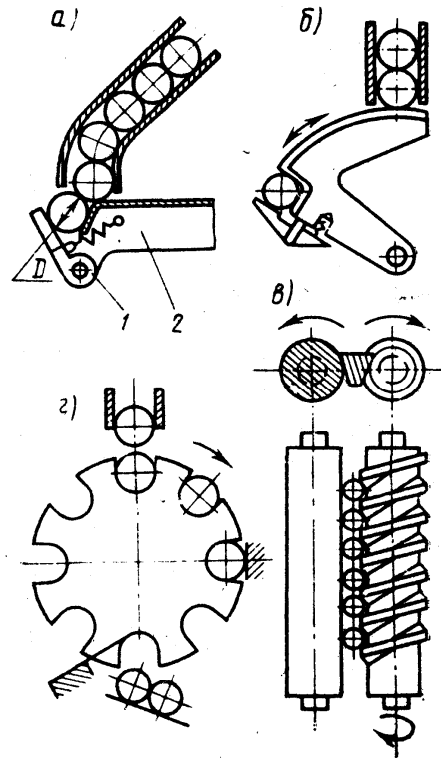


Рисунок 4.21 – Основні типи живильників

Шиберні живильники є найбільш розповсюдженими (рис. 4.21, а). В вхідному положенні приймальне гніздо знаходиться проти отвору лотка і заготовки западають в нього. При русі шибера 2 справа наліво заготовка переноситься до пристосування, де затискається. При поверненні шибера в вхідне положення планка відкидається, повертається навколо вісі і проходить під заготовкою. Мотилевий завантажувач відрізняється від шиберного обертальним рухом на певний кут (рис. 4.21, б). Шнекові завантажувачі застосовуються для завантаження заготовок типу конічних роликів (рис. 4.21, в). Барабанний завантажувач являє собою диск з горизонтальною віссю обертання і гніздами, в які западають заготовки (рис. 4.21, г).

Револьверний завантажувач відрізняється від барабанного тим, що диск з гніздами має вертикальну вісь обертання.

В якості розвантажувачів можуть бути застосовані і розглянуті вщє конструкції завантажувачів. Але частіше застосовуються прості штовхані, скидачі.

Лотки. Інколи застосовуються в автоматичних лініях з гнучким зв'язком в якості магістральних транспортерів. Але найбільше застосування вони знайшли як транспортні пристрої для передачі заготовок від підйомачів до транспортерів-розподільників, від останніх – до верстатів, а від верстатів – до відвідних транспортерів. В лотках заготовки переміщуються під дією власної ваги коченням або ковзанням. Тому лотки бувають: лотки-скати і лотки-сковзала.

На рис. 4.22 показані лотки-скати для транспортування заготовок типу валиків і дисків. При конструюванні лотків-скатів коробчастого типу (рис. 4.23) необхідно правильно вибрати розміри поперечного перетину лотка, висоту бортів, кут нахилу виходячи з умов прохідності заготовок в лотку. Під прохідністю заготовок розуміється її властивість переміщатися в лотку без заклинювання і втрати орієнтації. Заготовка при русі по лотку може повернутися за рахунок зазору  $\Delta$  на кут  $\alpha$  зайняти положення, зображене штриховою лінією.

Із збільшенням зазору  $\Delta$  кут повороту  $\alpha$  буде збільшуватися і може настати таке положення, при якому заготовка заклинить або втратить орієнтацію. Щоб цього не відбулося, зазор між торцем деталі і бортом лотка повинен задовольняти наступне співвідношення:

$$A \leq \frac{\sqrt{D^2 + L^2}}{\sqrt{1 + f^2}} - L \quad (4.16)$$

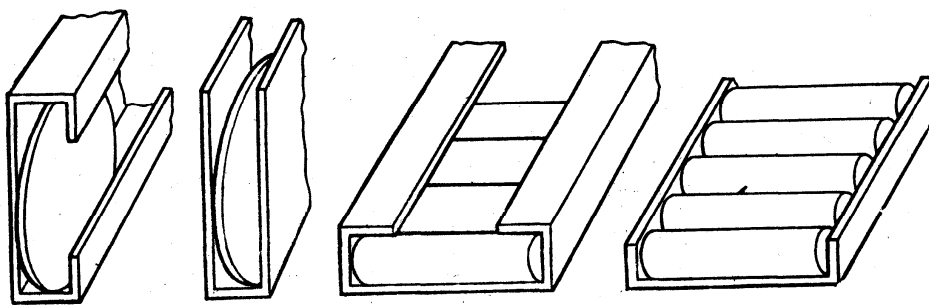


Рисунок 4.22 – Лотки-скати для транспортування заготовок типу валиків і дисків

Враховуючи допуски на довжину  $L$  і діаметр  $D$  заготовки, у виразі (4.16) слід підставляти найменші значення  $L$ ,  $D$ . Коефіцієнт тертя  $f = 0,1 \dots 0,2$ . Висоту бортів короба відкритих лотків-скатів слід брати не менше радіуса, а надійніше – не менше діаметра заготовки.



Кут  $\gamma$  бокового нахилу дна короба (відносно горизонту) лотків-скатів чалежигь від якості окремих лотків і стану поверхні заготовок. Він визначається залежністю:  $\sin \gamma > f \cdot \operatorname{tga} + f^2$ .

При конструюванні роликів лотків необхідно встановити мінімальне число роликів, їхні розміри, крок між ними і кут нахилу лотка до горизонту (рис. 4.24).

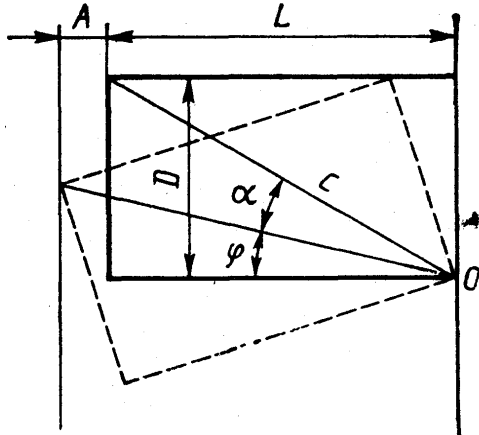


Рисунок 4.23 – Розрахункова схема лотка-скату коробчастого типу

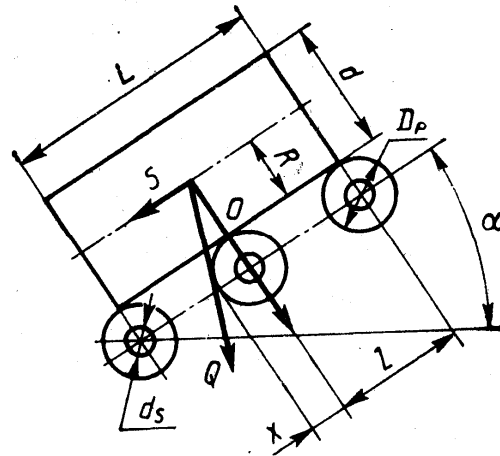


Рисунок 4.24 – Розрахункова схема роликів лотка

Для запобігання перекидання заготовок відстань між центрами роликів вибирають з умови зміщення центру ваги по довжині заготовки  $L$  на величину  $x$

$$l = 0,45L - \sqrt{\frac{2QR \sin \alpha}{F\rho}} \quad (4.17)$$

де  $Q$  – маса заготовки, кг;  
 $R$  – відстань від опори до центру ваги, м;  
 $F$  – площа поперечного перетину,  $\text{м}^2$ ;  
 $\rho$  – густина матеріалу заготовок,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  
 $\alpha$  – кут нахилу роликів лотка.

Діаметр ролика  $D_p = 0,45L$ . Найменший кут нахилу роликів лотка, що допускається, визначається за формулою:

$$\operatorname{tga} \geq \left(1 + z \frac{Q_p}{Q}\right) \frac{f d_s}{D_p} + \frac{2f_k}{D_p} \quad (4.18)$$

де  $z$  – кількість роликів, на яких лежить заготовка;

$Q, Q_P$  – маса заготовок і ролика відповідно;  
 $d_s$  – діаметр осі ролика, м;  
 $f$  – коефіцієнт тертя ковзання ролика на осі;  
 $f_k$  – коефіцієнт тертя кочення.

Основні типи лотків-сковзалів зображенні на рис. 4.25. Кутові лотки застосовуються для транспортування заготовок вздовж вісі (рис. 4.25, а). Трубчасті лотки робляться жорсткими (рис. 4.25, б, г) і гнучкими (рис. 4.25, в).

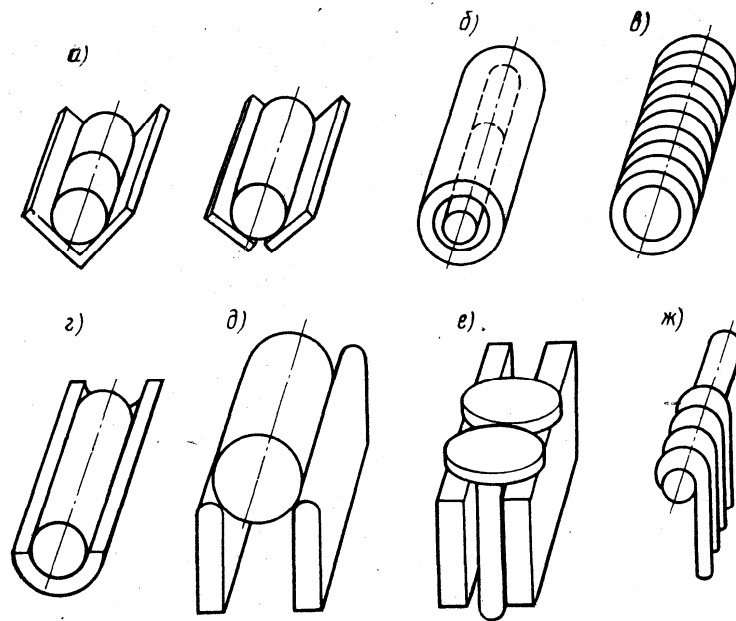


Рисунок 4.25 – Основні типи лотків-сковзалів

Рейкові лотки використовуються для переміщення заготовок типу по-ршня (рис. 4.25, д), заготовок з буртом (рис. 4.25, е), тачкових заготовок (рис. 4.25, ж).

В кутових лотках заготовка контактує в двох місцях і для її переміщення вимагається більший кут нахилу лотка.

Для розрахунку кута нахилу лотка слід вибрати приведені значення коефіцієнта тертя  $f'$  що залежить від кута контакту  $\beta$ .

$$f' = f / \sin \beta \quad (4.19)$$

В криволінійних лотках слід передбачити збільшення ширини лотка  $B$  (рис. 4.26) на величину  $S$ , що визначається формулою

$$S = 0,5R\sqrt{4R^2 - l^2} . \quad (4.20)$$

Відповідно ширина лотка  $B$  на радіусі заокруглення:

$$B = d + S + C, \quad (4.21)$$

де  $C$  – зазор між заготовкою і бічною стінкою лотка, що вибирається по допуску  $H11... H15$  квалітетів;  
 $d$  – діаметр заготовки;  
 $l$  – довжина заготовки.

На прямолінійній ділянці ширину лотка слід зменшувати і витримувати в межах розміру деталі з врахуванням зазору  $A$  (4.16).

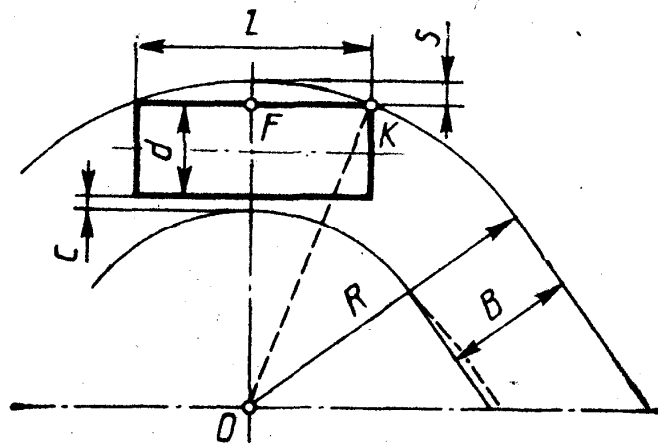


Рисунок 4.26 – Розрахункова схема транспортування деталі по криволінійному лотку

**Відвідні транспортери.** Слугують для об'єднання потоків оброблюваних заготовок, які надходять по лотках від верстатів автоматичної лінії та передачі їх на наступну технологічну ділянку. Типова конструктивна схема відвідного транспортера зображена на рис. 4.27. Транспортер складається з лотка 1, пластинчастого ланцюга 2. Заготовки 4 надходять з лотків 3 самопливом. На своєму шляху вони зустрічають уповільнювач руху 5. Сила удару заготовок передається за допомогою планки поршню гідровимірювача. Планка поволі відхиляється і заготовка спокійно скочується на стрічку транспортера.

Заготовки при транспортуванні контактують з пластинами ланцюга і боковими стінками лотка, поступально переміщуючись і обертаючись в зворотному напрямку.

В результаті швидкість переміщення заготовок  $v_0$  виявляється менша за швидкість руху ланцюга  $v$  і дорівнює

$$v_0 = \frac{v \cdot \mu}{2}, \quad (4.22)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт ковзання, рівний 0,9...0,92.

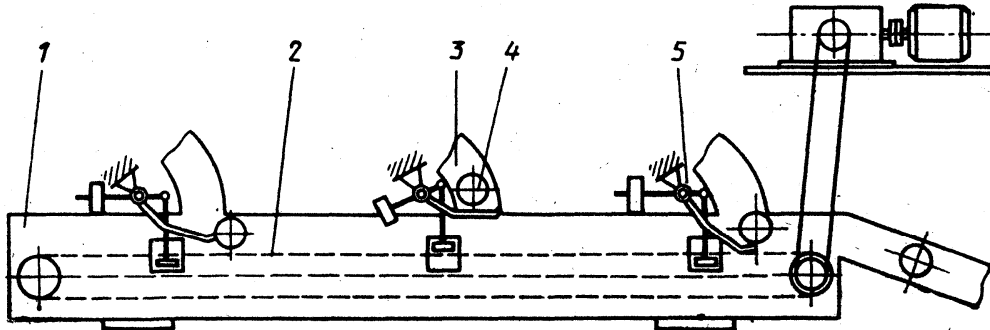


Рисунок 4.27 – Конструктивна схема відвідного транспортера

Для переміщення заготовок, типу поршнів, втулок застосовуються стрічкові транспортери. Однострічкові транспортери складаються з лотка 7 і приводного паса 3 (рис. 4.28, а). Заготовки 2, що попадають між бортом лотка і робочою віткою паса, прокочуються між ними та водночас рухаються поступально. Швидкість поступального руху заготовок визначається виразом (4.22), де  $v$  – швидкість приводного паса, м/с;  $\mu$  – коефіцієнт ковзання (при переміщенні заготовок по твірній  $\mu = 0,93...0,95$ ; при переміщенні на торці  $\mu = 0,85...0,8$ ).

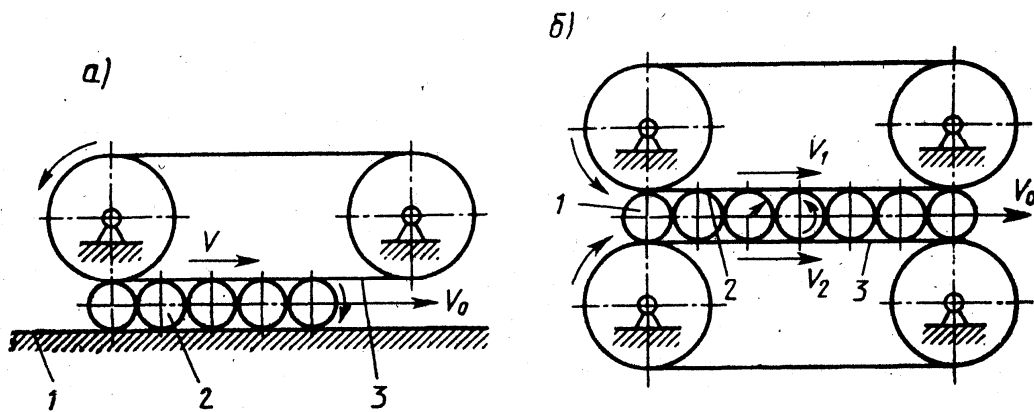


Рисунок 4.28 – Конструктивна схема однострічкового транспортера

Двострічкові транспортери широко застосовуються для переміщення відносно легких заготовок. Вони дозволяють регулювати швидкість руху заготовок в широких межах. Для цього кожна стрічка має свій привод, причому один з них робиться з варіатором швидкостей і реверсом. Якщо обидві стрічки 2 і 3 рухаються в одну сторону з однаковою швидкіс-

тю, то заготовки будуть переміщуватися зі швидкістю, що дорівнює швидкості стрічки (рис. 4.28, б). Якщо одна з стрічок непорушна, то швидкість руху заготовок визначається виразом (4.22). Якщо стрічки переміщуються в протилежні сторони з однаковою швидкістю, то заготовки будуть обертатися на місці.

При однаковому напрямку руху стрічок, але з різними швидкостями  $v_1$  та  $v_2$ , кутова швидкість заготовок буде розраховуватись за виразом

$$\omega = \frac{v_1 + v_2}{2R} \mu, \quad (4.23)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт проковзування, рівний 0,95...0,98;  
 $R$  – радіус заготовок.

Поступальна швидкість заготовок в цьому випадку

$$v_0 = \frac{v_1 + v_2}{2} \mu. \quad (4.24)$$

При різних напрямках руху стрічок і різних швидкостях  $v_2 > v_1$  кутова швидкість заготовок:

$$\omega = \frac{v_2 - v_1}{2R} \mu, \quad (4.25)$$

поступальна швидкість заготовок:

$$v_0 = \frac{v_2 - v_1}{2} \mu. \quad (4.26)$$

**Міжопераційні накопичувачі.** Встановлюються, як правило, між різними ділянками автоматичних ліній з гнучким зв'язком. Приймають заготовки з попередньої ділянки, працюючи на накопичення, наступна - не працює. Видають заготовки на наступну ділянку, працюючи на видачу, попередня – не працює. І, нарешті, працюють напряму, здійснюючи одночасно прийом і видачу заготовок.

На автоматичних лініях для обробки дрібних заготовок роль міжопераційних накопичувачів виконують бункерно-завантажувальні пристрої і вібраційні підіймачі-накопичувачі (див. рис. 4.18). На лініях для виготовлення більш великих заготовок застосовуються міжопераційні накопичувачі транзитного або складського типу.

В транзитних накопичувачах для видачі чергової заготовки необхідно переміщувати весь їхній запас. В складських накопичувачах при нормальній роботі попередньої і наступної ділянок лінії, потік заготовок може переміщуватись в обхід запасу заготовок, що знаходиться в накопичувачі.

Транзитні накопичувачі бувають шахтного типу і барабанні. В накопичувачі шахтного типу заготовки з лотка підіймачем елеваторного типу 2 доставляються нагору і по спіральному або змієподібному лотку 3 скочуються під впливом власної ваги на відповідний транспортер 5 (рис. 4.29). Відсікач 4 управляє видаванням заготовок на відповідному транспортері.

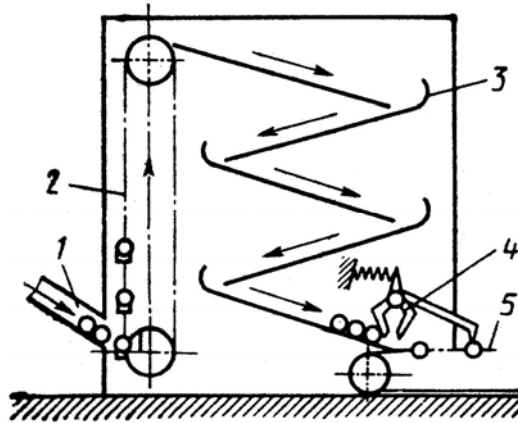


Рисунок 4.29 – Принципова схема транзитного накопичувача шахтного типу

Міжопераційний накопичувач складського типу показаний на рис. 4.30. При нормальній роботі попередньої і наступної ділянок лінії, заготовки 4 надходять по лотках 5 і 3 в лоток 2, минаючи накопичувач 7. При роботі на накопичування відсікач 6 закриває приймальне вікно 3 і заготовки надходять в накопичувач 7, що може мати виїмки і радіальні пази для прийому заготовок. При роботі на видачу відсікач займає горизонтальне положення і заготовки з накопичувача 7 надходять в приймальний дотік 2.

В автоматичних лініях з гнучким зв'язком накопичення заготовок відбувається в усіх ланках транспортної системи (на підіймачах, на транспортерах, розподільниках, в лотках і відповідних транспортерах).

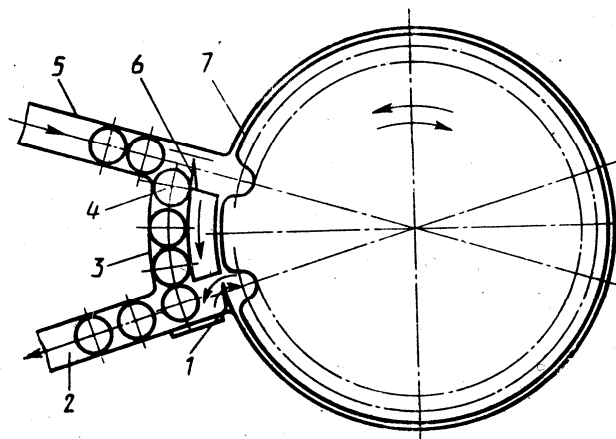


Рисунок 4.30 – Міжопераційний накопичувач складського типу

### 4.2.3 Транспортні пристрої автоматичних ліній для видалення стружки

В автоматичних лініях стружка вваляється різними пристроями, які в сукупності складають транспорту систему. Залежно від компоновки автоматичних ліній та організації праці на них застосовуються в основному дві автоматизовані системи видалення стружки:

автономні конвеєри виносять стружку з верстатів в загальний магістральний конвеєр, що встановлюється поза лінією;

транспортування стружки магістральним конвеєром, вбудованим безпосередньо в лінію.

Вибір тієї або іншої системи залежить від конкретних умов роботи ліній (форми і розмірів стружки, застосовується або відсутня змащувально-охолоджувальна рідина, чи вимагається повернення супутників і т. ін.). Транспортні конвеєри для видалення стружки бувають механічними, пневматичними, гідравлічними і зрідка магнітними.

**Механічні конвеєри.** Найбільше застосування знайшли для транспортування стружки. До них відносяться стрічкові зі сталеві або гумові стрічки, скребкові, йоржові, вібраційні, шнекові

Стрічкові конвеєри (рис. 4.31, а) мають високу продуктивність, можуть транспортувати стружку на великі відстані, прості за конструкцією, безшумні і економічні в роботі. Недоліки цього типу конвеєрів – швидке зношування стрічки та те, що частина стружки виноситься холостою віткою стрічки під раму 2.

Скребкові конвеєри застосовують для транспортування дрібної дробленої стружки. Вони бувають двох видів: нескінченна стрічка 1, на якій розміщені скребки (рис. 4.31, б), і штанга 2 зі скребками, що роблять зворотньо-поступальне переміщення (рис. 4.31, в). Скребкові конвеєри дають можливість транспортувати стружку під значним кутом нахилу і ефективно працюють на невеликі відстані.

Йоржові конвеєри являють собою металевий жолоб 3 з привареними шипами (рис. 4.31, г). В середині жолоба штанга 2 з йоржами виконує зворотньо-поступальний рух. При русі справа наліво (робочий хід) штанга йоржами захоплює стружку і проштовхує її вперед. При русі зліва направо (холостий хід) штанга проковзує по стружці, що утримується шипами жолоба. Найбільш ефективно цей тип конвеєра використовується для транспортування витої або зливної стружки.

В останній час отримали розповсюдження вібраційні транспортери для видалення стружки (рис. 4.31, д), які складаються з жолоба на пружних опорах 2, що виконує вібраційний рух за допомогою вібропривода механічного або електромагнітного типу. Вони однаково ефективно використовуються як для транспортування подрібненої стружки, так і витої.

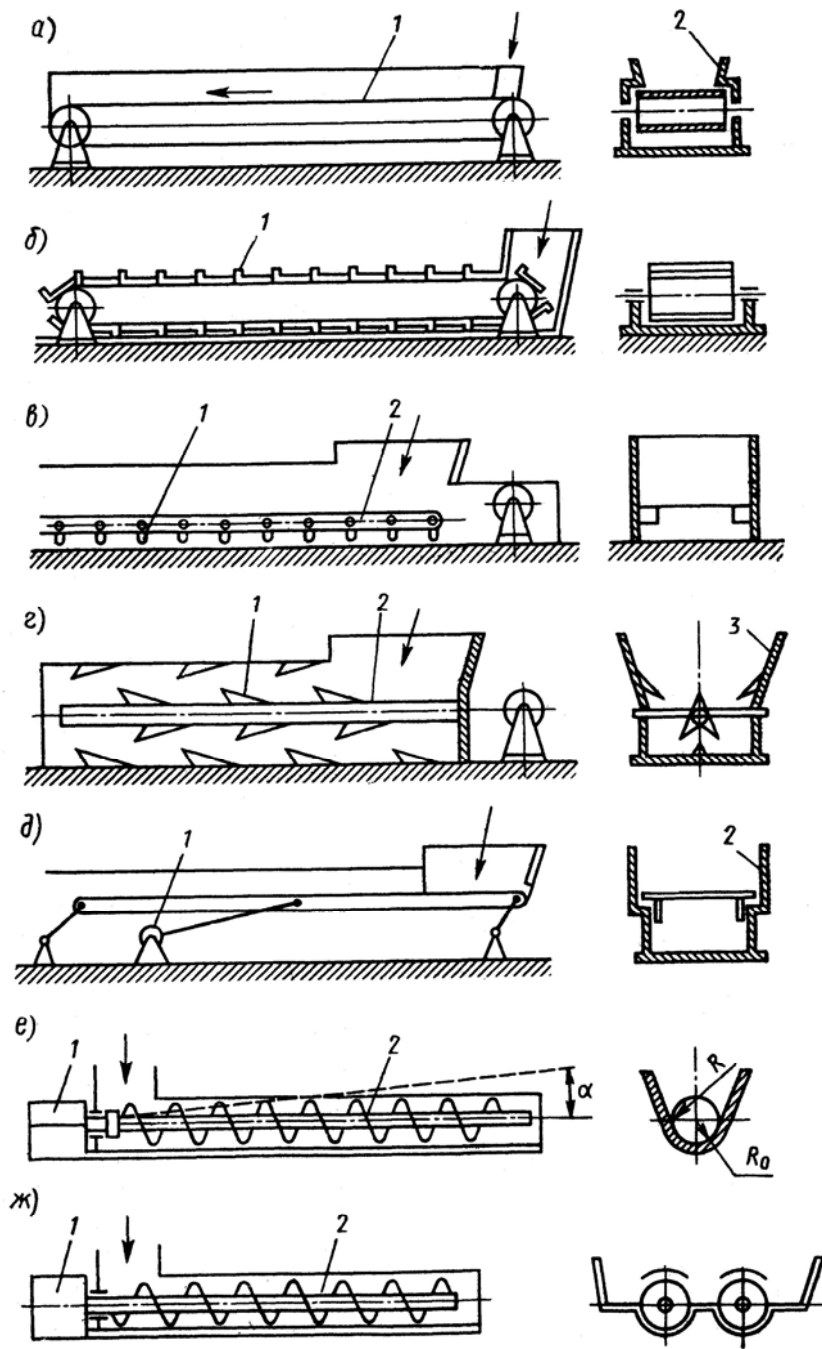


Рисунок 4.31 – Конвеєри для транспортування стружки

Шнекові конвеєри (рис. 4.31, е, ж) складаються з металевого жолоба, в якому розташований гвинт 2, що отримує обертання від приводу 1. При обертанні гвинт проштовхує по жолобу стружку. Ці конвеєри виконуються і одним гвинтом – одношнекові (е) або з двома – двошнекові (ж). Шнекові конвеєри працюють надійно і ефективно з будь-яким типом стружки.

**Пневматичні пристрої.** Вони бувають з нагнітально-всмоктувальною та всмоктувально-нагнітальною системами (рис. 4.32).



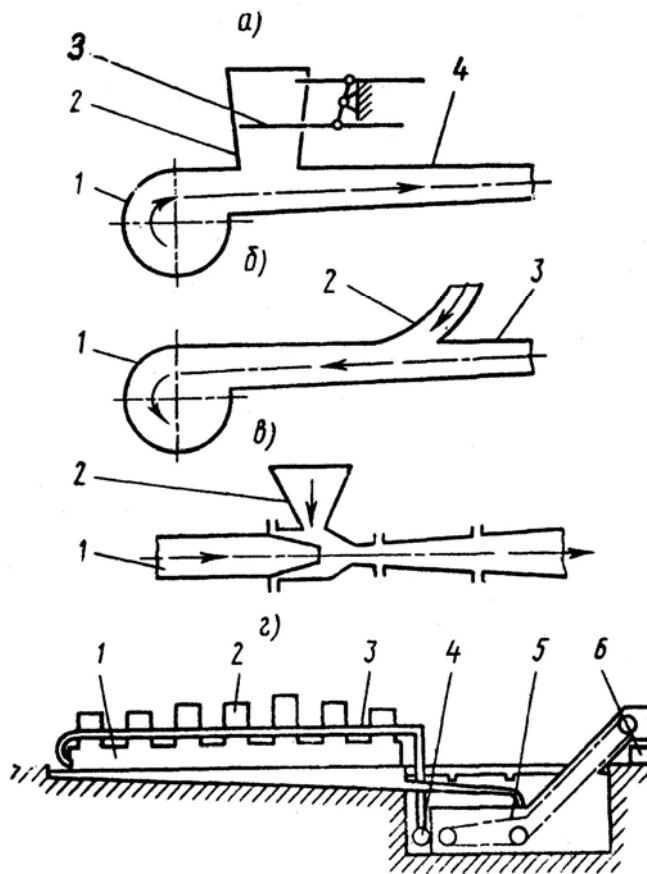


Рисунок 4.32 – Пневматичні пристрої для транспортування стружки

Нагнітальній системі (рис. 4.32, а) стружка вводиться в трубопровід 4 і коронки 2 за допомогою шлюзового затвора 3, що перешкоджає проходу повітря в норонку. Повітряний потік, створюваний повітрянадувним пристроєм 1, захоплює стружку по трубопроводу 4. Повітряний потік працює є надлишковим тиском 0,03...0,04 МПа і з швидкістю 25 м/с.

У всмоктувальній системі (рис. 4.32, б) стружка всмоктується через воронку 2 за допомогою повітряного потоку, створюваного в трубі з вакуумнасосом або вентилятором. Потік повітря створюється за рахунок разрідження до 0,055 МПа і його швидкість досягає 25...65 м/с.

У всмоктувально-нагнітальній системі (рис. 4.32, в) стружка всмоктується з воронки 2 за рахунок разрідження, утвореного потоком повітря 1, що нагнітається.

Видалення стружки за допомогою пневматичних пристроїв особливо рекомендується застосовувати на виробництвах, де в процесі обробки заготовок утворюється пилеподібна стружка.

**Гідралічні пристрої.** Застосовують на виробництвах для транспортування стружки (рис. 4.32, г). В цих умовах стружка з кожного верстата 2 змивається сильним струменем змащувально-охолоджувальної рідини і надходить в загальний жолоб, по якому рухається в збірник 5. В збірнику 5

змащувальню-охолоджувальню рідина відділяється від стружки і подається насосом 4 по трубі 3 назад до верстатів. Стружка конвеєром виноється в тару 6.

В діючих автоматичних лініях застосовуються комбінації різноманітних типів пристроїв для видалення стружки.

### 4.3 Транспортні пристрої гнучких виробничих систем (ГВС)

Найбільше розповсюдження в ГВС отримали транспортні пристрої у вигляді роликів конвеєрів, підвісних конвеєрів, рейкових візків, візків з ланцюговим приводом, самохідних візків.

**Роликові конвеєри.** Застосовуються в ГВС, компоновка яких відносно нескладна, потоки заготовок, що обробляються, прямолінійні, довжина транспортування відносно коротка.

**Рейкові візки.** Використовуються в ГВС, в яких металорізальні верстати розташовуються прямолінійно в одну або декілька паралельних ліній з великим потоком заготовок, що обробляються.

**Самохідні візки.** Це транспортні візки з автономним електроприводом, що переміщуються по спеціальній трасі. Спостереження за трасою здійснюється за допомогою фотоелектричної або електромагнітної системи керування. При фотоелектричній системі керування спостереження за трасою ведеться з допомогою світловодів. Світловоди складаються з білої смуги на підлозі (фарба або світлий метал) і фотостежної лінійки. Найбільше розповсюдження отримала електромагнітна система керування, що спостерігає за трасою за допомогою електричного кабелю. Кабель вкладається під підлогою на трасі руху і по ньому пропускається змінний струм певної частоти, що створює електромагнітне поле. Давачі візка фіксують електромагнітне поле. Самохідні візки отримали широке розповсюдження. Вони дозволяють підвищити гнучкість всієї транспортної системи при різноманітних схемах компоновки ГВС.

Самохідні візки бувають, в основному, трьох типів. Найпростіші з них – візки з нерухомою платформою. Завантаження і розвантаження їх здійснюються за допомогою стаціонарних підйомних столів або промислових роботів. Другий тип візків має підйомний стіл, за допомогою якого вантаж забирається з двотумбових підставок. Візок заїжджає в проміжок між стійками, стіл піднімає вантаж з підставок і увозить його в задане місце. При вивантаженні візок вїжджає в проміжок між стійками і стіл опускає вантаж на них. Більш досконалі і мобільні візки третього типу, на платформі яких розташовується маніпулятор. Такі візки мають більші технологічні можливості. Вони здатні здійснювати завантаження на платформу як окремих вантажів, так і тару з вантажем, розвезити їх у відповідності і програмою і вивантажувати в заданому місці.

Прикладом самохідного візка третього типу може слугувати транспортний візок з маніпулятором типу МН-12Т. Вік складається з рухомої вантажної платформи на чотириколісному шасі, промислового робота з бортовою мікроЕОМ типу 'Електроніка-60". Траса руху виконана в вигляді світловода з білої смуги. Спеціальні фотоелектричні давачі стежать за смугою. В передній частині рухомої платформи, встановлюється пристрій, що забезпечує безпеку руху, праворуч на борту платформи розташовуються давачі розпізнання об'єкта і корекції.

Залежно від траєкторії руху самохідні візки діляться на три типи. Перший тип візків переміщується в одному напрямку. При цьому завантаження і розвантаження здійснюються при його відході від проїжджої частини заднім ходом на кожену позицію. Транспортна платформа має одне ведуче колесо і два ведених. Ведуче колесо оснащено двома електродвигунами (рис. 4.33). Двигун  $M_1$  служить для передачі руху ведучому колесу. Стежачий привод  $M_2$ , одержуючи сигнал від давача 2, завертає ведуче колесо 3 навколо вертикальної вісі, змушуючи його слідувати по заданій траєкторії, що задається ходовим проводом 1. Другий тип візків має можливість рухатись в головному напрямку вперед і назад з однаковою швидкістю. За своєю конструкцією платформа візка симетрична і розташована на двох ведучих і двох ведених колесах. Третій тип візків пересувається в головному напрямку вперед і назад з однаковою швидкістю і пониженою швидкістю в поперечному напрямку. Платформа візка розташовується на двох ведучих і двох ведених колесах. Даний тип візків використовується, в основному, в якості автоматичної складальної платформи в гнучких складальних системах.

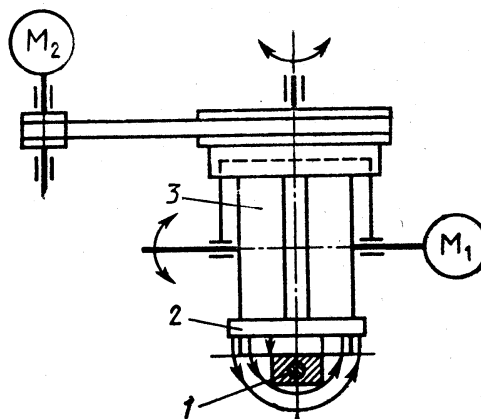


Рисунок 4.33 – Привід транспортної платформи

З цих типів самохідних візків найбільше застосування знаходить другий, що має два ведучих і два ведених колеса. Принцип його дії наступний (рис. 4.34). Кожне ведуче колесо візка оснащено своїм приводом постійного струму  $M_1$  і  $M_2$  з блоками керування. Котушки (ліва і права) давача стежать за ходовим проводом, по якому протікає незначний змінний струм.

Якщо траєкторія ходового проводу, прокладеного під підлогою, прямолінійна, то в лівій і правій котушках індукуються напруги, рівні між собою. В цьому випадку програма пуску через блоки керування електродвигунами  $M_1$  і  $M_2$  задає однакові частоти обертання.

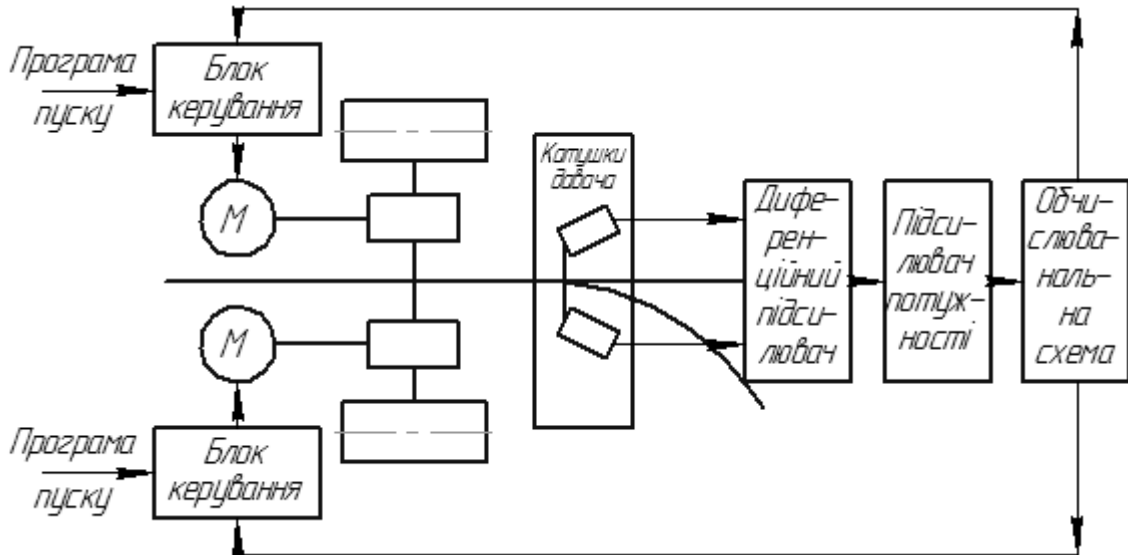


Рисунок 4.34 – Блок-схема самохідного візка II типу

Внаслідок цього здійснюється прямолінійне переміщення візка зі швидкістю, що задається за програмою. На криволінійній ділянці траєкторії, напруга, що індукується в правій котушці давача стає більша, ніж в лівій. Цей розбаланс напруг надходить в диференціальний підсилювач, підсилювач потужності і обчислювальну схему. Обчислювальна схема обробляє цей сигнал таким чином, що подається команда в блок керування електродвигуном  $M_2$  зменшити частоту обертання правого ведучого колеса пропорційно розбалансам індукованих напруг. При цьому частота обертання електродвигуна  $M_1$  підтримується на рівні, заданому програмою завдання швидкості.

Для керування швидкістю переміщення візка, його зупинкою, зміною напрямку руху використовується програмне забезпечення.

Програмне забезпечення складається з кодових плит, що встановлені на підлозі. В кодових плитах застосовують постійні магніти, розташовані в певній послідовності. При надї візка на кодові плити приймальний пристрій виявляє їх і зчитує інформацію про розташування і розміри. На основі цієї інформації блок керування візка формує команди керування на вибір маршруту, швидкості руху, поворотів та ін.

Для керування вибором маршруту візка застосовується і система зовнішнього керування від ЕОМ. В цьому випадку під підлогою розташовується декілька ходових проводів. Візок стежить за тим ходовим проводом, що в даний момент живиться струмом.

Транспортні системи з самохідними візками дозволяють вивільнити 30 ... 40% водіїв міжцехового транспорту, підвищити інтенсивність і організованість міжопераційних, міждільничих і міжцехових переміщень шнпнпжії, значно скоротити чисельність робочих на завантажувально-роінаїггижувальних операціях.

#### **4.4 Промислові роботи**

Промисловий робот (ПР) це машина-автомат, що призначена для відтворення деяких рухових функцій людини при виконанні допоміжних і основних виробничих операцій і має деякі здібності людини (силу, пам'ять), а також спроможність до навчання для роботи в комплексі з іншим обладнанням і пристосуванням в виробничому середовищі. Робот складається з маніпулятора, системи програмного керування (ПК) і інформаційної системи.

Маніпулятор – обладнання, що призначене для виконання рухових функцій, аналогічних функціям руки людини при переміщенні тіла в просторі, керується оператором або діє автоматично.

Система ПК – це сукупність засобів, призначених для формування і видачі керуючих дій маніпулятору в відповідності з заданою програмою.

Інформаційна система складається з технічних засобів, що забезпечують отримання, перетворення, обробку і передачу інформації про стан ПР і зовнішнього середовища.

ПР можна умовно класифікувати за такими ознаками: призначенням, спеціалізацією, конструкцією, вантажопідйомністю, типом приводу, типом системи керування, способом програмування, системою координат, конструкцією маніпулятора, мобільністю (рис. 4.35).

За призначенням ПР можна умовно поділити на два основних види: виробничі і транспортні. Виробничі роботи застосовуються для виконання технологічних операцій різних видів виробництв - ливарного, ковальсько-пресового, штампувального, зварювального, механооброблювального, складального, фарбувального. Транспортні роботи використовуються для міжопераційної передачі заготовок, для автоматичного завантаження і розвантаження різноманітного металооброблювального обладнання, для завантаження готових виробів у тару та їхнього складування.

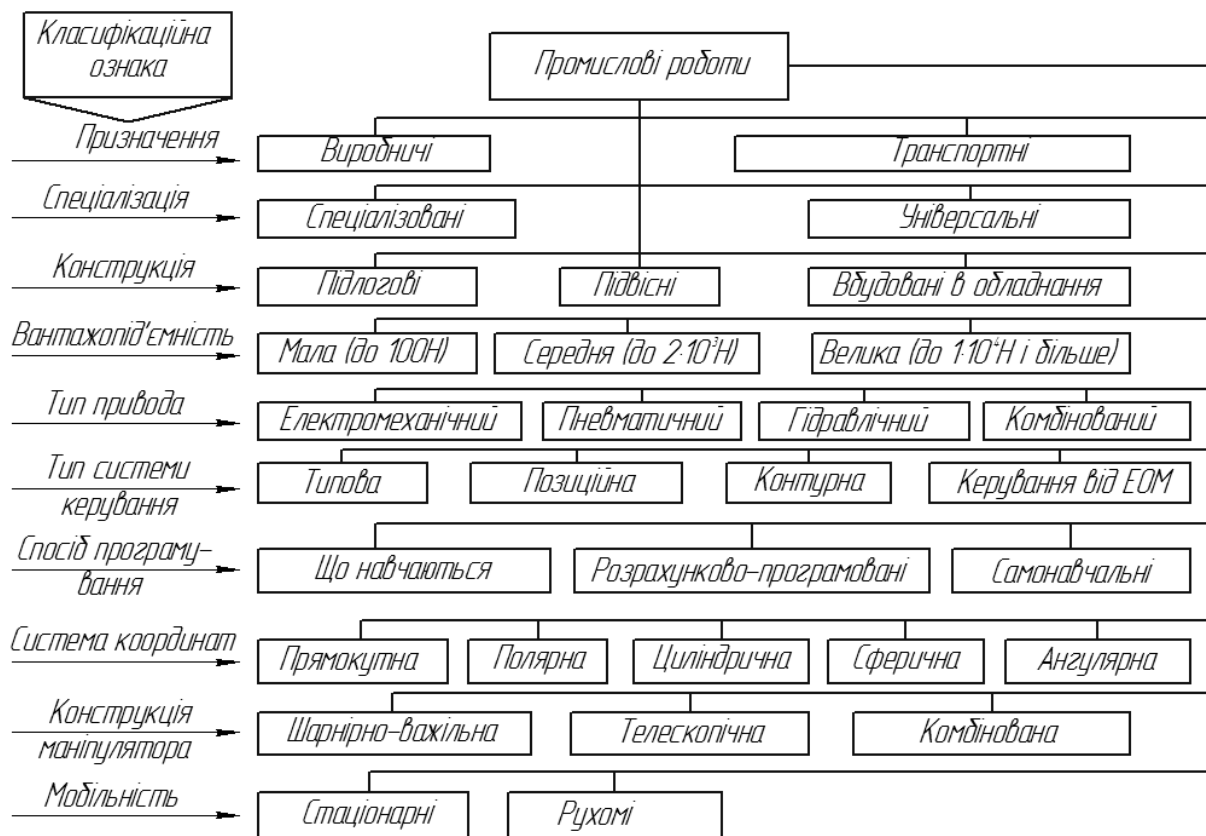


Рисунок 4.35 – Класифікація промислових роботів

Роботи можуть бути спеціалізованими і універсальними. Спеціалізовані роботи призначені як для цільового виконання певних технологічних операцій (фарбування, зварювання, шліфування), так і для допоміжних робіт по обслуговуванню металорізальних систем, автоматизованих технологічних комплексів, гнучких виробничих систем. Універсальні роботи призначені для виконання основних, допоміжних, транспортних і інших робіт в різних видах машинобудівного виробництва.

В залежності від конструкції ПР діляться на наземні, підвісні та вбудовані в обладнання.

Однією з головних характеристик ПР є його вантажопідйомність, вантажопідйомність робота характеризується загальною найбільшою масою заготовок, з якою він здатний оперувати в будь-якому положенні робочих органів при найбільшій швидкості руху.

Рухи робочих органів робота можуть здійснюватися від механічного, електричного, гідравлічного, пневматичного приводів або їх комбінацій.

Кожний з них має свої переваги і недоліки. Тип приводу вибирають в залежності від призначення робота і умов його експлуатації.

Системи керування ПР здійснюють формування логічної послідовності виконання операцій їхніми робочими органами по заданих параметрах, запам'ятовування просторових координат при виконанні кожної окремої

операції і їхнє корегування при відступі від заданих параметрів. Для роботів першої генерації отримали розповсюдження позиційні і контурні системи програмного керування, для роботів другої генерації - системи керування від ЕОМ.

За способом програмування переміщень розрізняють три варіанти ПК роботом:

- з програмуванням шляхом навчання, при якому оператор заздалегідь з допомогою спеціального пульта керування виконує необхідні дії маніпулятора, вручну задає їхні параметри, а після цього вводить в запам'ятовувальній пристрій ПК;

- з розрахунковим програмуванням, при якому керуюча програма підготовлюється за заздалегідь відомою вхідною інформацією і запам'ятовується в пам'яті пристосування ПК;

- з самонавчанням.

Система координат ГР визначає кінематику основних рухів механічної системи робота і форму робочої зони. При виборі кінематичних схем використовуються такі системи координат: прямокутна, полярна, циліндрична, сферична, ангулярна (кутова).

В залежності від конструкції маніпулятора ПР бувають з шарнірно-важельними, з телескопічними та комбінованими маніпуляторами.

Під мобільністю слід розуміти спроможність робота в цілому здійснювати переміщення в просторі. В залежності від мобільності роботи діляться на: стаціонарні (наземні, підвісні), пересувні наземні (по рейках, на катках) і підвісні (на балках, на монорейках). Найбільш часто застосовуються стаціонарні роботи, що обслуговують площу з радіусом дії 1000...2600 мм. Для розширення зони дії застосовуються пересувні наземні роботи. Такі роботи водночас обслуговують групу металорізальних верстатів. З метою економії виробничих площ і для ряду типів металорізального обладнання вигідно і більш зручно застосовувати підвісні роботи.

Важливі технічні характеристики ПР: число степенів рухомості, кількість механічних рук і похибка позиціонування. Числом степенів рухомості ПР називається число ступенів вільності ланок кінематичного ланцюга відносно ланки, прийнятої за непорушну. Слід вважати, що достатньо універсальними є такі роботи, що мають 5...7 степенів рухомості, включаючи пристрої пересування. Роботи з більшою кількістю степенів рухомості є високоманевреними і застосовуються, в основному, для складальних робіт, роботи з меншою кількістю степенів рухомості мають спеціальне призначення. Механічна рука ПР являє собою багатоланковий розімкнутий механізм, що закінчується робочим органом в вигляді схвата. Більшість ПР мають одну механічну руку, але є роботи, оснащені двома, трьома і більше механічними руками. Похибка позиціонування робота визначає ступінь точності руху його робочих органів при багаторазовому переміщенні деталей певної маси в задане положення. На точність позиціонування, в основ-

ному, впливають вантажопідйомність, конструкція і кінематика робочих органів, тип приводів і системи керування.

#### 4.4.1 Кінематика і привод маніпулятора

З великого різномайття структур маніпуляторів можна виділити дві основні: маніпулятор, що має поворотну колону на підставці, яка несе механічну руку з захватом (рис. 4.36, а); маніпулятор, що має поворотний корпус з висувною механічною рукою з захватом (рис. 4.36, б).

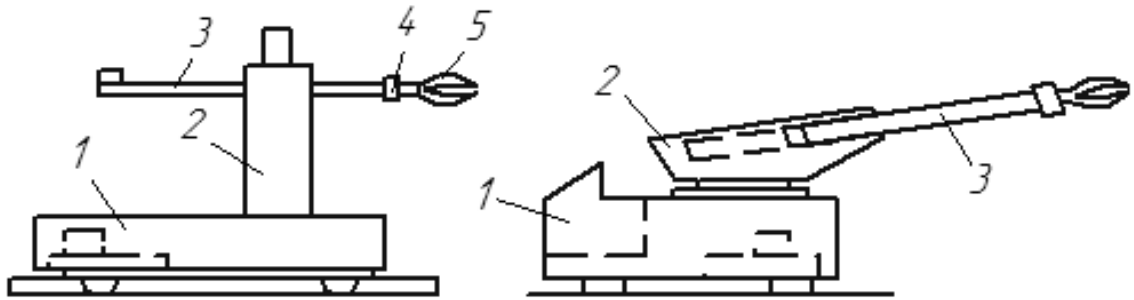


Рисунок 4.36 – Типові структури маніпуляторів

У маніпуляторів першого типу просторові переміщення заготовок здійснюються за рахунок переміщень станини 1, колони 2, механічної руки 3 і кисти 4 з захватом 5. У маніпуляторів другого типу, що мають поворотний корпус 2, який сидить на станині 1, механічна рука 3 має можливість обертатися навколо вертикальної і горизонтальної вісей і переміщуватися вздовж своєї вісі.

Розглянувши основні структурні схеми маніпуляторів, видно, що кінематика маніпулятора залежить від кінематики станини, руки і схвата. Кількість степенів рухомості, що забезпечують переміщення всього робота, складає кінематику станини. Для більшості існуючих конструкцій роботів вважається достатнім, якщо підставка має один степінь рухомості, що дозволить переміщувати робот від верстата до верстата.

Кількість степенів рухомості, що забезпечують просторове переміщення механічної руки при непорушній станині, складає її кінематику. Механічна рука з заготовкою переміщується в робочій зоні, як правило, за наявності трьох степенів рухомості. Подальше збільшення степенів рухомості не змінює характер робочої зони, а покращує тільки мобільність робота. У роботів з прямокутною системою координат (плоска і просторова) механічна рука робить два або три зворотно-поступальних рухи по вісях  $X$ ,  $Y$  і  $Z$ . Перевага такої кінематичної схеми – можливість збереження положення, в якому зорієнтована заготовка в процесі її переміщення.

Плоска полярна система координат характеризується обертанням механічної руки навколо однієї з вісей. У роботів з циліндричною системою координат механічна рука робить два зворотно-поступальних рухи і один



обертальний. Обертальний рух навколо осі може здійснюватися на  $360^\circ$  і менше. Поєднання одного зворотно-поступального і двох обертальних рухів в двох взаємно перпендикулярних площинах дає можливість механічній руці переміщувати заготовку в об'ємно-сферичній зоні.

Ангулярна (кутова) система координат характеризується тим, що переміщення схвату здійснюється за рахунок відносних кутових поворотів ланок механічної руки, що має постійну довжину. Поєднання трьох обертальних рухів в сферичній системі координат дозволяє механічній руці з захватом переміщуватися по багатьох сферичних поверхнях, що утворені з різних центрів.

Тип системи координат, по яких переміщуються робочі органи робота, і число степенів рухомості чинять безпосередній вплив на об'єм простору, що обслуговується. Якщо за одиницю прийняти рух в системі прямокутних координат (при одній степені рухомості), то об'єм простору, що обслуговується зростає при переміщенні в системі циліндричних координат в 9,6, полярних – в 29,7, в сферичних – в 87,2 рази.

Для повного використання всіх ланок і степенів рухомості робота, в залежності від системи координат, рекомендуються такі співвідношення між кількістю ланок  $m$  кількістю степенів рухомості  $n$ . Для прямокутних координат  $m = n - 3$ , для циліндричних  $m = n - 2$ , для полярних  $m = n - 1$ , для сферичних  $m = n$ .

Кінематика кисті залежить від кінематики руки. Обертальні рухи руки робота змінюють орієнтування заготовок, що переміщуються в просторі. Для орієнтування заготовок в просторі в необхідне положення необхідно, щоб кисть мала стільки ж обертальних рухів, скільки і рука. Кінематика кисті повинна забезпечувати і виконання поворотів заготовок, що вимагаються по ходу виконання технологічного процесу.

Універсальними промисловими роботами вважаються такі, у яких станина нерухома або має один степінь рухомості, рука – три степені рухомості, кисть – дві-три степені рухомості

**Типові механізми маніпуляційної системи ПР.** До типових механізмів маніпуляційної системи (МС) належать тягові (передавальні), перетворювальні, демпферні (гальмівні), з'єднувальні, напрямні, зрівноважувальні та захватні пристрої

Тягові (передавальні) пристрої здійснюють передавання на відстань сформованого задавальним органом руху з передаточним відношенням  $K \approx 1$ . До таких пристроїв належать: тяги; важільні, гнучкі передавальні механізми, (тросові, стрічкові, кулькові, ланцюгові); шківи.

Перетворювальні пристрої призначені для перетворення одного виду руху в інший – поступального в обертальний і навпаки (наприклад, зубчасто-рейкові, кулькові, гвинтові), або для перетворення характеристики руху ( $K \neq 1$ ) без зміни його виду (наприклад, зубчасті, черв'ячні, хвильові передачі).

Демпферні пристрої забезпечують зміну характеристики руху (наприклад, швидкості) при підході рухомої ланки (робочого органу ПР) до точки позиціонування. За виконанням вони можуть бути механічними (пружини), електромагнітними, пневматичними, гідравлічними та комбінованими.

З'єднувальні пристрої забезпечують підключення джерела руху до переміщуваних елементів (як правило, з'єднувальні муфти різного виконання, байонетні механізми тощо). Для стаціонарного закріплення елементів МС використовуються фланці, рознімні з'єднувачі.

Напрямні пристрої та опори кочення призначені для забезпечення рівномірності руху і точності встановлювальних переміщень елементів МС. Як напрямні для ПР найчастіше застосовуються циліндричні, призматичні та плоскі кулькові напрямні з поворотом тіл кочення, а також із сепаруванням роликів тіл обертання. Як опори для обертального руху виконавчих пристроїв використовуються радіальні, радіально-упорні та упорно-радіальні й кулькові й роликові підшипники спеціального виконання.

Зрівноважувальні пристрої забезпечують рівномірне навантаження елементів МС при змінах режимів роботи ПР або розвантажують МС з метою підвищення точності відпрацювання програмних переміщень та чутливості до них. Зрівноважування окремих вузлів МС може здійснюватись пружинами чи симетричним навантаженням, розташуванням рушійних систем з приводами на основі, а також використанням додаткових приводних систем, які зрівноважують переміщуваний вузол МС.

Захватні пристрої разом з модулями локальних рухів (поворот, коливання кисті, технологічні переміщення хватних пристроїв та інструменту) утворюють технологічну систему ПР. Захватні пристрої можуть виконувати функції захвата, утримування, центрування, орієнтування, а у ряді випадків (при оснащенні відповідними сенсорними засобами) і контролю параметрів, положення та класу об'єктів виробництва.

Рухи кінематичних ланок промислових роботів здійснюються механічними, електричними, пневматичними, гідравлічними приводами з їхніми комбінаціями – електромеханічним, пневмогідравлічним. Кожний з цих приводів має свої переваги і недоліки. На вибір типу приводу основний вплив робить призначення робота і умови його експлуатації. Електричний привод має широкий діапазон вантажопідйомності (від часток до сотень кілограмів), забезпечує гарні динамічні характеристики, підвищену точність позиціонування (менше  $\pm 1$  мм), широку маневреність, пристосованість до застосування систем числового керування. Для приводів використовуються електродвигуни змінного і постійного струму, крокові, з тиристорним керуванням і ін. Найчастіше застосовують електродвигуни постійного струму дискового типу, що мають систему сильного магнітного поля. Приблизно 8% роботів мають електричний привод постійного струму і крокові двигуни. Для передачі руху від електродвигуна на кінематичні ланки робота використовуються механічні передачі. В якості механічних

передач використовуються зубчасті, черв'ячні, рейкові, ланцюгові і важільні передачі. Вони дозволяють перетворювати та редукувати рухи, роблять робот більш компактним. Електромеханічний привод в ПР розташовується або безпосередньо на станині або безпосередньо на кінематичних ланках (руці, кисті, захваті). Кожний з цих способів має свої переваги і недоліки. Недоліки електричного приводу:

- застосування високооберткових електродвигунів вимагає складних передавальних механізмів; менші швидкості переміщення ланок робота у порівнянні з пневматичним приводом.

Типовими представниками ПР з електромеханічним приводом є роботи МП-1, МП-4, "Універсал-5. 02".

Пневматичний привод знайшов розповсюдження для роботів малої вантажопідйомності (до 5... 10 кг). Він дозволяє мати високі швидкості руху ланок до 2 м/с. Конструкція пневматичного приводу простіша і надійніша в експлуатації у порівнянні зі всіма іншими видами приводів. Вартість пневматичних приводів при інших рівних умовах звичайно в 2...3 рази нижче, ніж гідравлічних. Однак пневматичні приводи мають ряд недоліків:

- м'яка механічна характеристика, що ускладнює створення замкнених систем керування по положенню або переміщенню;
- вимагає спеціальних гальмівних пристроїв;
- налагодження точних значень швидкостей ланок ускладнена та ін.

Пневматичний привод має багато спільного з гідравлічним, але відрізняються від останнього тим, що не має зворотних трубопроводів, має меншу чутливість до зміни температури і працює в основному на тиску не більше 0,6 МПа. Пневматичний привод складається з пневматичних двигунів, розподільвачів і регулювальної апаратури, блока живлення. Пневматичні двигуни застосовуються двох типів: пневмоциліндри і пневмотори. Найчастіше застосовуються пневмоциліндри. При проектуванні пневмоциліндра визначається діаметр циліндра, прохідні перетини трубопроводу і іншої апаратури. Задавшись довільним значенням площі поршня пневмоциліндра, що повинно бути більше мінімального значення, яке визначається з умов отримання достатньої рушійної сили для подолання сил опору, можна забезпечити рух поршня з заданою швидкістю шляхом підбору ефективних прохідних перетинів на вході і виході пневмоциліндра.

Швидкість маніпулювання в пневматичних ПР досить висока, тому важливо забезпечити гальмування виконавчого органу для забезпечення зупинки в заданому положенні. Гальмування штока пневмоциліндра можна забезпечити пневматичним дроселюванням, демпферами пружинного і гідравлічного типів, зустрічним тиском. Згідно з зарубіжними даними біля 40% роботів вантажопідйомністю до 5 кг мають пневматичний привід. ПР з пневматичними приводами – МП-3, МП-5, МП-9, ПГ-10, "Циклон 3-01".

Гідравлічні приводи застосовуються для роботів з вантажопідйомністю більше 10 кг. Гідравлічний привод має низку переваг: велику потужність

при малих габаритах, широкий діапазон безступінчастого регулювання швидкості, плавність реверсування, підвищену точність позиціонування. Він знаходить переважне застосування для роботів підвищеної вантажопідйомності і з великою зоною обслуговування. Наприклад, в Швейцарії створений робот з вантажопідйомністю 1500 кг, висота підйому вантажу 6 м, механічна рука має виліт 5 м ігри швидкості її руху 1 м/с.

Гідравлічний привод ПР стежачого типу складається з гідродвигуна, електрогідравлічного підсилювача і давача положення. Технічні характеристики стежачих приводів ПР наведені в спеціальній літературі. В якості гідродвигунів застосовуються силові циліндри, гідромотори і неповнообертотві двигуни. Основні недоліки гідроприводу: чутливість до зміни температури навколишнього середовища, витік робочої рідини, висока кваліфікація обслуговуючого персоналу та ін. ПР з гідравлічним приводом "Універсал - 15", СМ40Ц4031, СМ80Ц2501А, СМ160Ф20501.

#### 4.5 Пристрої автоматичної зміни інструменту (АЗІ)

В автоматизованих верстатах, особливо з ЧПК, при здійсненні обробки деталей послідовно рядом різних інструментів для зменшення допоміжного часу широко застосовують різні АЗІ. Вони дозволяють також автоматично проводити зміну затупилось інструменту. У загальному випадку АСІ містять накопичувачі інструментів (багатопозиційні різцетримачі, револьверні головки, інструментальні магазини); автооператори (маніпулятори) з захватними пристроями для зняття і установки інструменту в шпindelь верстата; транспортують і за режимних пристрої, об'єднані загальною системою управління.

АЗІ повинні мати необхідну для обробки найбільш складних деталей кількість інструменту, забезпечити мінімальний час для його зміни, бути простими по конструкції, безпечними в роботі, володіти високою надійністю, забезпечувати зручність завантаження і високу точність позиціонування інструмента в шпindelі верстата.

Найбільш складними за конструкцією є АЗІ для верстатів з ЧПК, особливо багатоопераційних (БВ).

**АЗІ багатоопераційних верстатів.** АЗІ укрупнено можна розділити на три групи: з інструментом, постійно закріплений в шпindelьних вузлах, встановлених в гніздах револьверної головки; зі зміною інструменту в шпindelі верстата і комбіновані.

У пристроях АЗІ з *інструментом постійно закріплених в шпindelьних вузлах* кожен з шпindelів зі своїми опорами робочої позиції отримує обертання від головного приводу. Револьверна головка, подібна головкам токарно-револьверних верстатів, встановлюється на вертикально переміщається каретці, яка для зміни інструменту (шляхом поворот а револьверної го-

ловки) зміщує ся в крайнє верхнє положення. При такому рішенні відпадає необхідність в наявності спеціальних автооператорів і транспортних пристроїв, забезпечується мінімальне (2 ... 3 с) час зміни інструменту. Однак у цьому випадку при прийнятних габаритах вузла кількість вживаного інструменту обмежена (зазвичай 7 ... 8 інструментів); необхідність повороту револьверної головки вимагає її відводу і обмежує робочий простір верстата, не забезпечується висока жорсткість конструкції і установки шпиндельний вузлів. Інколи для збільшення кількості інструменту, що використовується, розширення зони обробки змінні шпиндельні вузли з горизонтальною віссю встановлюються в спеціальних поворотних дискових магазинах. Після повороту магазину черговий шпиндельний вузол приєднується до приводу головного руху і здійснюється рух поздовжньої подачі. Але і в цьому випадку точність обробки залежить від точності фіксації різних шпиндельних вузлів, збільшується маса і габарити АЗІ, його вартість.

*Пристрої для зміни інструменту в шпинделі верстата* розрізняються видом магазину, його розташуванням, а також наявністю і видом автооператора. Але незалежно від типу АЗІ для автоматичної зміни і закріплення в шпинделі верстата різних за функціональним призначенням і розмірам ріжучих інструментів їх встановлюють поза верстата в спеціальних стандартних інструментальних оправках. На більшості верстатів використовують оправки з конічним хвостовиком з конусністю 7:24, що дозволяє легко (за відсутності самогальмування) діставати їх при зміні зі шпинделя і гнізд магазину. У шпинделі верстата оправка (рис. 4.37, а) при затисканні зтягується за допомогою ввернутого в неї хвостовика 7; на циліндричному фланці 2 виконується кільцева канавка 4 трикутної або прямокутної форми, за допомогою якої оправка захоплюється губками автооператора. Передача крутного моменту від шпинделя на оправку здійснюється торцевими шпонками за допомогою радіальних пазів 3. Наявність пазів на оправці вимагає попередньої орієнтації оправок при їх установці в гнізді магазинів-накопичувачів, а також орієнтованого кутового положення шпинделя верстата при зміні інструменту. Для скорочення номенклатури оправок розроблені уніфіковані інструментальні комплекти допоміжного інструменту БВ. Схема будови такого комплекту показана на рис. 4.37, б. Комплект складається з різних основних оправок 2, що закріплюються в шпинделі верстата 7, перехідних втулок або оправок 5, різних патронів 4, що дозволяє закріплювати ріжучий інструмент 3 різного типу і розміру.

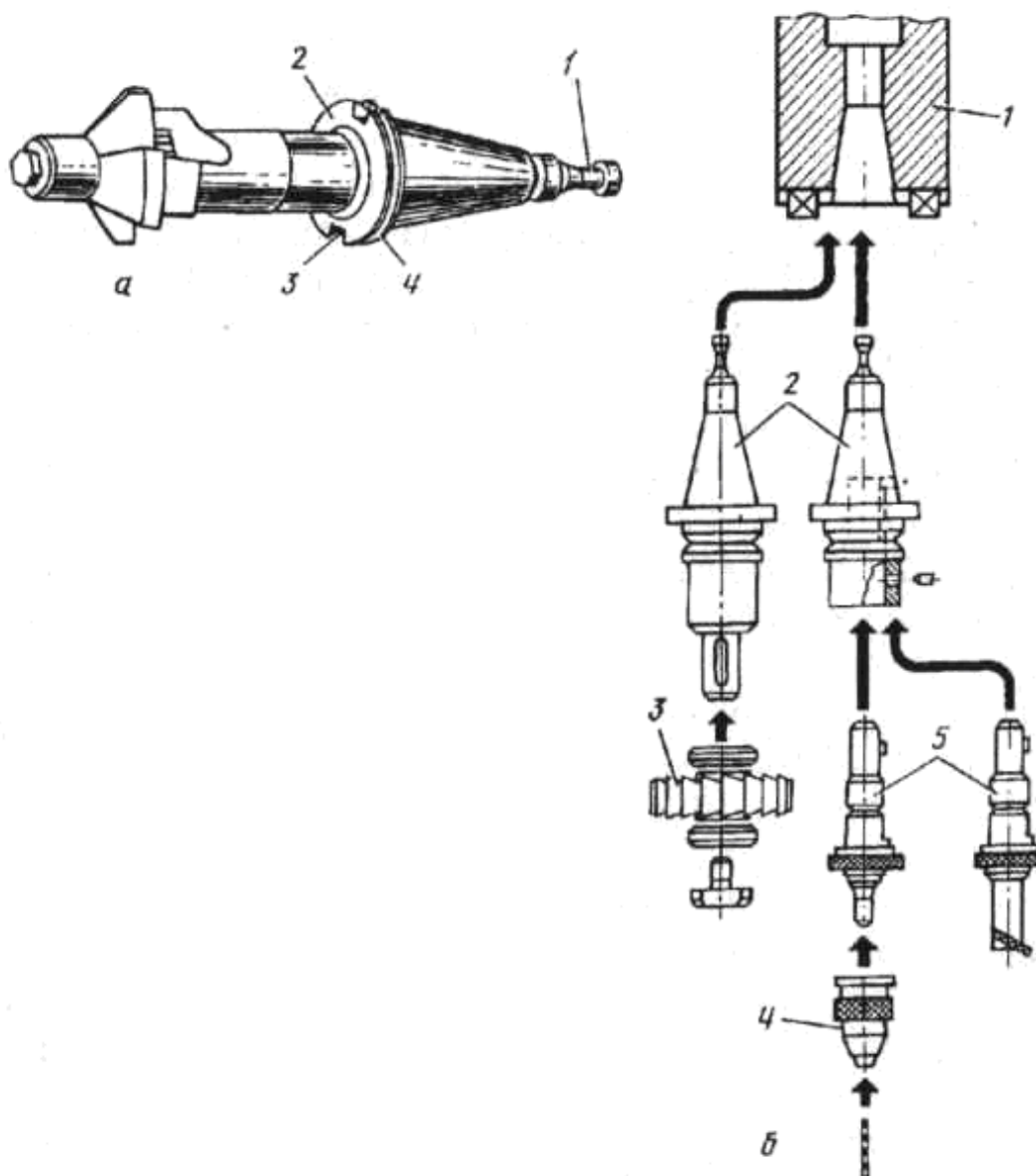


Рисунок 4.37 – Схема побудови інструментального комплексу для багатоцільових верстатів: а – інструментальна оправка з конічним хвостовиком; б – загальна схема комплексу

Необхідність заміни ріжучого інструменту разом із допоміжним створює свої проблеми, так як збільшуються габарити і вага накопичувачів – магазинів. При значній масі оправок зростають вимоги до затискних пристроїв захоплення автооператорів, обмежуються швидкості транспортування. Тому останнім часом розробляються системи інструментальної оснастки, що дозволяють для зміни інструмента змінювати лише інструментальні головки, а допоміжні оправки закріплювати постійно в шпинделі верстата.

Інструментальні магазини призначені для розміщення необхідної кількості інструментальних оправок і для їх транспортування в позицію перевантаження в шпindel.

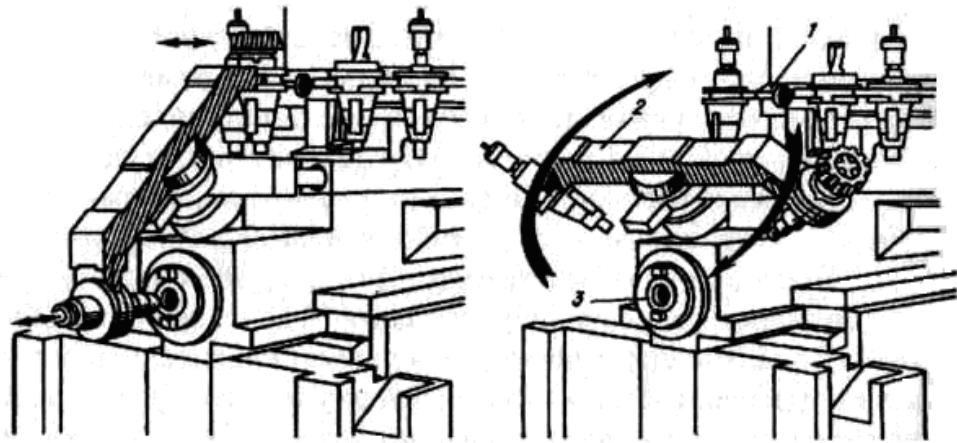
При порівняно невеликому числі інструментів використовують простіші і компактні дискові магазини з горизонтальною або вертикальною осями обертання. При великому числі інструментів (більше 30 - 40) зазвичай застосовують ланцюгові магазини, так як розміри диска стають занадто великими. Для збільшення ємності АЗІ можуть застосовуватися багато-секційні дискові або ланцюгові магазини.

Магазини можуть бути розташовані безпосередньо на рухомій шпindelній бабці, нерухомо на стійці у верхній її частині або збоку, іноді автономно поруч з верстатом на окремій стійці.

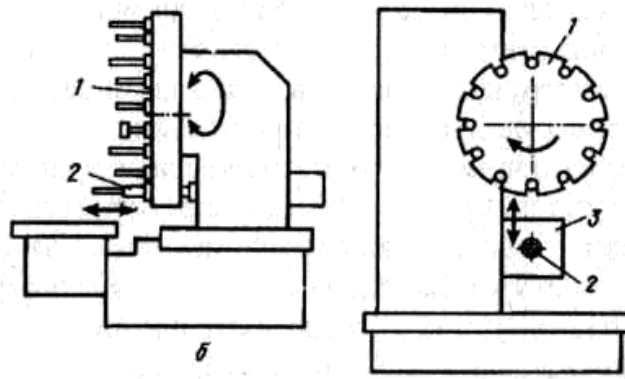
При розміщенні магазину на шпindelній бабці (рис. 4.38, а) забезпечується сталість розташування магазину 1 відносно осі шпинделя 5, що спрощує конструкцію і цикл роботи автооператора 2, зменшує час зміни інструменту. Крім того, зміна інструменту може проводитися без зміщення шпindelної бабки з координати в будь-якій її позиції, забезпечуючи високу точність обробки співвісних отворів. Однак ємність магазину обмежена за габаритними міркуванням, крім того, при цій схемі збільшується маса переміщуваного вузла, що вимагає підвищеної потужності приводу й обмежує швидкості переміщення. Таке рішення зазвичай застосовується в невеликих верстатах. У більшості ж випадків дисковий магазин розташовується на стійці зверху або збоку, що вимагає наявності додаткових рухів шпindelної бабки або автооператора для зміни інструменту. Ланцюгові магазини з числом інструментів до 100 і більше можуть бути встановлені збоку на колоні верстата, однак при більшій кількості інструменту і великій вазі їх зазвичай встановлюють на окремій стійці.

Перевантаження інструменту з магазину в шпindel верстата в ряді випадків може здійснюватися тільки взаємними рухами шпindelної бабки та магазину, без маніпулятора і транспортних пристроїв, що спрощує конструкцію АЗІ і цикл його роботи. На рис. 4.38, б представлена схема верстата, оснащеного дисковим магазином з горизонтальною віссю повороту. Захват інструменту і його переміщення до заготовки через паз магазину 1 здійснюється при поздовжньому переміщенні пінолі шпинделя 2. Розглянутий спосіб зміни інструменту має суттєві недоліки, пов'язані з тривалими несуміщенням допоміжними рухами пінолі, поворотом магазину і порівняно невеликий його ємністю, недостатньою жорсткістю шпindelного вузла при його значному вильоті.

Крім того, інструментальний магазин знаходиться в робочій зоні верстата, що призводить до його забруднення. Для винесення магазину з робочої зони верстата його іноді розміщують збоку (рис. 4.38, б) або зверху. У цьому випадку для зміни інструменту магазин 1 переміщується вниз, і потрібний інструмент встановлюється співвісно шпинделю 2 верстата.

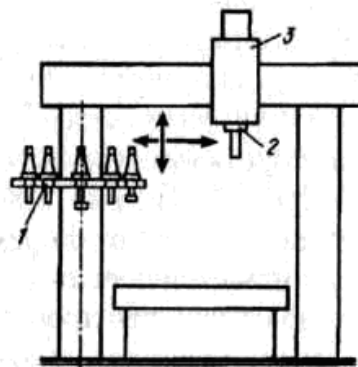


a



b

b



г

Рисунок 4.38 – Пристрої автоматичної зміни інструменту з магазинами: а – магазин встановлений на шпиндельній бабці; б – заміна інструменту при співвісному розташуванні інструменту в магазині і шпинделі; в – заміна інструменту при паралельному розташуванні інструменту в магазині і шпинделі; г – заміна інструменту з лінійним розташуванням інструменту в магазині

При русі шпиндельної бабки 3 вперед відбувається його захоплення. Звільнення відпрацьованого інструменту відбувається шляхом захоплення ін-



струментальної оправки вільним гніздом магазину і відведення назад шпindelної бабки. Іноді інструментальні оправки встановлюються в лінійному магазині 1 на колоні або на столі верстата поза робочою зоною, і зміна інструменту в шпинделі 2 відбувається при поздовжньому переміщенні шпindelної бабки 3 (рис. 4.38, г).

Для скорочення часу зміни інструмента при розташуванні магазину поза робочою зоною застосовують автооператори. АЗІ з автооператором відрізняються великою конструктивною різноманітністю, що визначається різноманіттям інструментальних магазинів, а також їх розташуванням і розташуванням інструментальних оправок в магазині (вертикально, горизонтально, похило).

У верстатах середнього розміру з горизонтальною віссю шпинделя дисковий інструментальний магазин 1 часто розташовують зверху на стійці верстата (рис. 4.39, а).

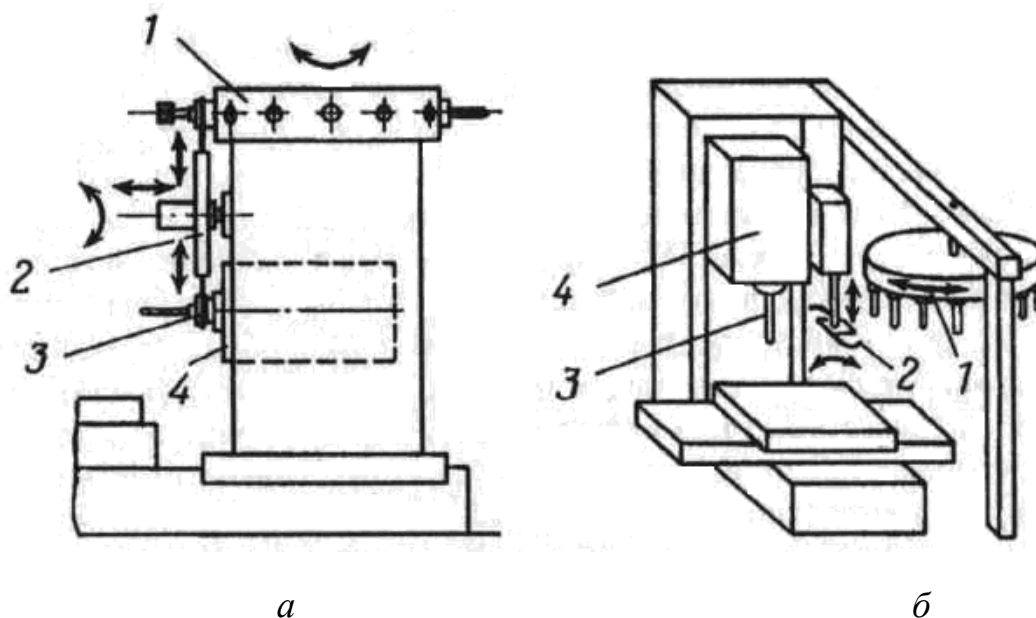


Рисунок 4.39 – Пристрої автоматичної зміни інструмента з автооператорами: а – для верстатів з горизонтальною віссю шпинделя; б – для верстатів з вертикальною віссю шпинделя

Тоді зміна інструменту в шпинделі 3 відбувається в крайньому верхньому положенні шпindelної бабки 4 за допомогою двозахватного автооператора 2, що здійснює по командам ЧПК необхідний цикл рухів. Ходом знизу вгору автооператор захоплює інструментальну оправку в гнізді магазину і рухом вперед витягує її. Далі відбувається зміщення автооператора вниз і повернення уздовж осі у вихідну позицію. Шпindelна бабка піднімається в позицію зміни інструменту, при цьому оправка відпрацьованого інструменту затискається нижнім захватом автооператора. Автооператор

здійснює хід вперед уздовж осі, витягуючи змінювану оправку з шпинделя, поворотом на  $180^\circ$  суміщує з отвором шпинделя нову оправку з інструментом і ходом назад встановлює її в шпindel. Після чого шпindelна бабка зміщується в робочу позицію, а автооператор переміщується вгору для повернення відпрацьованого інструменту в магазин. Поворот магазину для пошуку чергового інструменту відбувається при відведенні автооператора в нижню позицію.

Несуміщений час, що йде безпосередньо на зміну інструменту АЗІ такого типу, у верстаті IP-500 МФ4 становить 6 с, однак загальний час на заміну (від "стружки до стружки") може становити 16 – 21 с в залежності від положення, яке займає шпindelна бабка після закінчення попереднього робочого ходу.

У верстаті з вертикальною віссю шпинделя (рис. 4.39, б) автооператор 2, повертаючись своїми захватами, затискає інструментальні оправки в шпindelі 3 верстата і в магазині 1. При ході вниз автооператор витягує їх з шпинделя та магазину, повертається на  $180^\circ$ , змінюючи оправки місцями, і ходом вгору встановлює нові оправки в шпindel і магазин; потім автооператор повертається в середнє нейтральне положення, що дозволяє шпindelної бабці 4 переміститися до оброблюваної деталі, а магазину – повертатися для пошуку наступного за циклом інструменту.

У розглянутих АЗІ зміна інструменту проводиться тільки в одному певному положенні шпindelної бабки, що збільшує час на зміну інструменту і знижує точність обробки співвісних отворів. Цього недоліку не має АЗІ для важких верстатів з дисковим (рис. 4.40, а) або ланцюговим (рис. 4.40, б) магазином. Автооператор 4 може переміщатися вгору і вниз по стійці верстата, відстежуючи положення шпindelної бабки 2, його захвати 5 висуваються з корпусу для затиснення інструментальних оправок в магазині 3 і шпindelі 1 верстата. Ходом автооператора уздовж осі, що паралельна осі шпинделя (перпендикулярно кресленням), відбувається вилучення оправок з шпинделя верстата і магазину і установка нових оправок.

Заміна відпрацьованого інструменту на новий відбувається поворотом автооператора. Обертання магазину для пошуку інструменту, захоплення і переміщення оправки з магазину, переміщення автооператора в позицію зміни до шпindelної бабки поєднуються з машинним часом. Несуміщеними залишаються тільки захоплення і витягнення з шпинделя оправки з відпрацьованим інструментом, поворот автооператора, введення оправки в шпindel і її звільнення від захвату.

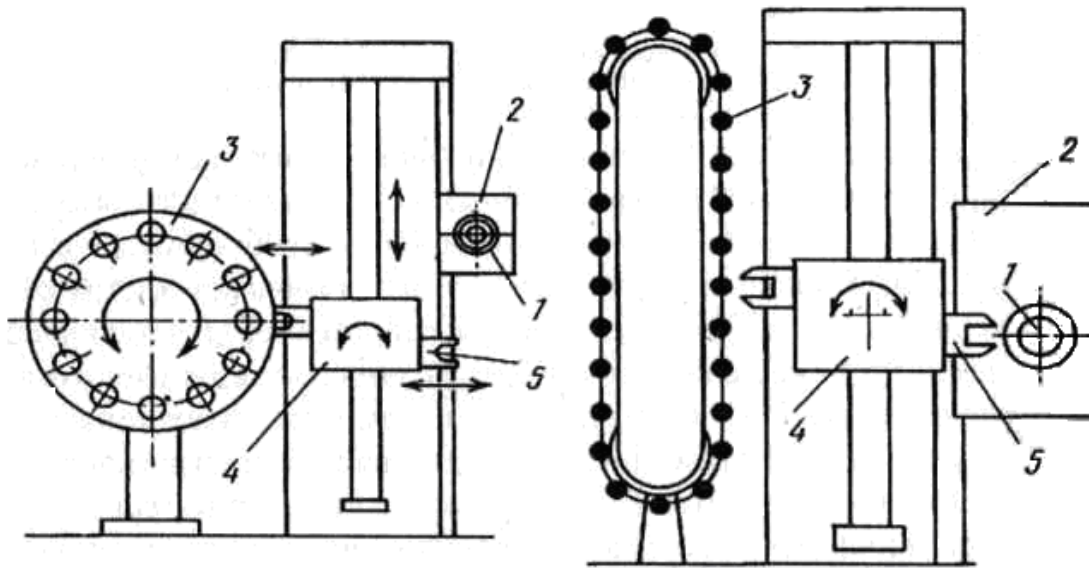


Рисунок 4.40 – Пристрої автоматичної зміни інструмента з автооператором: а – з дисковим магазином, б – з ланцюговим магазином

**Автоматичний пошук інструменту.** Для програмування автоматичної зміни інструменту застосовуються три методи. Якщо при обробці заготовки кожен інструмент використовується тільки один раз і в строгій послідовності, то інструментальні оправки в магазині можна встановити в послідовності, що відповідає технологічному процесу і при кожній зміні інструменту зміщувати магазин на один крок. Але, як правило, кожен з інструментів може застосовуватися кілька разів, а послідовність їх роботи при виготовленні різних деталей змінюється. Тому автоматичний пошук інструменту здійснюють із застосуванням кодування інструментальної оправки, або кодування гнізда магазину. У першому випадку (рис. 4.41) на оправці 1 встановлюються змінні кодові кільця 3, розділені проміжними кільцями 2. При переміщенні магазину кодові кільця тиснуть на кінцеві вимикачі. При наявності потрібної комбінації пристрій ЧПК забезпечує зупинку магазину в позиції, при якій необхідний інструмент знаходиться в позиції перевантаження. Крім кодових кілець можуть застосовуватися кодові гребінки або штифти.

Останнім часом використовується системи з магнітним кодовим носієм, вмонтованим в оправку, і безконтактним датчиком зчитування коду. При кодуванні інструментальних оправок відпрацьований інструмент повертається не в колишнє гніздо, а в гніздо тієї оправки, яка перевантажується в шпиндель, що скорочує загальну тривалість циклу зміни інструменту. При такому методі інструмент можна розташовувати в будь-якому гнізді магазину, що виключає можливість помилок при його завантаженні. Однак цей метод має такі недоліки: істотно ускладнюється конструкція інструментальних оправок: виключається можливість застосування інстру-

менту, діаметр якого перевищує крок між гніздами магазину: так як сусідні гнізда можуть бути зайняті іншими інструментами, ускладнюється пошук потрібного інструменту.

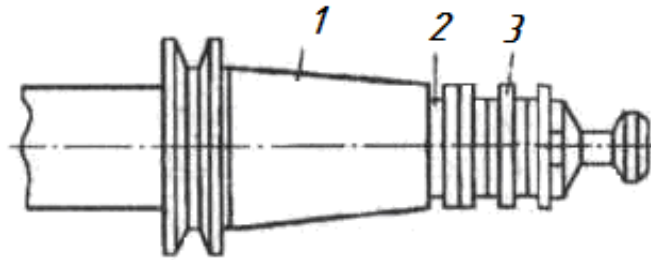


Рисунок 4.41 – Інструментальна оправки з кодovими кільцями

При кодуванні гнізд магазину кожному гнізду присвоюється свій номер, який вводиться в потрібному місці в програму роботи верстата. Тому інструмент (разом з оправкою), узятий з певного гнізда, повинен після використання обов'язково повертатися в колишнє гніздо. Пошук потрібного гнізда здійснюється за допомогою різних датчиків, кінематично пов'язаних з валом магазину (кодovі барабани в поєднанні з мікроперемикачами або датчики типу обертових трансформаторів при стежачому приводі переміщення магазину).

При кодуванні гнізд магазину спрощуються інструментальні оправки і з'являється можливість залишати порожніми гнізда, розташовані поруч з тими, в яких знаходиться великогабаритний інструмент, що розширює технологічні можливості верстата. Однак у цьому випадку ускладнюється цикл зміни інструментів, так як пошук здійснюється двічі: один раз для інструменту, що замінюється, другий для відпрацьованого.

Для виключення цього недоліку в конструкцію механізму вводять додаткові вузли, що дозволяють поєднати час пошуку потрібного інструменту і порожнього гнізда для відпрацьованого інструменту з часом виконання робочих операцій. АЗІ такого виду представлена на рис. 4.42.

Інструментальний магазин 5 оснащується додатковим однозахватним автооператором 4, який після пошуку потрібного інструменту, зміщуючись в радіальному напрямку, захоплює оправку (схема I). Потім осьовим рухом автооператор дістає оправку з гнізда магазину (схема II), переміщує її до суміщення з гніздом 6 позиції очікування (схема III), зворотним осьовим рухом вставляє оправку в гніздо позиції очікування (схема IV) і після фіксації оправки автооператор 4 повертається у вихідне положення. Після закінчення чергового робочого переходу шпиндельна бабка 1 піднімається в позицію зміни інструменту, і основний автооператор 2 повертається, захоплюючи змінювані оправки (схема V), витягує їх з шпинделя 3 та гнізда позиції очікування (схема VI), змінює оправки місцями (схема VII).

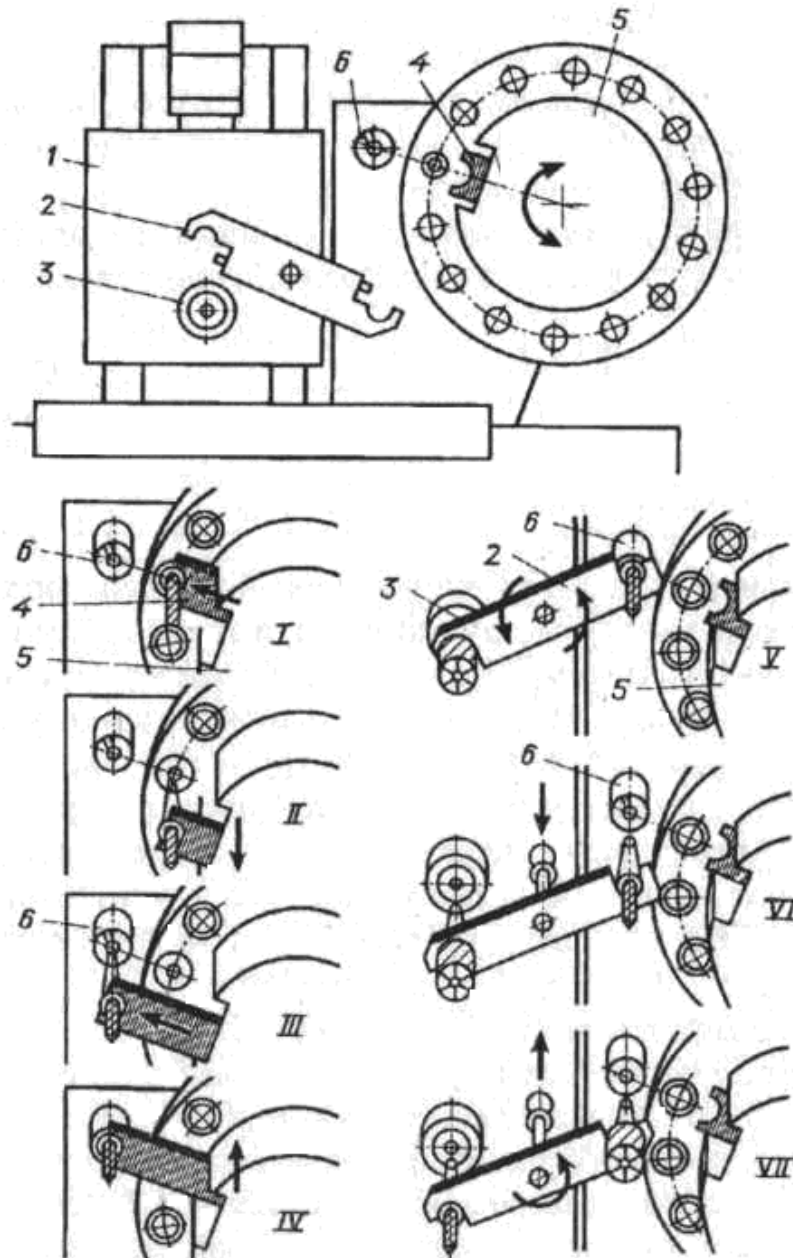


Рисунок 4.42 – Пристрій автоматичної зміни інструменту в позиції очікування

Шпиндельна бабка переміщується в робочу позицію і починається наступний робочий перехід, під час якого поворотом магазину здійснюється пошук гнізда для відпрацьованого інструменту. Додатковий автооператор переносить його в потрібне гніздо магазину з гнізда позиції очікування.

Іноді в невеликих БВ для скорочення часу зміни інструменту використовуються АЗІ комбінованого типу. У цьому випадку (рис. 4.43) шпиндельна бабка 1 оснащується, зазвичай, двошпиндельною револьверною головою 3. Одна з позицій 2 головки (робоча) слугує для обертання працюю-

чого інструменту, а інша 4 (діаметрально протилежна) – для зміни відпрацьованого.

Передача інструментальних оправок з магазину 8 в непрацюючий шпиндель і назад здійснюється автооператором 5. Автооператор від гідроциліндра 7 переміщається вліво для захоплення відпрацьованого інструмента, далі ходом вгору від гідроциліндра 6 відбувається вилучення інструментальної оправки з шпинделя 4. Автооператор переміщається вправо до вільного гнізда магазину, а потім ходом вниз вставляє в нього оправку. Потім автооператор відводиться далі вправо в нейтральне положення, щоб не заважати повороту магазину відносно осі  $O_2$  для пошуку наступного інструменту. Інструмент, підготовлюваний до зміни, встановлюється проти звільненого шпинделя 4. Автооператор переносить його в посадочний отвір шпинделя. Несуміщення часу зміни інструменту визначається часом повороту револьверної головки на  $180^\circ$  і її фіксації і становить 2 ... 3 с.

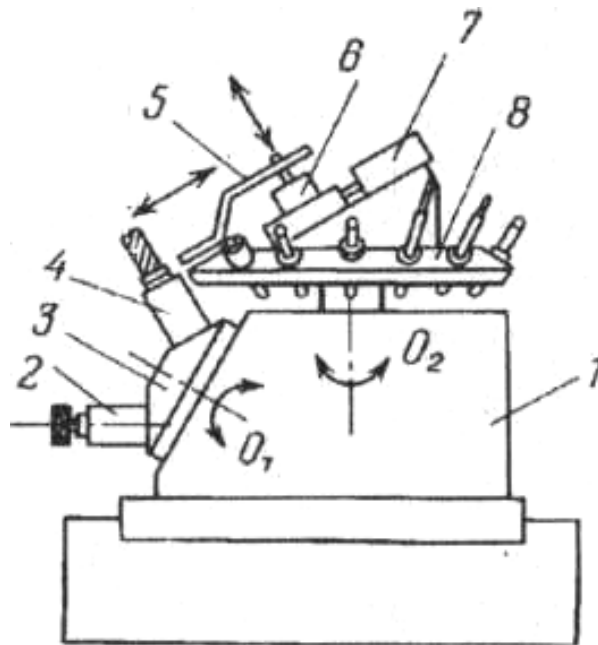


Рисунок 4.43 – Пристрій автоматичної заміни інструменту з револьверною головкою і автооператором

## 4.6 Пристрої вібротранспортування

### 4.6.1 Вихідні положення теорії вібротранспортування

Процес вібраційного транспортування більшості деталей по прямолінійному лотку, що виконує гармонійні коливання за прямолінійною траєкторією, в теорії вібропереміщення відображають моделлю, що показана на рис. 4.37. Частина 1, що має вагу (перше допущення), рухається по нахилений під кутом  $\alpha$  до горизонту шорсткій площині транспортування 2, що виконує гармонійні коливання у вертикальній площині за прямолінійною

траєкторією під кутом  $\beta$  (кут вібрації) до площини транспортування. При цьому вважається, що площина коливань та площина транспортування взаємоперпендикулярні. Якщо ввести нерухому систему координат  $x'O'y'$  та направити вісь  $O'y'$  в площині вібрації, а вісь  $O'x'$  – перпендикулярно до площини транспортування, то її коливання вздовж  $O'y'$  та  $O'x'$  визначаються рівняннями

$$\begin{aligned}x'_n &= -A \cos \beta \sin \omega t \\y'_n &= -A \sin \beta \sin \omega t\end{aligned}$$

де  $A$  – амплітуда коливань площини транспортування;  $\omega = 2\pi\nu$ ,  $\nu$  – частота коливань.

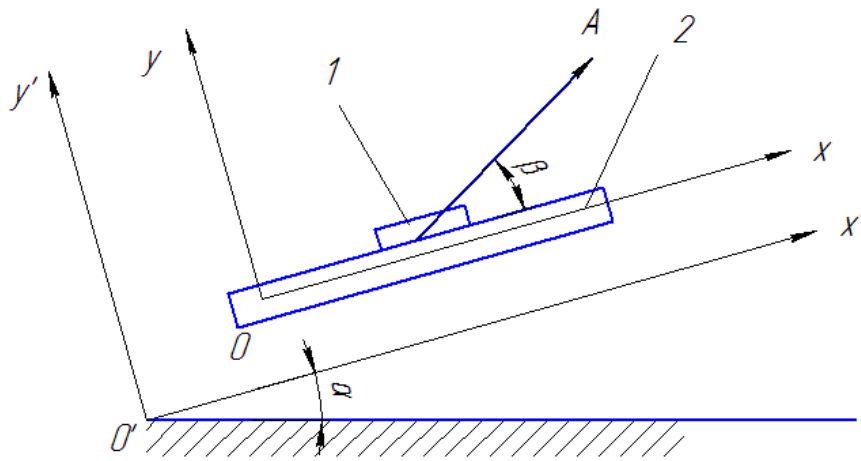


Рисунок 4.44 – Модель вібраційного транспортування деталей по прямолінійному лотку

При визначених умовах буде мати місце рух частинки вздовж вісі  $O'x'$  догори по нахиленій площині що коливається з періодично змінною швидкістю, але із постійною середньою швидкістю. При цьому в залежності від інтенсивності коливань площини частинка в напрямку вісі  $O'y'$  або рухається спільно з площиною транспортування (безвідривний режим), або періодично відривається від неї і виконує вільний політ (відривний режим).

Рівняння руху частинки в нерухомій системі координат виходячи з діючих на неї сил мають такий, вигляд:

$$m\ddot{x}' = -mg \cdot \sin \alpha + F, \quad (4.28)$$

$$m\ddot{y}' = -mg \cdot \sin \alpha + F, \quad (4.29)$$

де  $m$  – маса частинки;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $F$  – сила опору руху частинки в напрямку  $Ox'$  в контактi з площиною;  $N$  – нормальна реакція площини транспортування, що діє на частинку.

Рівняння руху частинки зручно виразити в системі координат  $xOy$ , що зв'язана із площиною, яка коливається. У відносних координатах

$$x = x' - x'_n, y = y' - y'_n. \quad (4.30)$$

Після подвійного диференціювання цих виразів за часом та підстановки в них значень  $x'_n, y'_n, x'$  та  $y'$  з (4.27)-(4.29) отримаємо

$$m\ddot{x} = mA\omega^2 \cos \beta \sin \omega t - mg \sin \alpha + F, \quad (4.31)$$

$$m\ddot{y} = mA\omega^2 \sin \beta \sin \omega t - mg \cos \alpha + N. \quad (4.32)$$

Розглянемо рух частинки в напрямку  $Oy$ . Якщо вона знаходиться в контактi із площиною, то  $y = 0$  і за (4.32):

$$N = m(g \cos \alpha - A\omega^2 \sin \beta \sin \omega t) \quad (4.33)$$

Контакт цей не порушується, тобто  $N > 0$  до тих пір, поки при зменшенні швидкості площини та частинки виконується умова:

$$g \cos \alpha > A\omega^2 \sin \beta \sin \omega t. \quad (4.34)$$

Ця нерівність впливає із (4.33) при  $N > 0$ .

Починаючи з деякого моменту  $t_0$  (моменту відриву), коли прискорення площини стане більше  $g \cos \alpha$ , її швидкість буде зменшуватись скоріше ніж швидкість частинки, що змінюється у відповідності до закону вільного падіння. В цей момент частинка відірветься від лотка і реакція  $N$  зникне. При  $N = 0$  згідно з (4.33) моментом відриву є

$$t_0 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{g \cos \alpha}{A\omega^2 \sin \beta}.$$

Нерівність (4.34) та момент відриву ілюструються графіком прискорення площини  $\ddot{y}'_n$  та частинки  $\ddot{y}'$  в нерухомій системі координат, (рис. 4.45, а). З графіків прискорень  $\ddot{y}'_2$  та  $\ddot{y}'_n$  впливає, що відрив може мати місце тільки у випадку

$$\frac{A\omega^2 \sin \beta}{g \cos \alpha} > 1.$$



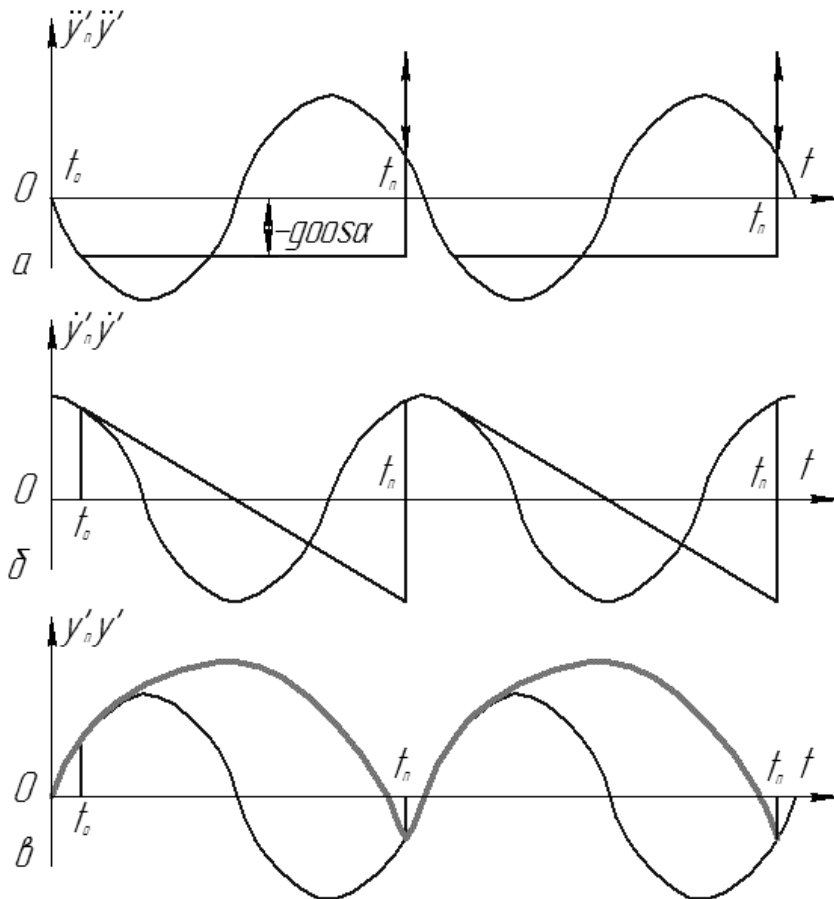


Рисунок 4.45 – Графічне відображення функцій  $y_n$ ,  $y(t)$  та їх похідних

Ліву частину позначають

$$\omega = \frac{A\omega^2 \sin \beta}{g \cos \alpha} \quad (4.35)$$

та називають параметром перевантаження, що показує, у скільки разів нормальна складова прискорення площини більше нормальної складової прискорення вільного падіння. З врахуванням (4.35) умова режиму відривання прийме вигляд  $\omega > 1$ , а безвідривного –  $\omega \leq 1$ .

Повздовжня складова амплітуди транспортувальної площини визначається через коефіцієнт перевантаження таким чином:

$$A \cos \beta = \frac{\omega g \cos \alpha}{\omega^2 \operatorname{tg} \beta}. \quad (4.36)$$

З моменту відриву  $t_0$  триває вільний політ частинки, який в нерухомій системі координат описується диференціальним рівнянням

$$\ddot{y} = A\omega^2 \sin \beta \cdot \sin \omega t - g \cos \alpha, \quad (4.37)$$

що випливає із (4.32) при  $N = 0$ .

Графік зміни  $y'$  та  $\dot{y}'$ , а також  $y'_n$  та  $y'_n$  зображений на рис. 4.45, б, в. З рис. 4.45, в видно, що частинка завершує свій політ падінням на площину в момент  $t_n$  (момент падіння).

В момент  $t_n$  падіння частинки швидкість її та площини, як правило, відрізняються за значенням та можуть бути різні за напрямком. Це означає, що падіння виконується з ударом. В подальшому удар розглядається миттєвим та абсолютно непружним (друге допущення). З цього випливає, що в момент падіння відносна нормальна швидкість частинки миттєво стає рівною нулю:

$$\dot{y} = 0. \quad (4.38)$$

Іншими словами, нормальна швидкість частинки  $y'$  миттєво стає рівною нормальній швидкості лотка, що відповідає сходиці в момент  $t_n$  графіку швидкостей (див. рис. 4.45, б). В цей момент прискорення частинки наближається до нескінченності та повертається до значення, рівного прискоренню лотка (див. рис. 4.45, а). Далі частинка залишається на площині, маючи прискорення, швидкість та переміщення останньої до настання через період нової умови відриву  $N = 0$ .

Розглянемо рух частинки вздовж вісі  $Ox'$ . Силу опору  $F$  руху частинки при її проковзуванні по площині будемо враховувати силою сухого (кулонового) тертя (третє допущення). Це означає, що

$$F = \begin{cases} -Nf & \text{при } \dot{x} > 0 \\ Nf & \text{при } \dot{x} < 0 \end{cases} \quad (4.39)$$

тобто при проковзуванні вперед ( $\dot{x} > 0$ ) або назад ( $\dot{x} < 0$ ) сила тертя направлена протилежно швидкості та пропорційна нормальній реакції  $N$ . Коефіцієнт пропорційності  $f$  є коефіцієнтом тертя ковзання. У випадку відносного спокою ( $\dot{x} \equiv 0$ ) сила тертя відповідно до (4.31)

$$F = m(g \sin \alpha - A\omega^2 \cos \beta \sin \omega t). \quad (4.40)$$

При цьому має місце нерівність

$$-fN \leq F \leq fN, \quad (4.41)$$

що означає, що модуль сили тертя спокою менше модуля сили тертя ковзання. Використання у виразі (4.39) та нерівності (4.41) одного і того ж коефіцієнта тертя ковзання  $f$  рівноцінно допущенню про рівність коефіцієнтів тертя ковзання та тертя спокою (четверте припущення). Експеримент показує, що звичайно перший з них менший, але врахування цього факту ускладнює теорію вібропереміщення.

Ковзання частинки при її контакті з площиною описується рівнянням (4.31). Після підстановки значення  $N$  з (4.33) в (4.39) та отриманого  $P$  в (4.31) запишемо

$$\ddot{x} = A\omega^2 (\cos \beta \pm f \sin \beta) \sin \omega t - g (\sin \alpha \pm f \cos \alpha) \quad (4.42)$$

Знак "+" відповідає ковзанню назад, а - ковзанню вперед. Ковзання може тривати до тих пір, доки не наступить умова  $x = 0$ , тобто доки швидкості площини та частинки не зрівняються, Перехід від стану відносного спокою  $i = 0$  до ковзання має місце тільки при порушенні нерівності (4.41).

Ковзання може бути перервано відривом частинки від площини її вільний політ в напрямку  $O'x'$  описується диференціальним рівнянням, що отримується з (4.31) при  $F = 0$ :

$$\ddot{x} = A\omega^2 \cos \beta \sin \omega t - g \sin \alpha. \quad (4.43)$$

Його інтегруванням можуть бути отримані рівняння швидкості та переміщення в напрямку  $O'x'$  при вільному польоті.

В момент падіння на площину частинка має не тільки нормальну, але і дотичну складову швидкості, яка також змінюється внаслідок удару. В теорії вібраційного переміщення часто використовується така гіпотеза зміни дотичної складової швидкості (п'яте припущення):

$$\dot{x}_+ = \begin{cases} \dot{x}_- - f'(\dot{y}_+ - \dot{y}_-) \operatorname{sign} \dot{x}_- & \text{при } |\dot{x}_-| > f'(\dot{y}_+ - \dot{y}_-); \\ 0 & \text{при } |\dot{x}_-| < f'(\dot{y}_+ - \dot{y}_-), \end{cases} \quad (4.44)$$

де  $\dot{x}_+$ ,  $\dot{y}_+$  та  $\dot{x}_-$ ,  $\dot{y}_-$  – відносні дотичні швидкості частинки відповідно після і до удару;

$f'$  – коефіцієнт ударного тертя;

$$\operatorname{sign} \dot{x} = \begin{cases} 1 & \text{при } \dot{x} > 0; \\ -1 & \text{при } \dot{x} < 0; \\ 0 & \text{при } \dot{x} = 0. \end{cases}$$

Перша умова (4.44) відображує факт ковзного удару, тобто удару, після якого має місце відмінна від нуля швидкість ковзання. Друга – умова припинення ковзання.

Розрахунок режиму та середньої швидкості вібротранспортування значно спрощується, якщо уявити, що коефіцієнт ударного тертя та коефіцієнт тертя рівні, тобто  $f' = f$  (шосте припущення).

Рух частинки вгору по площині має усталений характер. Це означає, що він є чітко періодичним із періодом  $T$ , рівним або кратним періоду гармонійних коливань площини. Якщо перевантаження знаходиться в межах  $0 < \omega < 3,724$ , то вказані періоди рівні. Режими вібротранспортування, що характеризуються послідовністю зміни етапів ковзання вперед і назад, сумісного з площиною руху, вільного польоту, залежать від параметрів руху  $A, \beta, \alpha, f, \omega$ . Так, для великих кутів нахилу площини при  $\omega > 1$  характерний режим, що складається з етапу вільного польоту 1 (рис. 4.46), який завершується ударом без ковзання 2 та наступним ковзанням назад 3. Характер режиму визначається сумісним розв'язанням рівнянь швидкості та переміщень, що отримуються інтегруванням диференціальних рівнянь (4.37), (4.42), (4.43) з врахуванням пов'язуючих ці рівняння на границях етапів співвідношень (4.38), (4.44) та обмеження (4.41), а також умови періодичності режиму. Середня швидкість вібропереміщення визначається як відношення шляху  $S$ , що пройшла частинка по площині в напрямку  $0'x'$  за період  $T$ , тобто  $v = S/T$ . Шлях  $S$  отримується інтегруванням швидкості частинки в усталеному режимі за період  $T$ . На графіку швидкості  $\dot{x}'$  цей шлях відповідає ділянці, що обмежується кривою швидкості та віссю часу на відріжку  $T$ .

Якщо диференціальні рівняння руху частинки (4.37), (4.42) та (4.43) представити у безрозмірній формі, розділивши їх праві та ліві частини на  $A\omega^2 \sin\beta$  [рівняння (4.42)] або  $A\omega^2 \cos\beta$  [рівняння (4.42) та (4.43)], то стане зрозуміло, що прискорення, а відповідно, швидкість та переміщення частинки залежать від трьох безрозмірних параметрів: перевантаження  $\omega$ , нахилу площини  $K_a = \tan\alpha / f$  та нахилу вібрації

$$K_a = 1/f \tan\beta \quad (4.45)$$

Середню швидкість вібропереміщення зручно представляти в наступному вигляді:  $v = K_c$  де  $K_c$  – коефіцієнт швидкості, що показує яку долю максимальної швидкості площини в поздовжньому напрямку складає середня швидкість частинки (викладена теорія дозволяє зв'язати  $K_c$  з параметрами  $\omega, K_a, K_\beta$ );  $A\omega \cos\beta$  – максимальна швидкість площини в поздовжньому напрямку.

З рівнянь (4.27), (4.42) та (4.43) видно, що збільшення кута  $\alpha$  призводить до збільшення від'ємного члена  $g \sin\alpha$  та зменшення додатного  $f g \cos\alpha$ , тобто до зменшення швидкості вібротранспортування. Кут  $\alpha_{np}$ , при якому

швидкість  $v = 0$ , називають граничним кутом нахилу швидкості, а безрозмірний нахил площини

$$K_{анр} = \frac{tg\alpha_{нр}}{f}, \quad (4.46)$$

також називають граничним. Один з режимів, для якого  $y = 0$ , показаний на рис. 4.46. На рис. 4.47 зображені залежності  $K_{анр}$  від  $\omega$  для різних значень  $K_{\beta}$  отриманих розрахунками викладеної т.еорії.

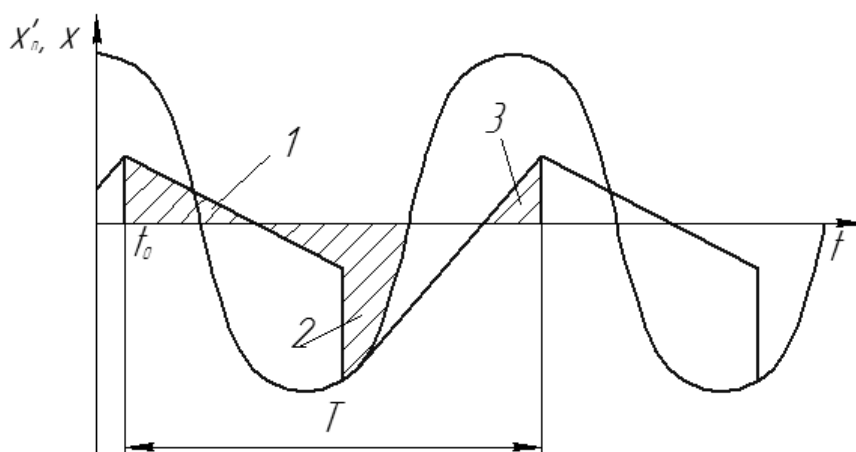


Рисунок 4.46 – Режим вібротранспортування, при якому швидкість  $v = 0$

Зроблені припущення призводять до того, що експериментальні залежності  $K_{анр}$  від  $\omega$  кількісно відрізняються від розрахункових. При  $\omega$ , близьких до граничного значення  $\omega_{нр}$ , при якому виникають періодичні "хаотичні" режими з різким збільшенням висоти підкидання, мають місце і якісні відміни, що полягають у припиненні збільшення та зменшення  $K_{анр}$ . Експериментальна інформація про  $K_{анр}$  не тільки дозволяє обґрунтовано вибрати кут нахилу вібротранспортуючого пристрою, але і є критерієм оцінки можливості застосування тієї або іншої теорії вібротранспортування.

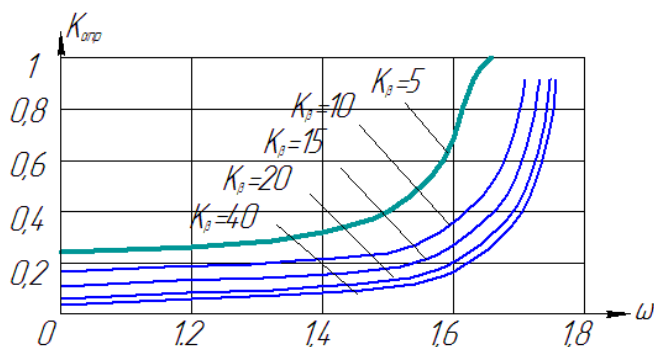


Рисунок 4.47 – Графічне відображення залежності  $K_{анр}$  від  $\omega$  для різних значень  $K_{\beta}$  отриманих розрахунками викладеної теорії

#### 4.6.2 Конструкція і робота вібраційного лотка-транспортера

Вібраційний лотік-транспортер виконаний за двомасовою схемою та налаштований на дорезонансний режим роботи. Одна з мас (робоча) лотка-транспортера (рис. 4.48) – жолоб 1 з приєднаними до нього деталями, що являє собою зварну конструкцію з двотавра та кутика, друга – реактивна маса, що виконана у вигляді двох щічок 10 та 11, що вписані в конструкцію жолоба. Щічки жорстко пов'язані між собою через розпірну втулку 12 та корпус 7 віброзбуджувача. Розпірна втулка 12 та корпус 7 розміщуються з зазором у відповідних вікнах ребра двотавра. Обидві маси поєднані між собою пружною системою, яка складається з чотирьох пакетів плоских пружин 2, що нахилені під кутом  $\psi = 10^\circ$  до нормалі жолоба в бік, протилежний напрямку руху. Верхні кінці пружин через прокладки закріплені нерухомо на щічках 10 та 11, а нижні аналогічно через башмаки 3 кріпляться до нижньої полки двотавра робочого органу.

Обидві маси розташовані таким чином, що їх центри лежать на прямій, нормальній до площини нахилених пружин, або ж суміщені, що дозволяє уникнути паразитних крутильних коливань лотка-транспортера.

Вся конструкція через гумові втулки-амортизатори 9 опирається на нерухомі стояки 8 виступами пружин, що виконані в точках ("нульових точках"), де коливання відсутні. Наявність "нульових точок" зумовлено тим, що амплітуди коливань робочої та реактивної мас обернено пропорційні масам. У зв'язку з цим нижні кромки виступів виконані в точках, які поділяють робочу довжину плоских пружин на частини, приблизно обернено пропорційні масам в точках, які поділяють робочу довжину плоских пружин на частини, приблизно обернено пропорційні масам.

У якості привода лотка-вібротранспортера використовується електромагнітний віброзбуджувач. Його електромагніт 6 та якір 5 розташовані в спеціальному вікні ребра двотавра і кріпляться відповідно до щічок 10 та 11 та робочого органу 1. Котушка електромагнітного віброзбуджувача вмикається в мережу змінного струму через лабораторний автотрансформатор, що забезпечує регулювання напруги що подається на котушку, а відповідно, змушуючої сили та амплітуди коливання жолоба. При використанні мережі стандартної частоти струму, частота робочих коливань лотка-транспортера  $\nu = 100\text{Гц}$ .

Оскільки у рівноваженій конструкції вібраційного лотка- транспортера маси коливаються в напрямку, нормальному до площини пружин, кут вібрації  $\psi = \beta = 10^\circ$ .

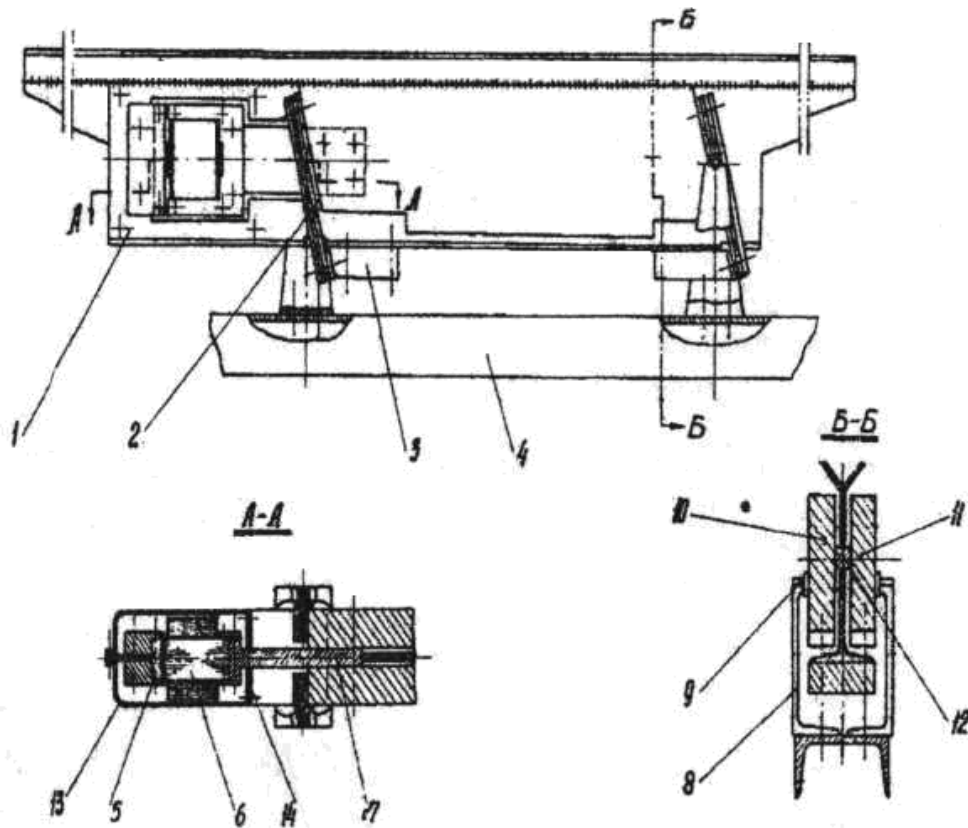


Рисунок 4.48 – Конструкція вібраційного лотка-транспортера

Якщо жолоб лотка має призматичну форму, при розрахунку швидкості руху циліндричних деталей слід вводити поправку на коефіцієнт тертя, оскільки при їх ковзанні по такому жолобу сила тертя (рис. 4.49)  $F = 2N_c f$ , де  $N_c$  – реакція стінки жолоба,  $f$  – коефіцієнт тертя деталі. Цю ж силу тертя можна виразити через реакцію  $N$ , що направлена по вісі жолоба, та приведений коефіцієнт тертя  $f_n$ :

$$F = N \cdot f_n.$$

Виключаючи із записаних виразів  $F$ , отримаємо

$$2N_c \cdot f = N \cdot f_n. \quad (4.47)$$

Але, як видно з рис. 4.49

$$N = 2N_c \cdot \sin \alpha / 2,$$

де  $\alpha$  – кут призми жолоба.

Тому підставивши значення  $N$  в (4.47), отримаємо

$$f_n = \frac{f}{\sin \alpha/2} = \frac{f}{\sin 45^\circ} = 1.41f. \quad (4.48)$$

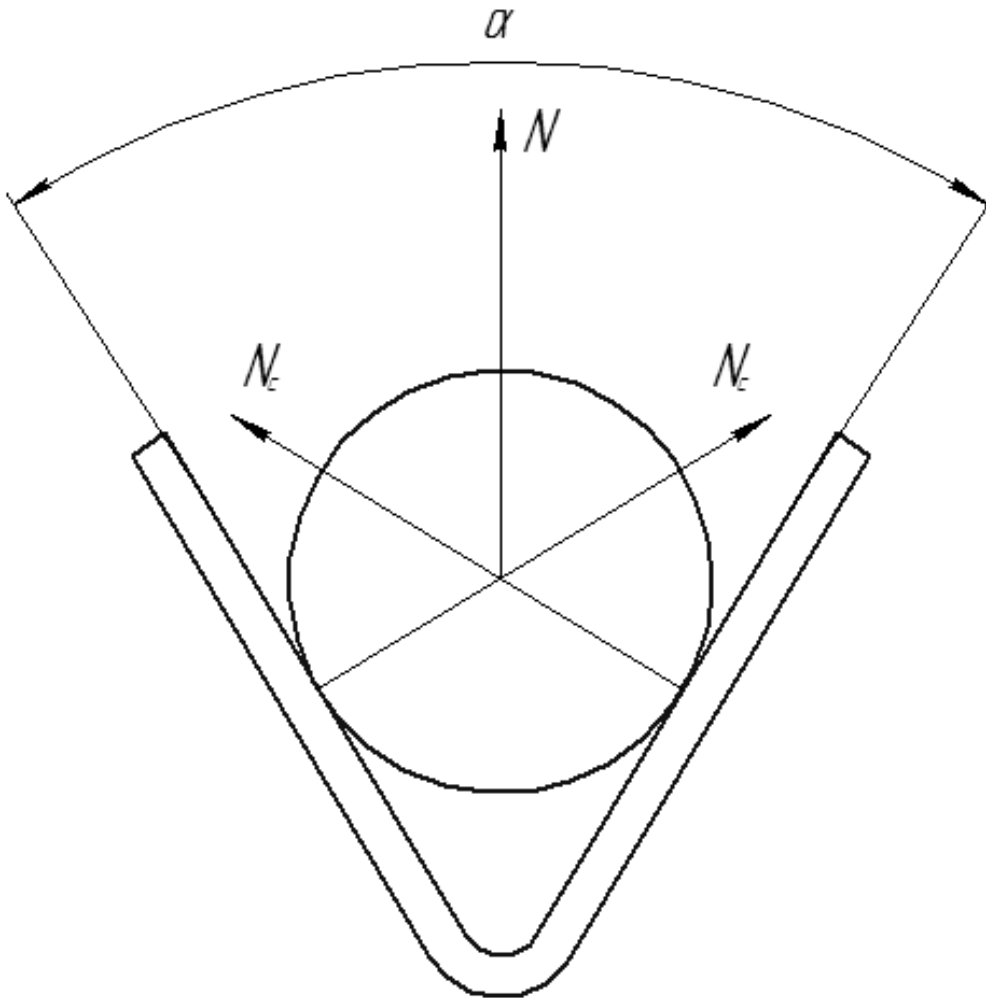


Рисунок 4.49 – Схема дії сил на циліндричну деталь, що транспортується у вібраційному лотку-транспортері

#### 4.6.3 Робота бункерного завантажувально-орієнтувального пристрою

Аналогічним чином можна розглянути гвинтові коливання чаші бункерного завантажувально-орієнтувального пристрою (див. рис. 4.8). Оскільки чаша бункерного завантажувально-орієнтувального пристрою здійснює гвинтові коливання, то кожний елементарний відрізок її гвинтового лотка можна розглядати як прямолінійний нахилений логік, що коливається під кутом  $\beta$  до горизонту (рис. 4.50).



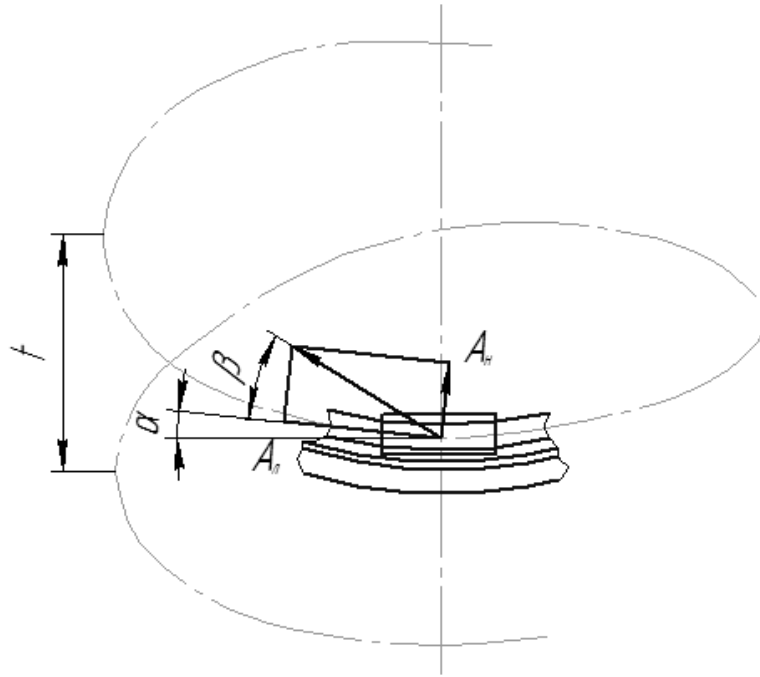


Рисунок 4.50 – Розрахункова схема бункерного завантажувально-орієнтувального пристрою

Кут нахилу елементарного відрізка гвинтового лотка рівний куту підйому гвинтової лінії лотка чаші вібраційного бункерного завантажувально-орієнтувального пристрою та визначається за виразом

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t}{2\pi R_{cp}}, \quad (4.49)$$

де  $t$  – крок гвинтового лотка;

$R_{cp}$  – середній радіус гвинтового лотка.

Кут кидання  $\beta$  для кожної елементарної ділянки знаходиться із співвідношення

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \psi}{K_{\psi}} \cdot \frac{r}{R_{cp}}, \quad (4.50)$$

де  $r$  – радіус кола, на якому розташовані верхні точки закріплення пружин;

$\psi$  – кут нахилу стержневої пружини лотка до горизонту;

$K_{\psi}$  – коефіцієнт, що враховує зміну кута нахилу стержневої пружини в процесі її коливання ( $K_{\psi} = 0,75$ ).

Амплітуда коливань  $A$  може бути розкладена на дві складові: нормальну  $A_n = A \sin(\beta - \alpha)$  та повздовжню  $A_n = A \cos(\beta - \alpha)$ , звідки

$$A_n = \frac{A_H}{\operatorname{tg}(\beta - \alpha)}, \quad (4.51)$$

При гармонійному законі коливань переміщення та швидкість лотка в повздовжньому напрямку будуть відповідно рівні:

$$\begin{aligned} X_n &= A_n \sin \omega t; \\ X'_n &= A_n \omega \sin \omega t. \end{aligned}$$

Максимальне значення швидкості лотка

$$v_{n \max} = A_n \omega.$$

Все що було визначено відносно елементарної ділянки гвинтового лотка буде вірно і для всього гвинтового лотка, оскільки геометричні та кінематичні параметри кожної з його ділянок однакові.

Швидкість транспортування виробу по лотку  $v_B$  виражається як деяка доля максимальної швидкості лотка.

$$v_B = v_{n \max} \cdot K_C = A_n \omega K_C, \quad (4.52)$$

де  $K_C$  – коефіцієнт швидкості.

Згідно з (4.52)

$$v_B = v_{n \max} \cdot K_C = A_n \omega K_C, \quad (4.53)$$

При збільшенні амплітуди  $A$  будуть збільшуватись і її складові  $A_n$  і  $A_n$ ; при цьому буде збільшуватись і  $v_B$ . Причому це збільшення буде виконуватись не тільки за рахунок збільшення  $A_n$  (4.52), але і за рахунок збільшення  $K_C$ , який буде збільшуватись із збільшенням  $A_n$ . Але при будь-якому значенні  $A_n K_C < 1$ .

Оскільки вироби з вібраційного бункерного завантажувально-орієнтувального пристрою видаються потоком, то його продуктивність

$$Q = \frac{v_B}{l_B} K_z, \quad (4.54)$$

де  $l_B$  – розмір виробу в напрямку швидкості його переміщення по гвинтовому лотку;

$K_3$  – коефіцієнт заповнення, що враховує розриви в потоці заготовок.

Вираз

$$Q_m = \frac{v_\beta}{l_\beta}, \quad (4.55)$$

можна розглядати як максимально можливу теоретичну продуктивність.

Тоді

$$K_3 = \frac{Q}{Q_m}, \quad (4.56)$$

$K_3$  залежить від складності орієнтації виробу, його конфігурації, габаритних розмірів, способу орієнтації та нормальної складової амплітуди  $A_n$ . При збільшенні останньої збільшується швидкість співударяння виробу та лотка, висота підкидання виробу в процесі вібротранспортування. При цьому збільшується вірогідність випадання в навал навіть вірно орієнтованих виробів, що призводить до зменшення  $K_3$ .

З (54), (52) та (51) випливає, що

$$Q = \frac{A_n \omega}{l_B \operatorname{tg}(\beta - \alpha)} \cdot K_u \cdot K_3. \quad (4.57)$$

При збільшенні  $A_n$  збільшується  $Q$ ; проте в зв'язку з тим, що  $K_3$  при цьому зменшується, швидкість збільшення продуктивності  $Q$  буде падати, а після цього починається зменшення  $Q$ .

#### 4.7 Пневматичний транспорт

Пневматичний транспорт, найчастіше, застосовується для завантаження бункерів та силосів сипкими матеріалами, подачі їх із складів до виробничого обладнання, завантаження-розвантаження залізничних вагонів, контейнерів, суден і автомобільних транспортних засобів, видалення відходів виробництва (наприклад: стружки, попелу тощо), транспортування напівфабрикатів та готової продукції, поштучних вантажів, доставки повідомлень (пневмопошта), доставки зразків та проб із цехів в експреслабораторію для проведення досліджень тощо.

За принципом транспортування матеріалу пневматичний транспорт поділяють на установки, які переміщують вантаж (найчастіше сипкий) у повітряному потоці, або в контейнерах чи патронах по трубопроводах.

У повітряному потоці транспортують, в основному: борошно, зерно, бавовну, цемент, вугілля, тирсу, солому, різноманітні гранульовані матеріали та інші сипкі (навіть пиловидні), волокнисті та дрібнокускові матеріали. Дрібні частки матеріалу, що переміщується, – переміщуються разом із повітрям, а крупніші (відповідно більш важкі) опускаються на нижню стінку трубопроводу, далі підхоплюються струменем повітря і переносяться вперед.

Продуктивність пневматичного транспорту може бути від кількох десятків кілограм за годину до 400 т/год, а довжина транспортування від кількох метрів та до більш ніж 2 км.

Пневматичний транспорт має ряд *переваг*: повна герметичність, що особливо важливо під час транспортування пилоподібних або шкідливих для здоров'я людей матеріалів; переміщення вантажів по трасах майже будь-якої складності з усіма необхідними відгалуженнями та з можливістю зміни віток магістралей; повна механізація процесів завантаження-розвантаження матеріалів; можливість завантаження вантажу із важкодоступних місць, або ж одночасно з декількох точок.

*Недоліки* пневматичного транспорту: порівняно висока вартість адже такий вид транспорту характеризується досить значними питомими витратами енергії (у порівнянні із конвеєрними машинами енергоємність в 8...14 разів є більшою); трубопроводи та магістралі відносно інтенсивно спрацьовуються (зношуються), особливо такий процес спостерігається на вигинах та поворотах; потреба в високому ступені очищення повітря від сторонніх забруднень; нездатність переміщувати матеріали із високою вологістю, або липкі матеріали.

Пневматичний транспорт за принципом роботи ділять на: всмоктувальні, нагнітальні та змішані.

Типовий *всмоктувальний пневмотранспорт* (рис. 4.51, а) у своїй конструкції містить повітродувну машину 6, яка здатна створювати достатнє розрідження в пневматичній системі. Повітря разом із сипучим матеріалом, під дією атмосферного тиску, засмоктується крізь сопло 1 у трубопровід 2, по якому транспортується вантаж у віддільник 3 (місце розвантаження). Площа поперечного перерізу віддільника 3 набагато більша, ніж трубопроводу 2, в результаті чого зменшується швидкість потоку аерозолу (суміші повітря та частинок сипучого матеріалу) і матеріал осідає на дно, звідки через шлюзовий затвор 4 розвантажуються. Повітря з більш дрібними фракціями матеріалу, які не осіли у віддільнику 3, втягується у резервуар 5 (може бути значно меншого об'єму, ніж віддільник), який оснащено фільтром тонкої очистки.

Повітродувна машина 6 втягує очищене повітря та викидає його в атмосферу. Всмоктувальний пневмотранспорт працює під тиском до 0,05 МПа.

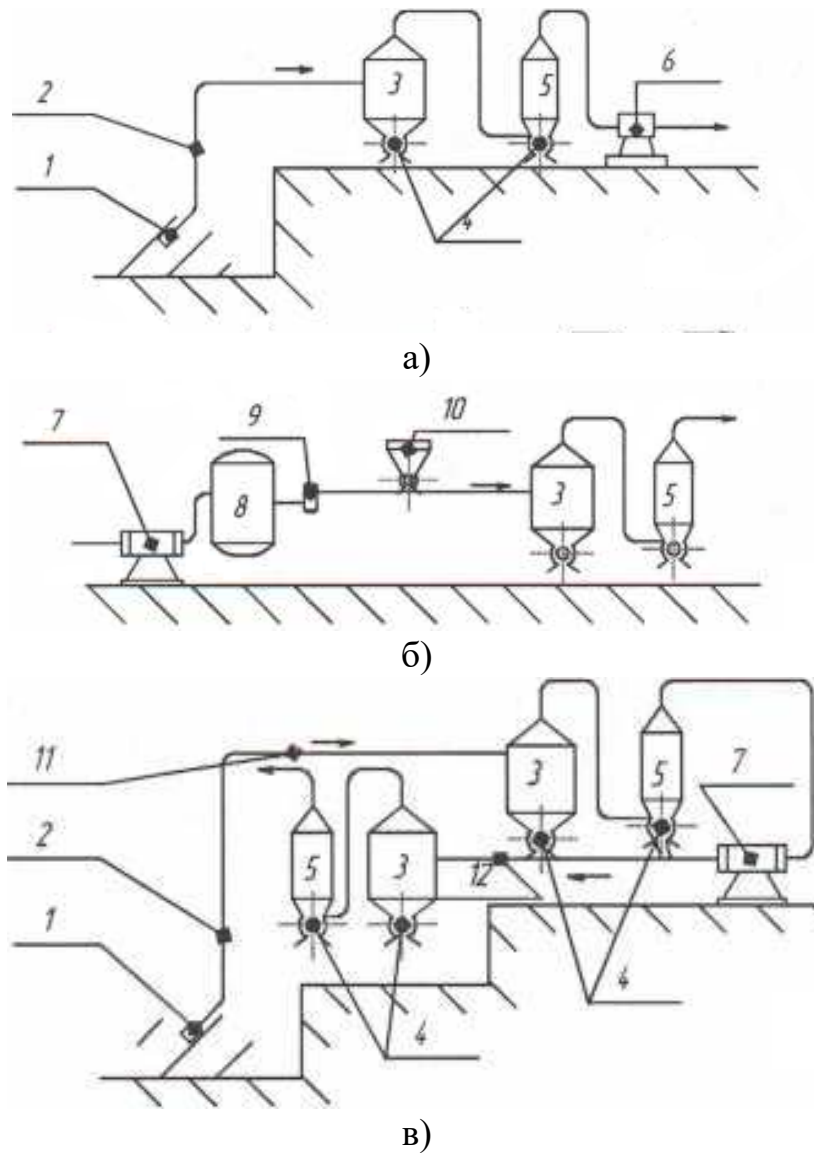


Рисунок 4.51 – Схеми пневматичних транспортних установок

У нагнітальному пневмотранспорті (рис. 4.51, б) використовується компресор 7, який нагнітає стиснене повітря у ресивер 8, з якого повітря подається у трубопровід, який оснащено спеціальним живильником 10 для виконання операцій завантаження. Перед цим повітря піддається очищенню при проходженні через масло- та вологовіддільник 9. У нагнітальному пневмотранспорті перепад тиску може досягати 0,4...0,6 МПа, саме тому вони можуть застосовуватися для транспортування вантажів на значну відстань.

Основними особливостями вищезгаданих типів пневматичного транспорту є те, що: всмоктувальні машини можуть забирати вантаж (який, навіть, може бути насипаний у відвали чи бурти) із різних місць та транспортувати його на незначні відстані, нагнітальні машини виконують транспор-

тування вантажу, який має завантажуватися у трубопровід, з однієї точки в декілька місць та на значні відстані.

*Пневмотранспорт змішаного типу* (рис. 4.51, в) відрізняється від решти типів тим, що до його складу входять дві послідовно розташованих ділянки, – всмоктувальна 11 та нагнітальна 12. Принцип роботи всмоктувальної ділянки установки аналогічний однойменному пневмотранспорту, який ми розглядали вище: вантаж засмоктується потоком повітря в трубопровід та подається у віддільник 3 і фільтр 5, з яких він уже надходить в напірний трубопровід 12 нагнітальної ділянки машини.

У випадку пневмотранспорту змішаного типу, очищене від домішок повітря не викидається в навколишню атмосферу, а подається під тиском компресором 7 в трубопровід 12 та здійснює транспортування матеріалу до точки розвантаження у віддільник 3 і фільтр 5.

Перевага подібних систем полягає в тому, що вантаж можна підбирати із декількох місць, накопичувати в одній ємкості та здійснювати транспортування одночасно в декілька місць розвантаження.

В якості повітродувних машини найчастіше використовують вентилятори, всмоктувальну лінію компресорів, турбомашини, ротаційні вакуумнасоси тощо.

В загальних випадках пневмопроводи виготовляють із тонких сталевих труб. Для забезпечення більшої рівномірності зношення внутрішніх поверхонь труб та збільшення строку їх експлуатації, трубопроводи після 1...1,5 років інтенсивної роботи необхідно повернути відносно їхньої осі на 180°. Діаметр труб, що застосовуються у пневмотранспорті обирається в межах 50...250 мм.

На рис. 4.52 показано типові елементи установок пневматичного транспорту: сопло (а), затвор шлюзового типу (б), пристрій завантаження (в), живильник гвинтового типу (г).

В установках всмоктувального пневмотранспорту завантажувачем слугує сопло, яке приєднується гнучкого шланга. Таке сопло складається з труби 1, яка охоплюється кожухом 2 (рис. 4.52, а). За рахунок розрідження створеного повітродувною машиною, повітря із сипучим матеріалом затягується в приймальну ділянку сопла, в яку також втягується повітря з навколишньої атмосфери у верхній частині сопла. Потоком розрідженого повітря сипкий матеріал затягується в трубопровід.

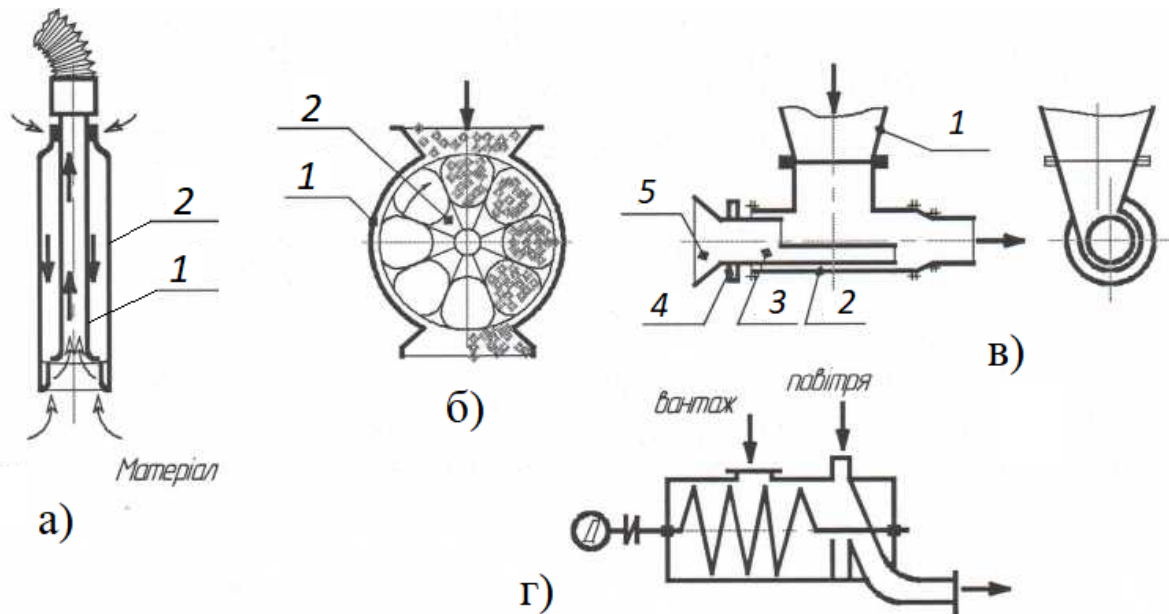


Рисунок 4.52 – Обладнання пневмоустановок

Затвор шлюзового типу (рис. 4.52, б) складається із барабана 2 з восьми відсіками, які розмежовані лопатями. Барабан 2 може обертатися в корпусі 1. Один із отворів корпусу 1 (верхній) є завантажувальним, а інший (нижній) – розвантажувальним. Лопаті барабана точно підігнані до внутрішньої поверхні корпусу 1. Завантажувальний затвор шлюзового типу працює під тиском (до 0,14 МПа). Матеріал, який розміщується у накопичувачі відсіку барабана, подається порційно в трубопровід (нагнітальний або всмоктувальний).

Завантажувальний пристрій із регульованою подачею, найчастіше, застосовується в машинах всмоктувального пневмотранспорту для дозування сипких матеріалів.

До конструкції такого пристрою (рис. 4.52, в) входить воронка 1, корпус 2 з щільним отвором, патрубок 3 (з одного кінця якого знаходиться вікно для подачі матеріалу в трубопровід, а з іншого – розтруб 5, в якому розміщено решітки, через які проходить повітря). Патрубок 3 може повертатися рукояткою 4, для регулювання величини прохідного перерізу щілини. У трубопроводі сипучий матеріал змішується з повітрям, яке подається крізь розтруб, утворюючи аерозоль, яка транспортується по трубопроводу.

Живильник гвинтового типу (рис. 4.52, г) складається з гвинта (шнеку) із змінним кроком, що зменшується до зони розвантаження. Завдяки такій конструкції матеріал додатково ущільнюється до виходу, що зменшує втрати стисненого повітря крізь корпус завантажувального пристрою. Змішувальна камера (у нижній її частині) оснащена форсунками, по яких нагнітається стиснене повітря.

Розрахунок основних параметрів пневматичних установок доцільно починати з визначення швидкості, достатньої для транспортування матеріалу. Для цього розглянемо частинку матеріалу, яка знаходиться в потоці повітря (рис. 4.53). Внаслідок зміни напрямку руху потоку повітря та виникнення аеродинамічного ефекту з'являється сила  $F$ .

Аеродинамічний ефект пояснюється наступним чином. Повітря, зустрівши частинку матеріалу в точці  $a$ , змінює напрямок (огинає поверхню частинки); за точкою  $b$  повітря відривається від поверхні частинки та утворює зону розрідження.

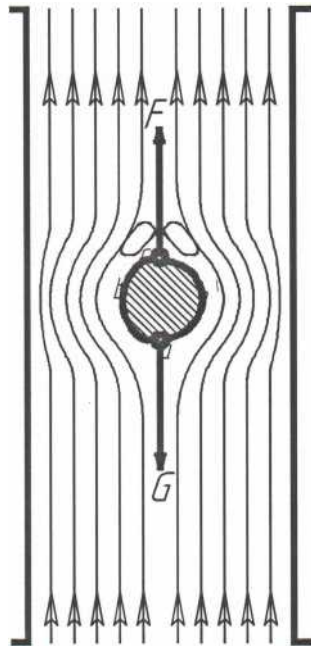


Рисунок 4.53 – Схема взаємодії повітряного потоку та частинки матеріалу

Різниця тисків у зонах обмежених точками  $bab'$  і  $bc b'$  визначає величину аеродинамічної сили. Частинка може зависнути в потоці набігаючого повітря у вертикальній трубі настає тоді, коли аеродинамічна сила стає рівною вазі частинки, тобто  $F = G$ :

$$F = c \cdot \rho_n \cdot A \cdot v_n^2,$$

де  $c$  – аеродинамічний коефіцієнт, що визначається формою та розмірами частинок матеріалу (приймається  $c = 0,25$  для кулястої форми діаметром  $d$ );

$\rho_n$  – густина повітря;

$A$  – площа поперечного перерізу частинки матеріалу;

$v_n$  – швидкість потоку повітря, при якій частинка тримається у повітрі.



Розрахунок пневмотранспортуючої установки полягає у визначенні витрати повітря, необхідного діаметра трубопроводу, достатнього перепаду тиску на кінцях магістральної траси, мінімально достатньої потужності повітродувної машини.

Витрати повітря визначаються продуктивністю  $\Pi$ , т/год, і характеристикстик матеріалу

$$Q_{\Pi} = \Pi / 3,6 \cdot \mu,$$

де  $\mu$  – коефіцієнт концентрації суміші, який розраховується як співвідношення вагової продуктивності пневматичної установки до вагової витрати повітря ( $\mu = \Pi / 3,6 \cdot Q_n$ ).

Значення  $\mu$  залежить від характеристик матеріалу і знаходиться в межах:  $\mu = 3 \dots 150$ .

Для забезпечення переміщення матеріалу по трубопроводу, швидкість повітряного потоку повинна перевищувати критичну:

$$v_{\Pi} > \kappa v_{\kappa_p},$$

де  $\kappa = 1,3 \dots 1,5$  – коефіцієнт запасу;

$v_{\kappa_p}$  – розрахункова критична швидкість повітря,

$$v_{\kappa_p} = c \cdot \sqrt{\mu \cdot a \cdot g \cdot D},$$

де  $c = 0,1 \dots 0,35$  – дослідний коефіцієнт, який визначається характеристиками матеріалу, що транспортується (менше значення обирають для пороховидних вантажів, більше – для зернистих і кускових);

$D$  – діаметр трубопроводу пневмомагістралі;

$a = (\rho_M - \rho_{\Pi}) / \rho_{\Pi}$  – співвідношення щільностей ( $\rho_M, \rho_{\Pi}$  – щільність матеріалу, що транспортується та густина повітря відповідно).

Діаметр трубопроводу розраховується наступним чином:

$$D = \sqrt{4 \cdot \Pi / (3,6 \cdot \rho_n \cdot \mu \cdot \pi \cdot v_n)}.$$

Витрата повітря повітродувної машини

$$Q_{\Pi.M} = k_n \cdot Q_n,$$

де  $k_n = 1,1 \dots 1,15$  – коефіцієнт витоків повітря.

Потужність приводного двигуна повітродувної машини

$$N = k_3 \cdot A_{num} \cdot Q_{п.м} / \eta_{п.м},$$

тут  $k_3$  – коефіцієнт запасу;

$\eta_{п.м} = 0,65 \dots 0,85$  – ККД повітродувної машини;

$A_{num}$  – питома робота повітродувної машини, кДж/кг,

$$A_{num} = \frac{p_{am}}{\rho_{am}} \ln \frac{p_{am}}{\rho_{am}},$$

де  $p$  – робочий тиск повітря в пневмосистемі;

$p_{am}$  – атмосферний тиск повітря;

$\rho_{am}$  – густина повітря при значенні  $p_{am}$ .

На цьому спрощений розрахунок параметрів типової пневматичної транспортувальної машини закінчено.

#### 4.8 Навантажувально-розвантажувальні машини (НРМ)

Призначення подібних машин: для виконання операцій завантаження-розвантаження тарно-штучних, або сипких вантажів на різного виду транспортні засоби (найчастіше це, – автомобільний, чи залізничний транспорт, в тому числі і внутрішньо цеховий транспорт).

Також такі машини можуть застосовуватися для переміщення вантажів на складах.

НРМ можна класифікувати, за видом виконуваних робіт, на: машини періодичної і безперервної дії; за видом ходової частини: на машини безперервного транспорту, на рельсово-колісному ході, гусеничні; за видом мобільності на: стаціонарні і мобільні.

НРМ можуть переміщувати вантажі не тільки прямолінійно, а і по досить складним траєкторіям. Типовий цикл роботи таких машин, найчастіше, складається із наступних операцій: захват вантажу, його переміщення та розвантаження.

##### *Навантажувачі безрельсові*

Навантажувачі машини безрельсового транспорту досить широко використовуються на різного типу складах, автомобільних платформах, залізничному транспорті тощо. Це можна пояснити непоганою маневреністю та високим експлуатаційним показникам подібних навантажувачів.

Як засоби малої механізації можуть використовуватися ручні візки та візки-штабелери (в основному, для переміщення малогабаритних вантажів на незначні відстані, – до декілька десятків метрів).

Значно ширше застосування знайшли універсальні авто- та електронавантажувачі (електроштабелери). Їх вантажопідйомність складає: електронавантажувачів, – 10 кН, автонавантажувачів, – 50 кН. Ці машини використовуються як засоби для міжцехових і внутрішньоцехових переміщень різних вантажів; на складах; для завантаження та розвантаження вагонів залізничного транспорту, контейнерів і автотранспорту.

На рис. 4.54 зображена схема типового візка-штабелера, оснащеного гідравлічним приводом підняття навантажувального органу виконаного у вигляді вил.

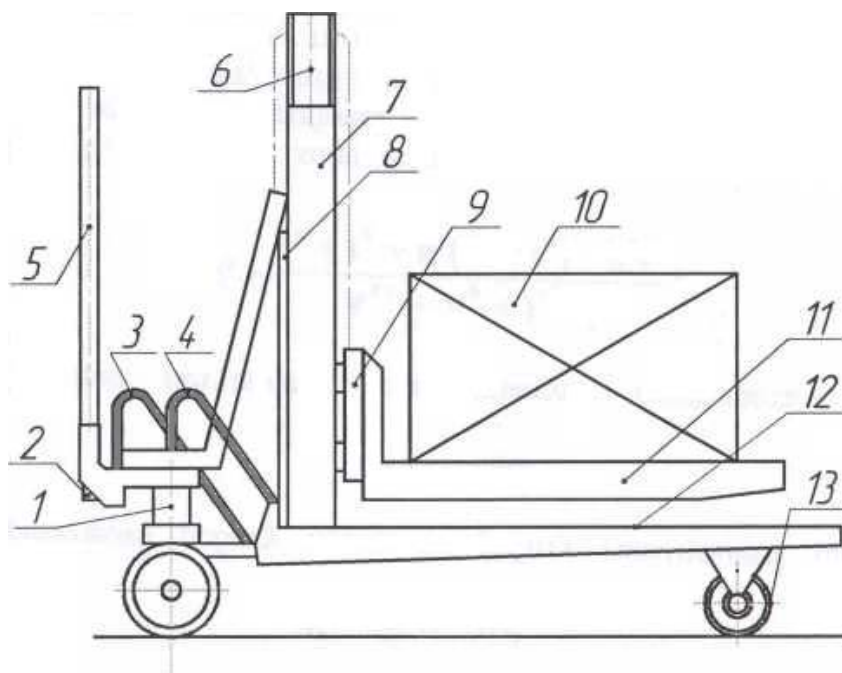


Рисунок 4.54 – Схема візка-штабелера з гідравлічним приводом підніманням вил

Візок-штабелер може застосовуватися для багатоярусного складування, розміщення на стелажах та транспортування вантажів на стандартних піддонах. Візки-штабелери можуть розвивати вантажопідйомність до 32 кН, а висота підйому вантажу може досягати 1,5 м.

Основою конструкції візка є П-подібна рама 12, яка зварена із труби та лонжеронів. На вільних кінцях П-подібної рами закріплено два колеса 13 діаметром близько 200мм (неповоротні відносно вертикальної осі). Вантажопідйомний орган візка складається із зовнішньої рами 7 та внутрішньої телескопічної рами 6. По ним переміщується у вертикальному напрямку

каретка 9 з двома навантажувачами (вилами) 11, які здійснюють переміщення по ширині каретки, за допомогою плунжерного гідроциліндра 8.

Також, до складу гідроприводу входять: гнучкі трубопроводи низького 3 та високого 4 тиску; уніфікований ручний плунжерний гідронасос 2, який змонтовано на поворотній опорі 1.

До поперечини П-подібної рами прикріплюється поворотна опора 1 з двома колесами, які забезпечують можливість маневрування візку, за рахунок можливості повертатися відносно вертикальної осі.

За допомогою ручки 5 здійснюється керування візком.

Вантаж піднімається за рахунок гідроприводу. У момент, коли відбувається нагнітання робочої рідини в порожнину гідроциліндра, шток з роликком (зірочкою) піднімається вгору та за допомогою тросу (ланцюга) переміщує за собою внутрішню телескопічну раму та каретку з вилами, яка по напрямним проходить відстань в два рази більшу, ніж переміщення штоку з роликком (зірочкою).

Плавне опускання вантажу реалізовано за допомогою дроселювання робочої рідини через клапан, зазор в якому регулюються педаллю, на яку тисне оператор (робоча рідина під дією маси вантажу та рухомих частин гідроприводу поступає в бак).

На рис. 4.55 приведена принципова схема типового складського універсального електронавантажувача.

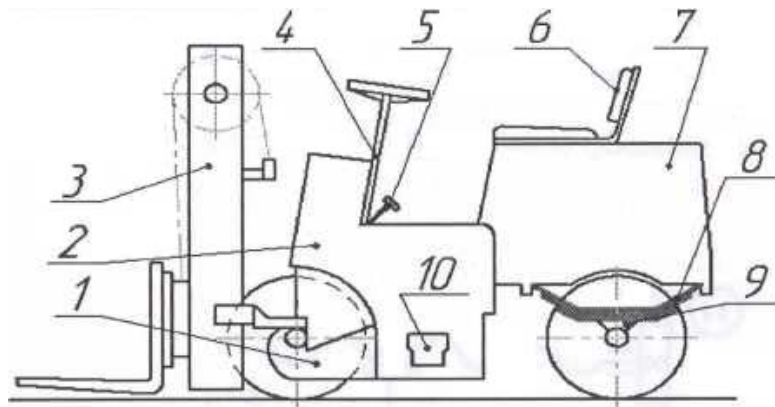


Рисунок 4.55 – Універсальний електронавантажувач

На несівному корпусі 2 електронавантажувача, який сконструйовано із сталевих листів, закріплено ведучий передній міст 1, керована задня вісь 9, підйомний пристрій 3, тягова акумуляторна батарея 7, яка також, виконує функції противаги.

Для амортизації, задня вісь з'єднується з несівним корпусом за допомогою пружних пластин 8 (ресор). В середній частині корпусу розташовується все необхідне електрообладнання з гідроприводом 10, рульове керування 4 та сидіння водія 6.

В загальному випадку вантажопідйомність подібних візків-штабелерів може становити до 10 кН, найбільша висота підйому вантажу може досягати 4,5 м, швидкість підйому знаходиться в межах, – 0,13...0,17 м/с, швидкість переміщення із вантажем може складати, – 1,1.. .2,3 м/с, а без вантажу – 1,5.. .2,8 м/с.

Середню продуктивність виловних навантажувачів можна оцінити за формулою:

$$Q = 3600 \cdot G_B \cdot k_u / T^m, \text{ год}$$

- де  $G_B$  – вага вантажу, що перевозиться за один рейс, т;  
 $k_u$  – коефіцієнт використання візка в часі (0,7.. .0,8);  
 $T$  – тривалість одного рейсу, с:

$$T = \varphi \cdot (t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n),$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт, який враховує суміщення окремих типових операцій в часі,  $\varphi \approx 0,85$ ;

$t_1$  – час, який є необхідним для опускання навантажувача, заведення вил під вантаж, підняття (від 10 до 15 с);

$t_2$  – час виконання повороту, на  $90^\circ$  – 6...8 с, на  $180^\circ$  – 10... 14 с;

$t_3$  – тривалість операції переміщення із вантажем:

$$t_3 = \frac{L_H}{g_H} + t_{p.z},$$

тут  $L_H$  – довжина шляху переміщення, м;

$g_H$  – середня швидкість руху, м/с;

$t_{p.z}$  – час на прискорення та гальмування, с.

Допустима вантажопідйомність навантажувача повинна визначатися із умов поздовжньої стійкості (рис. 4.56).



$$M_{G_H} = G_{II} \cdot L,$$

де  $L$  – відстань між центрами передньої та задньої осей (таку відстань часто називають колісною базою).

Вантажопідйомність візка-штабелера можна оцінити за наступним виразом:

$$G_B = \frac{G_{II} \cdot L}{k_{cm} \cdot (a + b)}.$$

#### *Навантажувачі безперервної дії*

Навантажувачами безперервної дії часто називають навантажувачами конвеєрного типу, які призначені, в першу чергу, для завантаження-розвантаження сипких та штучних вантажів із складів в різноманітні транспортні засоби (наприклад: автомобілі чи вагони).

Навантажувачі безперервної дії характеризуються високою продуктивністю та простотою експлуатації.

Завантаження, переміщення і розвантаження вантажу суміщені в єдиний безперервний процес, який відбувається з визначеною швидкістю, якою порівняно легко можна керувати в визначених межах. Однак, ці машини порівняно низько універсальні, адже вони можуть працювати тільки з певними визначеними різновидами вантажів та здатні переміщувати їх без складного маневрування

Навантажувач, принципова схема якого показана на рис. 4.57 складається з наступних основних елементів: завантажувального конвеєра-елеватора 1 (положення якого можна змінювати по висоті, а також він має можливість обертатися навколо вертикальної осі), самохідного шасі 2, зачерпуючого пристрою (живильника) 5, основного конвеєра 4, який здійснює завантаження транспорту 6.

На самохідному шасі 2 змонтовано силовий агрегат та кабіна керування 3.

Шасі таких навантажувачів може бути оснащено як колісним, так і гусеничним приводом.

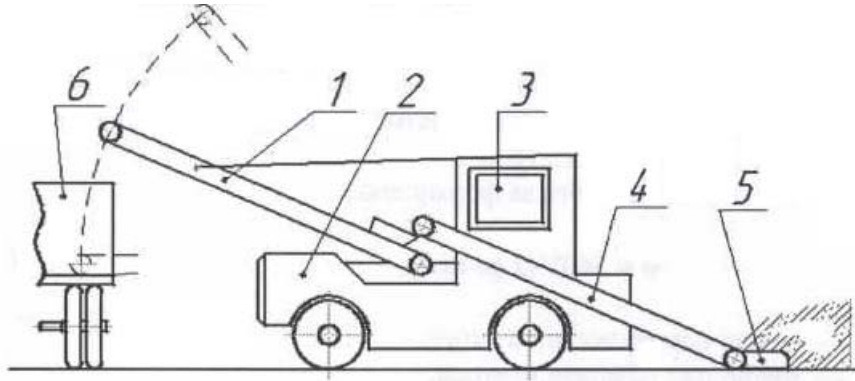


Рисунок 4.57 – Самохідний навантажувач безперервної дії

В навантажувачах безперервної дії, найчастіше, в якості основного застосовують наступні типи конвеєрів:

- скребково-стрічкові;
- елеваторно-ковшові;
- скребкові з підгрібаючими лопатками;
- стрічкові конвеєри.

Також, в таких машинах широко застосовують живильники різних типів:

- з підгрібаючими лапками;
- з зачерпуючими дисками;
- роторно-ковшові;
- гвинтові.

Продуктивність навантажувачів безперервної дії визначається, в першу чергу, продуктивністю самого живильника.

Так, для живильника виконаного у вигляді підгрібної лапи (рис. 4.57) продуктивність розраховується за залежністю:

$$Q = B \cdot a_T \cdot h_T \cdot n_n \cdot \rho, \frac{m}{год}$$

де  $B$  – ширина плити лапи, м;

$a_T$  – глибина нагрібання, що представляє собою відстань між ділянками переміщення лапи при здійсненні робочого та холостого руху (приблизно дорівнює діаметру приводного кривошипного диска), м;

$h_T$  – середня висота шару вантажу на лапі (приблизно дорівнює висоті бортів лапи), м;

$\rho$  – щільність вантажу,  $\frac{m}{m^3}$ .

$n_n$  – частота обертання приводного кривошипного диску, об/хв. (приймають  $n_n = 30..45$  об/хв)



### Роторно-ковшові живильники

Роторно-ковшові живильники вирізняються, з поміж інших транспортних машин, високою металоємністю, а отже і значною вагою. Вони застосовуються в важких умовах експлуатації для транспортування кускових та абразивних матеріалів.

Принципова схема роторно-ковшового живильника показана на рис. 4.58.

Продуктивність роторно-ковшового живильника розраховується за залежністю:

$$Q = 60 \cdot n \cdot z \cdot i \cdot \varphi \cdot \rho, \frac{m}{год}$$

де  $n$  – частота обертання, об/хв.;

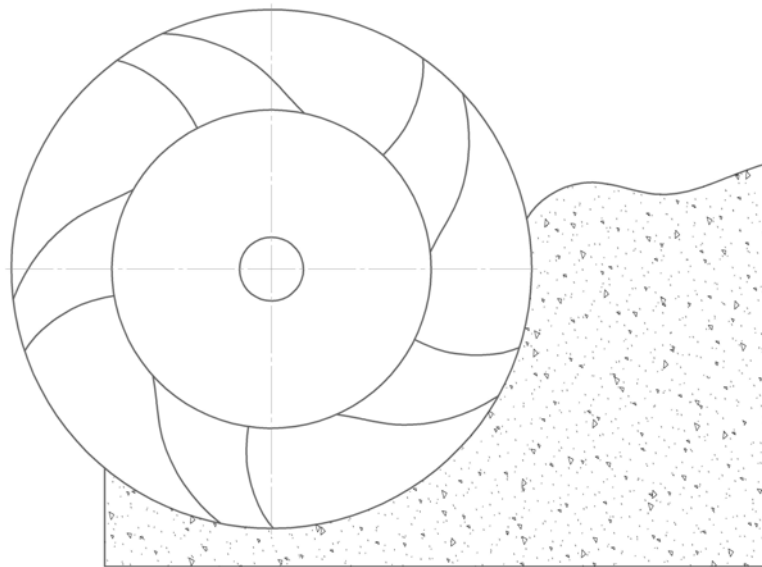


Рисунок 4.58 – Роторно-ковшовий живильник

$z$  – кількість ковшів, шт.;

$i$  – ємність ковша, л;

$\rho$  – щільність середовища, яке навантажується,  $\frac{m}{m^3}$ ;

$\varphi$  – коефіцієнт заповнення ковша.

На цьому розрахунок продуктивності типових живильників навантажувальних машин, що можуть використовуватися в заготівельному виробництві підприємств машинобудівної галузі, – закінчено.

## **5 ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА НЕТРАДИЦІЙНОЇ КОМПОНОВКИ. ВЕРСТАТИ ІЗ ЕЛЕМЕНТАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ КІНЕМАТИКИ**

Підвищення ефективності механічного обладнання потребує пошуку шляхів і методів вдосконалення механізмів. Одним із перспективних напрямків розвитку машинобудування є розробка механізмів нетрадиційної компоновки із паралельними кінематичними зв'язками. Для розширення функціональних можливостей верстатних комплексів в останні роки застосовують верстати з паралельною кінематикою, наприклад, триподи, гексаподи, гексаглайди.

### **5.1 Загальні відомості про обладнання із елементами паралельної кінематики (ЕПК)**

Механізмами із структурами (елементами) паралельної кінематики називають пристрої виконавча ланка яких з'єднана із базою (основою) за допомогою декількох незалежно керованих кінематичних ланцюгів.

Такі структури досить часто почали застосовуватись у сучасному автоматизованому обладнанні, оскільки конструктивні резерви підвищення точності обладнання класичного компоновання, багато в чому, вичерпані. Адже, в класичних верстатах, переміщення їх робочих органів здійснюється по напрямним з теоретично обмеженою точністю та жорсткістю.

Для підвищення точності позиціонування (а значить і обробки), найчастіше використовуються нові пристрої із ЧПК з вищою швидкістю та дискретністю позиціонування.

В залежності від кількості паралельних кінематичних ланцюгів (штанг змінної довжини) механізми з ЕПК, найчастіше бувають: триподами (три штанги змінної довжини), див. рис. 5.1 та гексаподами (шість штанг змінної довжини), див. рис. 5.2.

Звичайно, за необхідності, може бути і інша кількість штанг (більш детально класифікацію механізмів із ЕПК наведено у наступному розділі цього посібника).

Удосконалені сучасні верстатні комплекси із традиційною та паралельною кінематикою широко застосовуються в авіакосмічній, автомобільній, кораблебудівній та інших машинобудівних галузях промисловості.

Сучасний стан промисловості та економіки України в значній мірі вимагає прискореного розвитку й переобладнання виробничих систем машинобудівних виробництв, які є базою і джерелом розвитку всіх галузей, за рахунок впровадження прогресивних технологій, високопродуктивного механообробного обладнання, технологічних комплексів, виробничих модулів і систем керування.

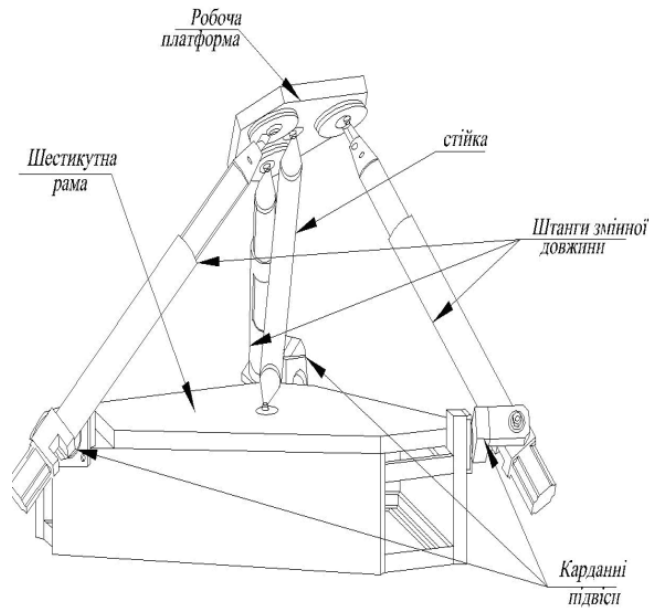


Рисунок 5.1 – Конструктивні рішення механізмів три подів

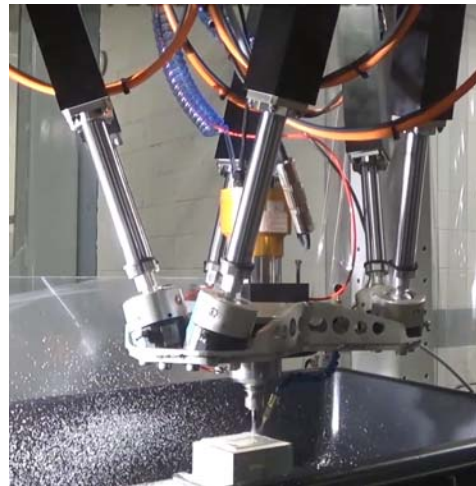
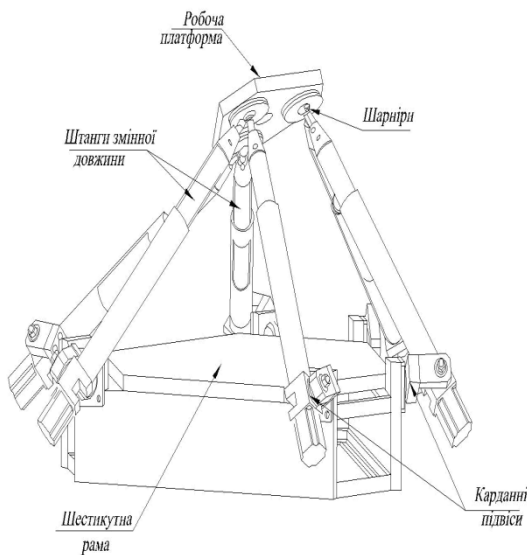


Рисунок 5.2 – Конструктивні рішення механізмів типу гексапод

Як показує світовий досвід, основною тенденцією розвитку машинобудівних виробництв є створення й впровадження верстатних комплексів у вигляді гнучких виробничих модулів з автоматизованою системою керування та гнучких виробничих осередків. Запропонована класифікація цих сучасних верстатних комплексів (рис. 5.3) з якісно новим рівнем технічного оснащення та організації виробничих процесів, які визначаються використанням не тільки високоавтоматизованого основного технологічного обладнання, але і таких складових, як автоматизовані транспортно-накопичувальні підсистеми, контрольно-вимірвальна і діагностична апа-

ратура, засобів обчислювальної техніки, що безпосередньо беруть участь у виробничому процесі і забезпечують автоматизацію функцій технологічного, організаційно-технічного та організаційно-економічного керування процесами виготовлення продукції, створені гнучкі виробничі системи [3].



Рисунок 5.3 – Структурні зв’язки сучасного верстатного комплексу

Сучасний верстатний комплекс, введений у ці системи, – це переналагоджувальна на задану номенклатуру виробів одиниця основного технологічного обладнання, оснащена пристроями програмного керування, заміни інструменту, виробів (автооператором або роботом), накопичувачами початкового матеріалу та напівфабрикатів, пристроями видалення відходів, контролю та підналагодження технологічного процесу, а також корекції

якості виробу [4]. Він може працювати в автоматизованому режимі і бути вмонтованим в систему більш високого рангу.

Ефективність використання верстатних комплексів значною мірою визначається функціональним призначенням системи керування обладнанням, яка приймається як базова для основного технологічного обладнання. Слід зазначити, що область раціонального використання верстатних комплексів розповсюджується як на одиничне виробництво, так і на масове, що є результатом розширення функціональних можливостей сучасних верстатних комплексів. Однак одні й ті самі верстатні комплекси не можуть ефективно використовуватися в різних умовах виробництва, тому й технічні рішення для одиничного, серійного та масового виробництва відмінні. Але в будь-яких випадках зберігаються характерні особливості верстатних комплексів, а саме: гнучкість та використання систем керування. До сьогоднішнього часу особлива увага приділялась питанням технічного забезпечення верстатних комплексів при їх розробці, але вже перший досвід експлуатації довів, що розкрити потенціальні можливості систем і забезпечити їх максимальну ефективність стає можливим, якщо технологічному проектуванню верстатних комплексів передують досконалі технологічна розробка. Основними напрямками роботи є дослідження високотехнологічного обладнання, розробка наукових основ теорії проектування обладнання, а також визначення його характеристик.

В обладнанні використовуються системи приводів, високошвидкісні шпиндельні вузли, складні інтелектуальні системи керування. Теоретичне узагальнення роботи обладнання в комплексі є основним напрямком наукової діяльності. Розробка наукових проблем даного напрямку потребує нових підходів. По суті, необхідно створити глибокі теоретичні основи для опису характеристик складних механічних систем. Основним методом дослідження є математичне моделювання, що проводиться з застосуванням сучасних інформаційних технологій. За самою природою методу математичного моделювання необхідно узгоджувати моделі, які працюють у режимі реального часу, із моделями, реалізованими в режимі віртуального часу. Це і є основною задачею роботи, де розглядається взаємодія різномасштабних процесів [5,6].

У машинобудуванні до 70-80% об'єму продукції, що випускається, виробляється в умовах багатомасштабного дрібносерійного і серійного виробництва, яке характеризується великим числом і різноманітністю типів технологічного та допоміжного обладнання, розгалуженою і багатозв'язковою структурою систем локальної та глобальної системи автоматизованого керування, значним об'ємом і широкою номенклатурою продукції.

Рівень автоматизації виробничих процесів визначається рядом чинників: станом розвитку техніки, технології та засобів виробництва; кваліфікацією трудових ресурсів; рівнем культури виробництва з урахуванням

звільнення працюючих від монотонної й важкої праці; ступенем дотримання вимог техніки безпеки та промислової санітарії; ефективністю використання обладнання; інтервалом тривалості підготовки виробництва при переході на виготовлення нових видів продукції тощо.

Важливими показниками функціональних можливостей верстатних комплексів є гнучкість, надійність і злагодженість роботи всіх складових елементів, що забезпечується автоматизованою системою керування. Поняття гнучкості розглядалося з позиції забезпечення гнучкості виробничого потенціалу, приділяючи основну увагу технічній та технологічній гнучкості, залишаючи слабо освітленою проблему розробки нової продукції. Структурна гнучкість виробничого потенціалу означає здатність його елементів змінювати свою внутрішню структуру і властивості компонентів, які входять до них, тобто можливість їх самовдосконалення без зміни його потенціалу загальної структури. Всі питання, пов'язані з розширенням функціональних можливостей верстатних комплексів підрозділяють на групи: аналізу, розробки, пілот-проекту, проектування, моделювання, діагностування та контролю. Аналіз вищезазначених питань дозволяє розглядати системи на таких рівнях: концептуальному рівні створення методології прийняття рішення, розробки методики розв'язання окремих задач в рамках систем, розробки моделі та точного алгоритму розрахунку й розв'язання конкретної задачі проектування, узагальнення експериментальних і розрахункових параметрів.

На підставі дослідження діючих верстатних систем та аналізу різних літературних джерел і чинних стандартів сформульовані загальні вимоги до системи керування процесами механічної обробки, виконання яких забезпечує надійну роботу системи керування:

- технологічне обладнання повинно швидко переналагоджуватися практично за рівних витрат часу і засобів на випуск серійних, дрібносерійних і одиничних виробів;

- виробничий процес повинен протікати в умовах практично «безлюдної» технології і може бути неперервним протягом доби, що різко підвищує корисне завантаження технологічного обладнання;

- складні програми керування, розроблені для випуску нового виробу, практично без додаткових витрат ресурсів повинні тиражуватися та впроваджуватися на аналогічному технологічному обладнанні, що істотно спрощує процес підготовки виробництва.

Важливим напрямком підвищення продуктивності обробки є значне скорочення основного та допоміжного часу за рахунок інтенсифікації режимів реалізації процесів, що пов'язано зі значним підвищенням величини прискорень (обробка складних фасонних поверхонь фрезеруванням) і частотою зміною напрямку руху виконавчого органу, реалізується з аналогічною кількістю гальмувань і прискорень, що вимагає значного поліпшення динамічних характеристик технологічного обладнання. Такі режими знач-

но підвищують навантаження на рухомі елементи, тому їх маси необхідно зменшувати до мінімально можливої величини. Але прагнення підвищення динамічних характеристик за рахунок виготовлення рухомих елементів з надлегких матеріалів цю проблему не вирішує. Необхідна кількість однофункціональних механізмів та систем технологічного обладнання зумовлює значну номенклатуру вузлів і деталей, які необхідно виготовити з високою точністю, а також витрати значного часу на технологічну підготовку та виробництво продукції.

Традиційне технологічне обладнання, в основному, створювалось для конкретного методу обробки або процесу (токарне, свердлувальне, фрезерне). Технологічні можливості верстатних комплексів визначаються кінематичною структурою, компонованням, конструктивним виконанням, рівнем автоматизації та технічною характеристикою.

Технологічне обладнання з паралельною кінематикою має більш широкий спектр технологічних можливостей, ніж традиційні верстати внаслідок забезпечення виконавчому органу до шести ступенів свободи, що дозволяє йому здійснювати переміщення у просторі відносно всіх осей координатної системи та реалізувати майже всі схеми формоутворення поверхонь деталей з усіх сторін, крім базових, а також інші процеси виготовлення продукції за одне встановлення деталі.

Практична реалізація всіх схем формоутворення поверхонь деталей зумовлює основну властивість подібного обладнання - суміщення методів обробки та процесів з різним за фізичною природою технологічним впливом: абразивну, електрофізикохімічну обробки, пластичне деформування та зварювання, а також процеси складання машин, фарбування, випробування та вимірювання, що визначає значно більший рівень інтеграції операції у порівнянні з іншим технологічним обладнанням.

## **5.2 Класифікація верстатів з паралельною кінематикою**

На сьогоднішній день механізми паралельної кінематики (МПК) представлені широким розмаїттям їх виконання [1-3]. Механізми паралельної структури (МПС) можна класифікувати за такими ознаками: за видом штанг, за кількістю штанг, за характером розташування шарнірів на платформі і основі, по розташуванню шпинделя тощо.

По виду штанг верстати з паралельною кінематикою діляться:

- на механізми зі штангами змінної довжини (біглайди, триподи, пентаподи, гексаподи);
- на механізми зі штангами постійної довжини (лінапод, біглайд, триглайд, ортоглайд, гексаглайд, ротопод, дельта, four-rod).

На рис. 5.4 приведена схема класифікації МПС за видом і кількістю штанг.

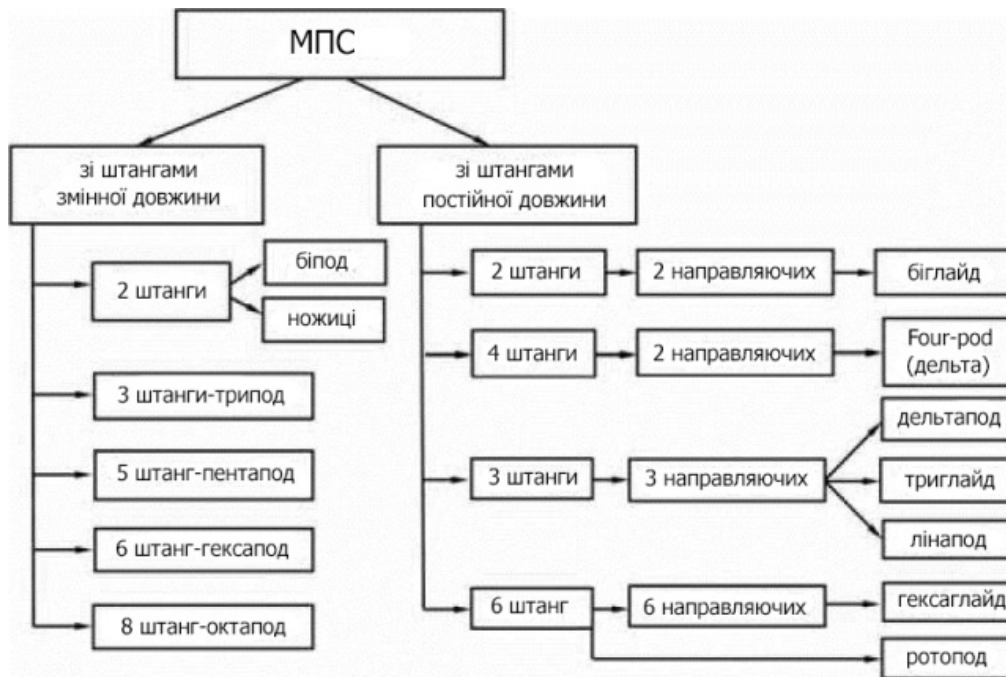


Рисунок 5.4 – Типова схема класифікації МПС за видом і кількістю штанг

Механізм трипод [1] складається з трьох симетрично встановлених телескопічних штанг, пов'язаних шарнірно одним кінцем з РО, а іншим – з нерухомою основою. Ці штанги отримують живлення від окремих двигунів і працюють на розтяг-стиск. Додаткова неприводна штанга розташована в центрі. Вона сприймає згинальні деформації від інструментальної головки і тому повинна мати значно більші розміри в порівнянні з приводними штангами.

Серед триподів найбільш вдалою розробкою є лінійка верстатів Tricert, фірми Neos Robotics (Швеція) (рис. 5.5), що з'явилися в 1992 р. Верстати об'єднують в собі функції як робота, так і верстата [3].



Рисунок 5.5 – Один із перших верстатів фірми Neos Robotics



Гексапод (від лат. «гекса» – шість) виконаний на базі шести механізмів поступального руху [4].

Аналізуючи типові кінематичні схеми маніпуляційних роботів, а також металорізальних верстатів, можна відзначити властиві їм дві особливості:

- 1) кінематичні пари розташовані паралельно або перпендикулярно один до одного;
- 2) виконавчі ланки з'єднані в послідовний кінематичний ланцюг.

У них явно простежується біонічний підхід, адже наведені схеми маніпуляторів (особливо антропоморфні структури типу «PUMA» і «SCARA» [5]) аналогічні з кінематикою людської руки (рис 5.6) (яка має 27 ступенів свободи, з них 20 – забезпечуються кистю).

Ці структури забезпечують промисловим роботам високу маніпулятивність і великий кут сервісу, разом з тим вони мають і цілий ряд істотних недоліків:

- низький показник вантажопідйомності маніпулятора, що обумовлено послідовною схемою з'єднання ланок. Дійсно, кожен привод змушений переміщувати не тільки корисне навантаження, але й всі наступні по ланцюгу ланки;

- похибки в переміщеннях всіх шарнірів підсумовуються на кінцевій точці маніпулятора, що призводить до низької точності позиціонування маніпуляторів в порівнянні з машинами декартового компонування;

- відносно низька жорсткість маніпуляційних роботів, так як пружне відхилення робочого органу є результатом накопичення деформацій по ланцюгу по всіх ступенях рухомості робота. Причому вагові коефіцієнти цієї суми пропорційні відстаням від кінцевої точки до осей відповідних шарнірів.

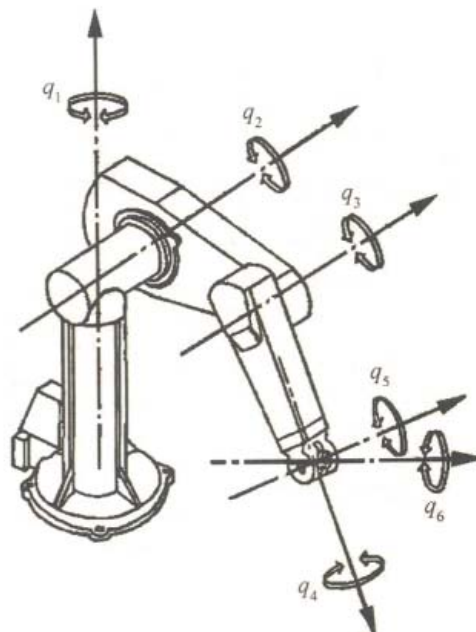


Рисунок 5.6 – Схема маніпулятора промислового робота «PUMA»

Один з нових і ефективних шляхів подолання перерахованих недоліків - це створення машин з паралельною кінематикою (МПК). В основі їх конструктивної схеми лежить зазвичай платформа Стюарта [4, 5]. Машина має основу і рухому платформу, з'єднані декількома стержнями змінної довжини (рис. 5.7) [4, 5].

Стержні закріплені на кінцях шарнірами, у яких не менше двох ступенів рухомості. На рухомій платформі кріпиться робочий орган (наприклад, інструментальна або вимірювальна головка). Змінюючи довжини стержнів за допомогою приводів лінійного переміщення, можна керувати переміщеннями та орієнтацією рухомої платформи, а, отже, і жорстко пов'язаного з нею робочого органу.

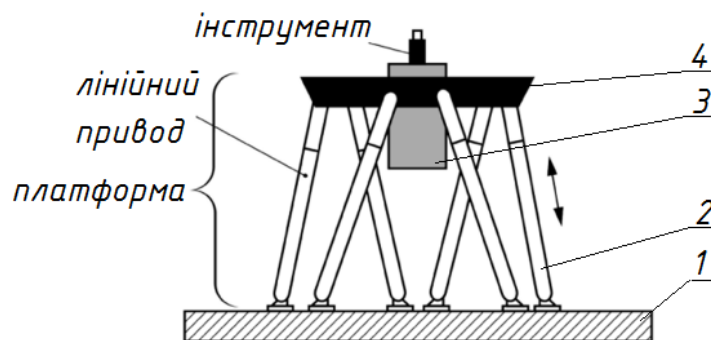


Рисунок 5.7 – Конструктивна схема мехатронної системи типу «верстат-гексапод»

Для універсальних машин, де потрібне управління просторовим переміщенням робочого органу з шести ступенями свободи, необхідно застосування відповідно шести стержнів. У світовій літературі такі машини називаються "гексапод". Якщо керованих стержнів три, то МПК називається трипод (рис. 5.8).

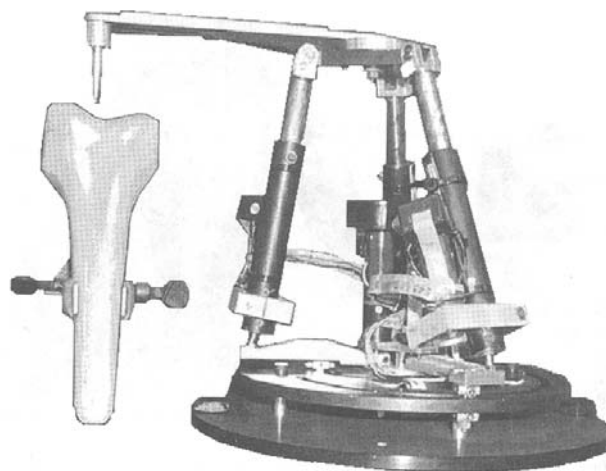


Рисунок 5.8 – Загальний вигляд ВПК типу «трипод», який сканує поверхню складної форми

Основними перевагами машин з паралельною кінематикою типу «трипод» є:

- висока точність виконання рухів;
- високі швидкості і прискорення робочого органу;
- відсутність традиційних напрямних і станини (в якості несучих елементів конструкції використовуються приводні механізми), тому покращені масогабаритні параметри і низька матеріаломісткість;
- висока ступінь уніфікації мехатронних вузлів, що забезпечує технологічність виготовлення збірки машини і конструктивну гнучкість.

Підвищені точнісні показники МПК типу «гексапод» обумовлені наступними ключовими факторами:

1) на даних верстатах не відбувається суперпозиція (накладення) похибок позиювання ланок при переході від бази до робочого органу, що явно відрізняє гексапод від кінематичних схем з послідовним з'єднанням ланок;

2) стрижневі механізми мають високу жорсткість, так як при наявності двоступеневих шарнірів кріплення стрижні не схильні згинальним моментам і працюють тільки на розтяг-стиск [5];

3) застосовуються прецизійні датчики зворотного зв'язку та вимірювальні системи (наприклад, лазерні), а також використовуються комп'ютерні методи корекції переміщень робочого органу.

Завдяки підвищеній точності МПК можуть застосовуватися не тільки як оброблювальне обладнання, але й в якості вимірювальних машин. Прикладами можуть служити трипод-сканер для вимірювання геометричних параметрів кісток [6]. Отримана цифрова інформація про геометрію еталонного зразка передається потім в CAD/CAM-систему для автоматизованого виробництва його копій. Ця ж МПК може виконувати й технологічні операції з обробки заготовки. Висока жорсткість МПК дозволяє застосовувати їх на силових технологічних операціях, наприклад згинальних для виробництва складних профілів і труб.

Слід особливо підкреслити, що всі МПК побудовані на мехатронних принципах. Особливості математичного забезпечення, програмування та управління цим класом машин обумовлені тим, що їх базис виконання рухів (система координат) є косокутним. Дійсно, за узагальнені координати для МПК зазвичай приймають довжини керованих стрижнів (тому їх іноді називають л-координатами). Тоді координатні вісі машини можуть перетинатися в загальному випадку під довільними кутами, утворюючи косокутну систему координат. Однак косокутність і нелінійність координатного базису машини аж ніяк не веде до ускладнення аналітичного вирішення завдань управління і моделювання.

На рисунку 5.9 приведена принципова схема верстата-гексапода.

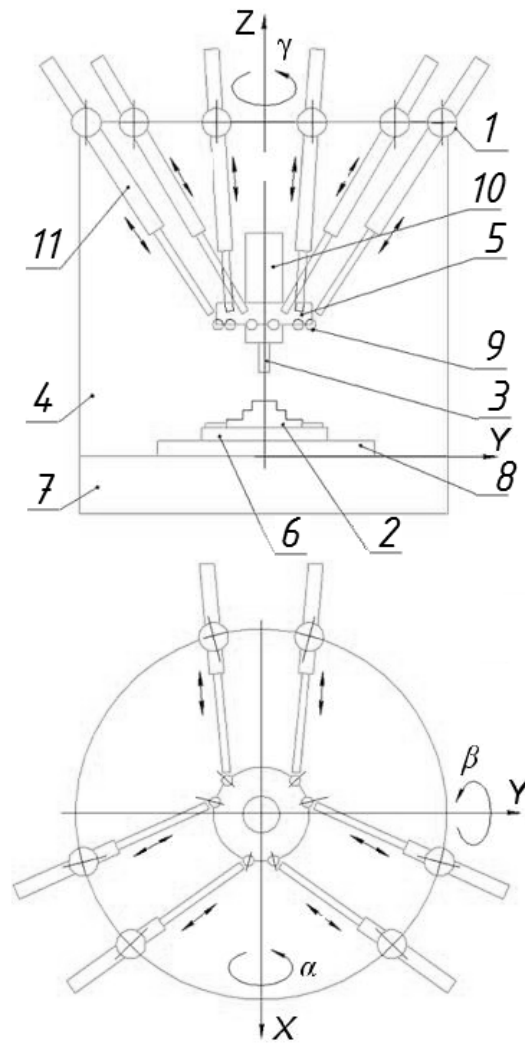


Рисунок 5.9 – Принципова схема верстата-гексапода:

1 – шарнір основи; 2 – заготовка; 3 – інструмент; 4 – основа; 5 – платформа; 6 – пристосування; 7 – станина; 8 – стіл; 9 – шарнір платформи; 10 – шпиндельний вузол; 11 – штанги

Прикладом гексапода може слугувати, наприклад, багатоцільовий фрезерний верстат OKUMA PM-600 (Японія) (рис. 5.10) [5].

Механізми типу «трипод» і «гексапод» мають високу жорсткість. Їх слід використовувати в верстатах для високоточної обробки деталей з точним позиціонуванням виконавчого органу. Триподи конструктивно простіше гексаподів і більш пристосовані до практичного застосування. Гексапод, що оснащуються шістьма штангами, вимагають значно більш складного програмного забезпечення [1].

Пентапод побудований на основі трьох основних і двох додаткових штанг змінної довжини. На рис. 5.11 показана компоновочна схема верстата мод. «METROM Pentapod P800», представленого компанією Мейют в 2009 р. як абсолютно новий верстат з паралельною кінематикою.



Рисунок 5.10 – Загальний вигляд верстату OKUMA PM-600

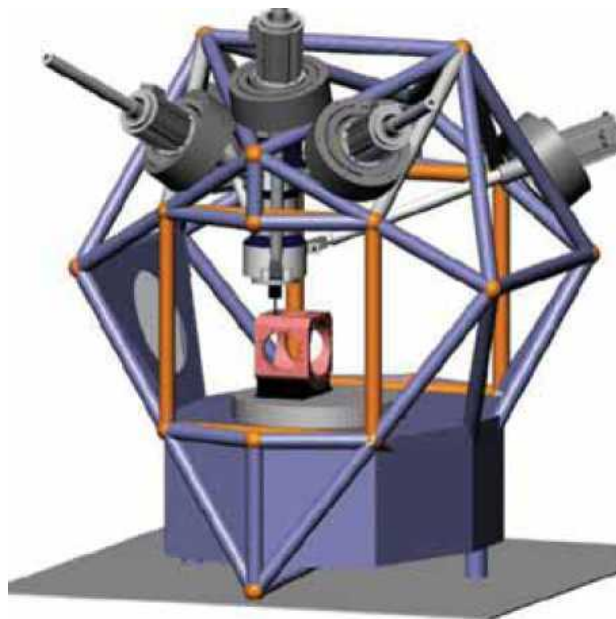


Рисунок 5.11 – Верстат мод. «METROM Pentapod P800»

Каркас верстата змонтований у вигляді геометричної фігури ікосаедр. Три верхніх шарніра з п'яти розташовані на трьох сусідніх гранях ікосаедра, а два шарніра - на віддалених від них гранях.

Шарніри платформи розташовані на двох рівнях: три шарніра в безпосередній близькості до інструмента, а два шарніра, навпаки, вилучені. Така компоновка забезпечує виконавчому органу нахил на кут більше  $90^\circ$ .

Відмінною рисою механізмів з постійною довжиною штанг є великий кут гойдання вихідної ланки і переміщення її тільки по одній координаті. У більшості таких механізмів штанги шарнірно закріплені на каретках, що переміщуються по напрямних, розташувannya і кількість яких може бути різна. На рис. 5.12 наведені схеми гексаглайда і лінапода.

У гексаглайда напрямні розташовані в одній площині. Одним з перших дане технічне рішення втілено в спільну розробку Інституту машинобудування IWF (Німеччина) і Швейцарського федерального технологічного інституту ЕТН в шести-координатному фрезерному верстаті, що отримав назву Hexaglide [7]. Верстат Hexaglide має шість прямолінійних напрямних, розташованих паралельно одна одній в горизонтальній площині з орієнтацією виконавчого органу до заготовки зверху вниз. Перевагою верстата є можливість вільного доступу до робочої зони з усіх боків для зручності обслуговування, але «підвісна» компоновка пред'являє жорсткі вимоги до металоємності конструкції та обмеження робочих зусиль при фрезеруванні [1].



Рисунок 5.12 – Схеми механізмів с постійною довжиною штанг:  
 а – гексаглайд; б – лінапод;  
 1 – платформа; 2 – штанга; 3 – каретка; 4 – напрямна

У 2001 р. в Штутгартському університеті був розроблений шестикоординатний фрезерний верстат Linarod (рис. 5.13) вертикальної компоновки, який мав шість окремо керованих штанг, що спираються на три колони з співвісним переміщенням по напрямних. Шість штанг розташовані вертикально по дві на кожній колоні. Вертикальна компоновка верстата Linarod забезпечує підвищену жорсткість конструкції за рахунок несучої основи у вигляді трикутної призми [10].

Механізми типу «дельта» (дельтапод) представляють собою замкнутий кінематичний ланцюг, що складається з штанг постійної довжини, розташованих попарно паралельно і з'єднаних одним кінцем з платформою, до якої кріпиться інструмент, а іншим – з провідним напрямним пристроєм або з ведучим поворотним пристроєм [2].

В металорізальних верстатах застосовуються механізми з ведучим напрямним пристроєм.

У дельтапода на рисунку 5.14 штанги розташовані між каретками підстави і рухомий платформою так само, як у лінапода. Цей механізм був розроблений фірмою Renault Automation (Франція) і використаний в конструкції верстата мод. Urane SX [9]. Дельта-механізми мають підвищену маневреність і розширену кордон робочої зони, але порівняно невисоку жорсткість.

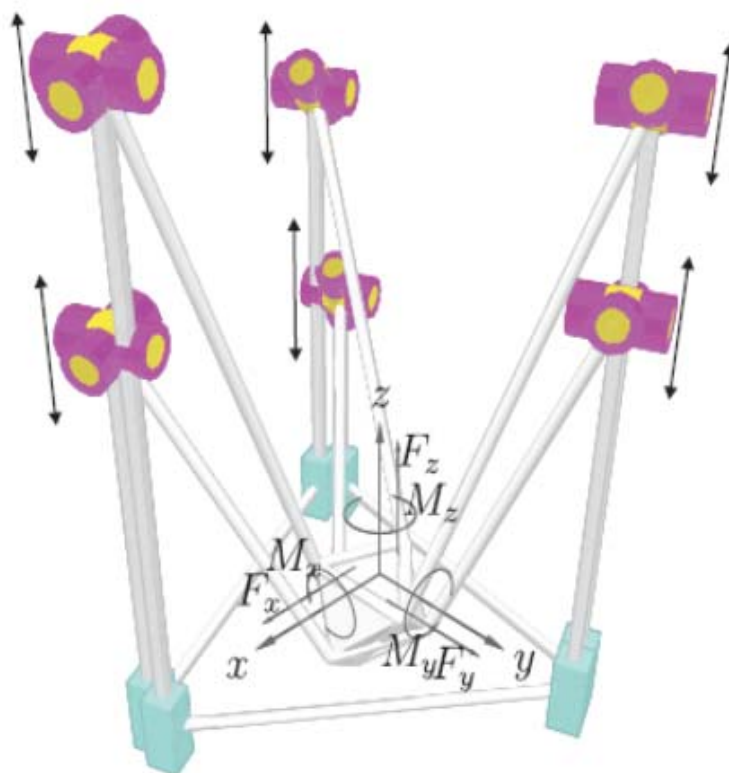


Рисунок 5.13 – Схема механізму лінапод

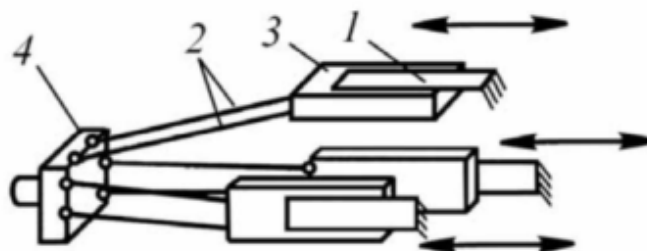


Рисунок 5.14 – Механізм «дельта»:  
1 - напрямна; 2 - штанга; 3 - каретка; 4 – платформа

Технічні характеристики верстата Urane SX [11] відносно швидкостей координатних переміщень і прискорень перевищують всі відомі моделі верстатів з МПК.

### 5.3 Варіанти розміщення шарнірів і компоновки верстатів з паралельною кінематикою

На рисунку 5.15 показані можливі варіанти розташування шарнірів на платформі і підставі гексапод.



Рисунок 5.15 – Типові варіанти розміщення шарнірів в гексаподах

На рис. 5.16 приведені типові схеми найбільш поширених варіантів компоновки верстатів з паралельною кінематикою.

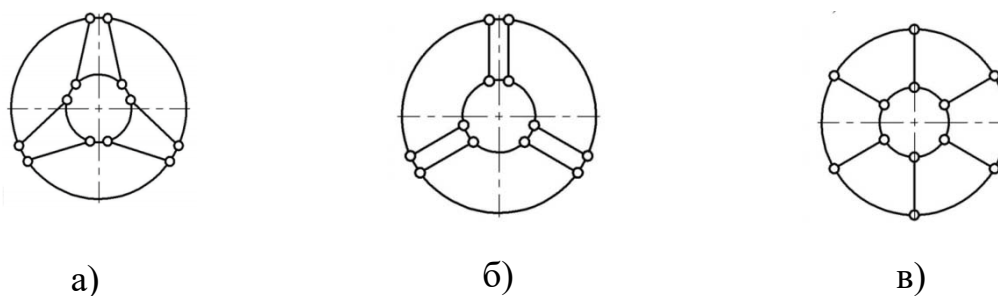


Рисунок 5.16 – Схеми варіантів розташування виконавчих ланок ВПК (вид знизу):

а), б) – попарна схема розташування виконавчих ланок; в) – рівномірна схема розташування виконавчих ланок



Компонування на рис. 5.14 (а, б) застосовуються в більшості металорізальних верстатів-гексаподів. Рівномірна компоновка (рис. 5.14, в) не знайшла застосування на практиці через недостатню жорсткість. Однак дана компоновка широко застосовується при розрахунках та аналізі кінематики і характеристик механізмів даного класу.

Прикладом розташування шарнірів на одній висоті може служити верстат OKUMA PM-600 [11].

Прикладами верстатів з розташуванням шарнірів на різній висоті можуть служити багатоцільовий верстат MIKROMAT 6X і токарний верстат НОН1000. У верстаті мод. MIKROMAT 6X шарніри підстави і платформи розташовані на різній висоті. Шарніри підстави верстата НОН1000 розташовані парами один над іншим, а шарніри платформи - на одній висоті.

По розташуванню шпинделя розрізняють механізми:

- з внутрішнім розташуванням шпинделя щодо контура штанг;
- із зовнішнім розташуванням шпинделя щодо контура штанг.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Авцин В. И. Эксплуатация автоматических линий с использованием программируемых командоаппаратов / В. И. Авцин, Л. И. Фридман. – Станки и инструмент, 1981. – № 4. – С. 3–5.
2. Васильев И. А. Автоматическая линия для обработки деталей типа валов / И. А. Васильев. – Станки и инструмент. 1975. – № 4. – С. 31 – 33.
3. Волчкевич Л. И. Автоматы и автоматические линии. Ч. 1. Основы проектирования. Учеб. пособие для вузов. / Л. И. Волчкевич ; [Под. ред. Шаумяна Г. А.]. – М., Высш. школа, 1986. – 230 с.
4. Волчкевич Л. И. Автоматы и автоматические линии. Ч. 2. Системы управления и целевые механизмы. Учеб. пособие для вузов. / Л. И. Волчкевич ; [Под. ред. Шаумяна Г. А.]. – М., Высш. школа, 1986. – 230 с.
5. Вороничев Н. М. Автоматические линии из агрегатных станков / Н. М. Вороничев, Ж. Э. Тартаковский, В. Б. Генин – М.: Машиностроение, 1979. – 487 с.
6. Генин В. Б. Транспортные устройства автоматических линий из агрегатных станков / В. Б. Генин, Ж. Э. Тартаковский, В. А. Бондаренко. – М.: НИИМАШ, 1978. – 36 с.
7. Горелик Г. И. Транспортные устройства автоматических линий с приспособлениями-спутниками / Г. И. Горелик, М. Я. Василевский, М. И. Беранский. – М.: НИИМАШ, 1976. – 44 с.
8. Камхин Я. Б. Контрольные автоматы для автоматических линий / Я. Б. Камхин, Е. М. Голоульников, И. Н. Хаскин. – М.: Машиностроение, 1980. – 246 с.
9. Косилова А. Г. Точность обработки деталей на автоматических линиях / А. Г. Косилова. – М.: Машиностроение, 1976. – 224 с.
10. Кузнецов Ю. М. Агрегатно-модульне технологичне обладнання: В 3-х частинах. / В. А. Крижанівський, Ю. М. Кузнецов, А. М. Кіріченко та інші ; [Під ред. Ю. М. Кузнецова]. – Кіровоград, 2003. – ч.1 – 422с. – Ч. 2 – 286с. – Ч. 3 – 507с.
11. Куратцев Л. Е. Приборы размерного контроля на элементах пневмоавтоматики / Л. Е. Куратцев., И. М. Цирульников. – М. : Машиностроение, 1977. – 134 с.
12. Кутай А. К. Справочник контрольного мастера / А. К. Кутай, А. Б. Романов, А. Д. Рубинов. – Л. : Лениздат, 1980. – 50 с.
13. Федоров С. И. Наладка агрегатных станков / С. И. Федоров, В. Б. Генин. Ж. Э. Тартаковский, Л. И. Фридман. – М. : Машиностроение, 1982. – 250 с.
14. Немировский П. З. Испытания автоматических линий по показателям надежности и производительности / П. З. Немировский, М. А. Бромберг. – Испытания автоматических линий по показателям надежности и производительности. – Станки и инструмент, 1978. – № 12. – С. 3–6.

15. Ольштейн Я. А. Надежность автоматов для контроля линейных размеров / Я. А. Ольштейн. – М. : Машиностроение, 1979. – 140 с.

16. Плашей Г. И. Приспособления агрегатных станков и автоматических линий / Г. И. Плашей, Н. У. Марголин, Л. Я. Пирович. – М. : Машиностроение, 1977. – 285 с.

16. Сибикин М. Ю. Технологическое оборудование. Металлорежущие станки: Учебник / М. Ю. Сибикин. – М. : ФОРУМ: ИНФА-М, 2005. – 400 с., ил. – ISBN: 978-5-91134-448-1

17. Схиртладзе А. Г. Технологические процессы в машиностроении : Учебник / А. Г. Схиртладзе, С. Г. Ярушин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол: ТНТ, 2008. – 524 с.

18. Харченко А. О. Станки с ЧПУ и оборудование гибких производственных систем: Учебное пособие / А. О. Харченко. – К. : ИД "Профессионал", 2004. – 304 с. – ISBN 966-8556-45-3

*Електронне навчальне видання  
комбінованого використання.  
Можна використовувати в локальному та мережному режимах*

**Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович,  
Манжілевський Олександр Дмитрович**

**ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ.  
ЧАСТИНА 2.  
АВТОМАТИЧНІ ЛІНІЇ. ГНУЧКІ ВИРОБНИЧІ  
СИСТЕМИ. ТРАНСПОРТНО-ЗАВАНТАЖУВАЛЬНІ  
ПРИСТРОЇ**

*Навчальний посібник*

Рукопис оформив *О. Манжілевський*

Редактор *О. Ткачук*

Оригінал-макет підготував *О. Ткачук*

Підписано до видання 15.07.2022.  
Гарнітура Times New Roman.  
Зам. № P2022-055.

Видавець та виготовлювач  
Вінницький національний технічний університет,  
Редакційно-видавничий відділ.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021.  
Тел. (0432) 65-18-06.  
press.vntu.edu.ua;  
E-mail: irvc.vntu@gmail.com.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.