

**Я.І. Проць, В.Б. Савків,  
О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук**

# **АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ**

***Навчальний посібник  
для технічних спеціальностей  
вищих навчальних закладів***

**За редакцією Я.І. Проця**

**Тернопіль  
2011**

Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук

# **АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ**

*Навчальний посібник  
для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів*

За редакцією Я.І. Проця

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

—  
Тернопіль  
2011

УДК 621. 52

A22

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" (Лист МОНУ № 1/11-9758 від 18.10.2011р.)*

**Рецензенти:**

**Рак Юрій Петрович** — доктор технічних наук, професор кафедри управління інформаційною безпекою Львівського державного університету життєдіяльності

**Букетов Андрій Вікторович** — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технічної механіки, інженерної і комп'ютерної графіки Херсонського державного морського інституту

**Карпінський Микола Петрович**— доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерної інженерії Тернопільського національного економічного університету

**Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук**

**А 22** Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 344с.

**ISBN978-966-305-038-6**

В умовах автоматизованого виробництва актуальним завданням є комплекс заходів по розробці нових, прогресивних технологічних процесів і створення на їх основі нових високопродуктивних машин і систем машин. Автоматизація повсюдно рахується головним, найбільш перспективним напрямком в розвитку промислового виробництва. Завдяки звільненню людини від безпосередньої участі у виробничих процесах, а також високій концентрації основних операцій значно поліпшуються умови праці і економічні показники виробництва. Автоматизація промислових виробництв неоднакова. Вона дає найбільший ефект в виробництвах з масовим випуском продукції і порівняно працездатними технологічними процесами.

Важливим завданням автоматизації є отримання та опрацювання інформації про стан усіх ланок виробничого процесу, систем керування процесами виробництва, обліку продукції та оперативного планування її випуску, яка на даному етапі вирішується за допомогою ЕОМ. На основі аналізу та синтезу технологічних процесів автоматизованого виробництва, тобто знань технологічних основ автоматизації, проектування автоматичних машин і гнучких комплексів, необхідні знання й уміння щодо вибору автоматизованого техпроцесу за критеріями високої продуктивності та якості.

Теоретичною основою автоматизації виробничих процесів є теорія продуктивності, яка формує основні закони побудови автоматизованого виробництва, дозволяє вирішувати конкретні завдання сьогодення.

Автоматизація виробничих процесів висвітлює результати теоретичних та експериментальних досліджень в галузі створення і впровадження у виробництво автоматичного обладнання різноманітного призначення, а саме технічних засобів транспортування та подачі на технологічні операції, обладнання викінчувально виробництва та зміцнення виробів, автоматичних ліній, систем автоматичного керування.

В автоматичних системах керування виробничими процесами важливу роль відіграють системи автоматичного регулювання (САР).

Вивчення систем автоматизації проводиться з урахуванням суті й закономірностей технологічних процесів як об'єктів керування, а також розроблення науково обґрунтованих методів автоматизації виробництва.

Навчальний посібник розроблено у відповідності з навчальною програмою курсу "Автоматизація періодичних технологічних процесів" і рекомендовано для студентів спеціальностей 7.050202.01 „Автоматизоване управління технологічними процесами” 7.050202.02 „Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва”.

**Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів**

|                |                                                |
|----------------|------------------------------------------------|
| <b>Г АВ</b>    | - гнучке автоматизоване виробництво            |
| <b>П Р</b>     | – промислові роботи;                           |
| <b>А М</b>     | – автоматичні маніпулятори;                    |
| <b>А</b>       | – автооператори;                               |
| <b>СПК</b>     | – система програмованого керування;            |
| <b>МС</b>      | – механічна система;                           |
| <b>ІС</b>      | – інформаційна система;                        |
| <b>М</b>       | – маніпулятори;                                |
| <b>В П Р</b>   | – виробничі промислові роботи;                 |
| <b>П Т П Р</b> | – підйомно-транспортні промислові роботи;      |
| <b>У П Р</b>   | – універсальні промислові роботи;              |
| <b>Ц П К</b>   | – циклове програмне керування;                 |
| <b>А П К</b>   | – аналогове програмне керування;               |
| <b>Ч П К</b>   | – числове програмне керування;                 |
| <b>З П</b>     | – захоплюючі пристрої;                         |
| <b>Р Т К</b>   | – робото-технічний комплекс;                   |
| <b>О Ж Ф</b>   | – область жорсткого фіксування;                |
| <b>З У П</b>   | – захоплювально - утримуючі пристрої;          |
| <b>З О П</b>   | – захоплювально - орієнтуючі пристрої;         |
| <b>З С П</b>   | – захоплювально - складальні пристрої;         |
| <b>З К П</b>   | – захоплювально - контролюючі пристрої;        |
| <b>С З П</b>   | – струменеві захоплюючі пристрої;              |
| <b>Е О М</b>   | – електронно-обчислювальна машина;             |
| <b>С П Р</b>   | – складальні промислові роботи;                |
| <b>Г В С</b>   | – гнучка виробнича система;                    |
| <b>В С</b>     | – виробничі системи;                           |
| <b>С А Р</b>   | – система автоматичного регулювання;           |
| <b>У Л П</b>   | – управляючий логічний пристрій;               |
| <b>С У</b>     | – система керування;                           |
| <b>О У</b>     | - об'єкт керування;                            |
| <b>В О</b>     | – вимірювальні органи;                         |
| <b>А Л</b>     | –автоматична лінія;                            |
| <b>Т р П</b>   | -транспортні пристрої;                         |
| <b>С Г</b>     | –силові головки;                               |
| <b>А Р Л</b>   | –автоматичні роторні лінії;                    |
| <b>Л М</b>     | –лотковий магазин;                             |
| <b>Б З О П</b> | –бункерні завантажувальні-орієнтуючі пристрої; |
| <b>З М</b>     | –затискний механізм.                           |

## ЗМІСТ

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Вступ.....                                                                                | 6   |
| 1. Основні поняття й терміни в автоматизації.....                                         | 8   |
| 1.1. Роль автоматизації виробництва в технічному прогресі.....                            | 8   |
| 1.2. Структура автоматизованих виробничих процесів в умовах різного типу виробництва..... | 12  |
| 1.3. Виробничий процес і його елементи.....                                               | 15  |
| 1.4. Послідовність автоматизації виробничого процесу.....                                 | 16  |
| 1.5. Основні поняття про виробничі системи, їх класифікація і Структура.....              | 19  |
| 1.6. Шляхи та засоби розвитку автоматизації на другому етапі.....                         | 29  |
| 1.7. Технологічність конструкцій.....                                                     | 34  |
| 2. Технологічний процес – основа автоматизації.....                                       | 37  |
| 2.1. Диференціація і концентрація операцій.....                                           | 39  |
| 2.2. Класифікаційні рівні автоматизації виробництва.....                                  | 45  |
| 2.3. Автоматизація контролю розмірів у машинобудуванні.....                               | 48  |
| 3. Автоматичні лінії.....                                                                 | 61  |
| 3.1. Типи автоматичних ліній та їх класифікація.....                                      | 61  |
| 3.2. Транспортні пристрої.....                                                            | 65  |
| 3.3. Механізми затискування і фіксації деталей.....                                       | 66  |
| 3.4. Застосування пневмотранспортування для відведення стружки.....                       | 77  |
| 3.5. Основні етапи проектування автоматичних ліній.....                                   | 87  |
| 3.6. Продуктивність автоматичних ліній.....                                               | 95  |
| 3.7. Надійність автоматичних ліній.....                                                   | 100 |
| 3.8. Роторні лінії і комплексно-автоматизовані виробництва.....                           | 103 |
| 4. Призначення і види транспортуючих механізмів автоматичних ліній.....                   | 118 |
| 4.1. Пластинчаті конвеєри.....                                                            | 124 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2. Скребкові конвеєри.....                                                                 | 129 |
| 4.3. Вагонеткові конвеєри.....                                                               | 132 |
| 4.4. Вантажоведучі конвеєри.....                                                             | 135 |
| 4.5. Інерційні конвеєри.....                                                                 | 138 |
| 4.6. Крокові конвеєри.....                                                                   | 142 |
| 4.7. Стрічкові конвеєри.....                                                                 | 145 |
| 5. Способи автоматичного живлення й орієнтування при автоматизації процесів виробництва..... | 147 |
| 6. Промислові роботи.....                                                                    | 176 |
| 6.1. Терміни, визначення та класифікація промислових робіт.....                              | 176 |
| 6.2. Захоплювальні пристрої промислових робіт.....                                           | 185 |
| 6.3. Проектування струменевих захоплювальних пристроїв промислових робіт.....                | 199 |
| 7. Автоматизація завантаження технологічного обладнання.....                                 | 216 |
| 7.1. Класифікація завантажувальних пристроїв.....                                            | 218 |
| 7.2. Методика розрахунку затискних елементів завантажувальних пристроїв.....                 | 223 |
| 7.3. Різновидності затискних механізмів (ЗМ) та їх застосування.....                         | 226 |
| 8. Технічні прилади контролю й регулювання неперервних технологічних процесів.....           | 243 |
| 8.1. Прилади контролю складу і стану речовини.....                                           | 243 |
| 8.2. Структурні схеми систем керування.....                                                  | 259 |
| 8.3. Керування гідромеханічними процесами.....                                               | 293 |
| 8.4. Керування масообмінними процесами.....                                                  | 305 |
| 8.5. Практика комп'ютерної автоматизації.....                                                | 310 |
| Список використаної літератури.....                                                          | 336 |

## ВСТУП

Автоматизація виробничих процесів – це комплекс заходів з розроблення нових, прогресивних технологічних процесів і створення на їх основі нових високопродуктивних машин і систем машин. Головний напрямок автоматизації – створення високопродуктивних технологічних процесів.

На сьогодні можна з упевненістю стверджувати, що напрямок переобладнання виробництва на основі гнучких автоматизацій усіх його процесів набув визнання в машинобудуванні. Комплексно автоматизоване машинобудівне виробництво створює умови для одночасного досягнення високої продуктивності й технологічної гнучкості, яка раніше забезпечувалась лише безпосередньою участю людини у виробничому процесі.

Актуальною є проблема зі створення інтегрованих виробничих систем. Для цього необхідне вирішення ряду важливих наукових та інженерних завдань створення технічних і програмних засобів управління, вимірювання, контролю за ходом виробництва, діагностики, маніпулювання оброблюваними деталями, конструювання інструменту, вибір технологічної стратегії.

Причин, які б дозволяли в найкоротші терміни розробити принципи створення й упровадження гнучких автоматизованих виробництв – декілька.

Перша полягає в тому, що ГАВ дозволяє автоматизувати одиничне і дрібносерійне виробництво, яке складає на сьогодні понад 80% загального об'єму промислового виробництва. Другою причиною є стрімкий розвиток сучасних засобів обчислювальної техніки, які відрізняються простотою керування й програмування та забезпечують автоматизацію практично всіх ступенів реалізації технологічного задуму – від розроблення і конструювання до управління технологічними процесами і плануванням.

Третя, найактуальніша глибока причина полягає в тому, що гнучке автоматизоване виробництво за своєю суттю – новий напрямок виробничих сил.

Базовою складовою гнучких виробничих систем є гнучкі виробничі модулі й роботизовані технологічні комплекси на базі основного технологічного обладнання (ливарного, ковальсько-пресового, механообробного, складального), робототехнічні засоби обслуговування даного обладнання (завантаження – розвантаження, зміна інструменту, пристрої), засобів складування заготовок, деталей, інструментів і технологічної оснастки, транспортно-накопичувальні пристрої, пристрої видалення відходів виробництва.

Отже, гнучкі виробничі модулі й роботизовані технологічні комплекси спільно з іншими автоматизованими засобами забезпечення функціонування є основними виконавчими структурними одиницями сучасного гнучкого автоматизованого виробництва.



# **1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ Й ТЕРМІНИ В АВТОМАТИЗАЦІЇ**

## **1.1. Роль автоматизації виробництва в технічному прогресі**

Під виробничим процесом сучасного виробництва розуміють такий комплекс заходів, за допомогою яких здійснюється виробництво тих або інших машин, вузлів, апаратів та інших виробів.

Основним завданням промисловості є освоєння нових конструкцій машин, обладнання, засобів механізації й автоматизації, нових технологій. Для кожного напрямку різних галузей народного господарства характерна своя специфіка, яка залежить від типу виробництва, призначення, розмірів і точності машин, рівня виробництва і технічної оснащеності.

У загальному плані автоматизація виробництва – це етап машинного виробництва, що характеризується звільненням людини від безпосереднього виконання функцій управління виробничими процесами та передаванням цих функцій технічним засобам – автоматичним пристроям і системам.

Керування – це цілеспрямована дія на об'єкт, яка забезпечує оптимальний чи заданий режим його роботи.

Незалежно від мети, призначення, структури об'єкта процес керування передбачає виконання таких операцій:

отримання та попереднє опрацювання інформації про фактичний стан об'єкта, системи і навколишнього середовища;

аналіз отриманої інформації, порівняння існуючої виробничої ситуації з даною;

прийняття рішення про дію на об'єкт у певному напрямку та оцінювання можливості реалізації такої дії;

реалізація управління, тобто формування дії за допомогою відповідних технічних засобів.

При здійсненні процесу керування часто доводиться спочатку відшукувати потрібний режим роботи, а потім його підтримувати. В окремих випадках для простих об'єктів значення технологічних параметрів задають наперед, тоді системи називають системами автоматичного регулювання (САР). Сучасні автоматичні та автоматизовані системи є за своєю структурою розподіленими і базуються на мережевих технологіях із використанням мікропроцесорних засобів.

Сучасні системи автоматизації об'єднуються у складні комп'ютерно-інтегровані системи. Розглядаючи їх, слід передусім наголосити на тому, що сукупність взаємопов'язаних і взаємодіючих елементів у них призначена для досягнення певних цілей, сукупність елементів системи та характери зв'язків між ними визначаються структурою останньої. При створенні й аналізі систем автоматизації виділяють структури:

функціональну – сукупність частин для виконання окремих функцій: отримання інформації, її опрацювання, передавання та інші;

алгоритмічну – сукупність частин для виконання певних алгоритмів опрацювання інформації;

технічну – сукупність необхідних технічних засобів як відображення функціональної та алгоритмічної структур.

Основні переваги автоматизації полягають у можливостях забезпечити:

- зростання продуктивності та поліпшення умов праці;
- виконання робіт у важкодоступних та взагалі недоступних для людини сферах (радіоактивні зони, космос, окремі види металургійного та інших виробництв);

підвищення точності, якості технологічних процесів і відповідних виробів;

- зростання надійності, техніко-економічних показників, загальної культури виробництва та кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Автоматизація виробництва проводиться за допомогою автоматичних пристроїв, які можна класифікувати за різними ознаками. Однією з

найпоширеніших є класифікація за функціональним призначенням пристроїв:

- автоматичного контролю та сигналізації;
- автоматичного захисту;
- обчислювання;
- автоматичного керування.

Пристрої автоматичного контролю та сигналізації забезпечують контроль за перебігом технологічних процесів, станом приміщень та відповідно сигналізацією. За нормальних умов процесів використовується оптична сигналізація, а при появі відхилень від цих умов – оптична та акустична.

Пристрої автоматичного захисту забезпечують захист об'єктів при появі загрози для обладнання, продукції або обслуговуючого персоналу.

Блокуючі пристрої мають призначення не допускати виконання хибних команд.

Обчислювально-лічильні пристрої самостійно виконують складні розрахунки найвигідніших технологічних режимів роботи, експрес-аналізу та ін.

Вирішення проблем автоматизації потребує принципово нових технологічних підходів до обладнання, уніфікованих технологічних процесів, вибору систем керування. А також потребує розв'язання таких проблем, як максимальна концентрація операцій, упровадження багатоопераційних, багатоінструментальних машин, верстатів, застосування складальних і контрольних автоматів, автооператорів, завантажувальних пристроїв, ПР, створення автоматичних ліній та гнучких систем та ін.

Набули поширення автоматичні лінії з верстатів-автоматів із числовим програмним керуванням. Це устаткування легко під'єднати до керуючих і обчислювальних електронних машин, що за здалегідь складеними програмами забезпечують роботу всієї лінії.

При автоматизації велику роль відіграє процес створення роторних автоматичних ліній. Їхнє застосування дозволить на одній лінії конструктивно подібних машин проводити різнохарактерні операції: штампування і різання,

нанесення покриття і контроль, маркування і пакування.

Автоматизація – вища, нова форма виробництва. Це – складний процес, який охоплює багато співвідношень: технічних, наукових, економічних. Сюди входить також автоматика, яка здійснює керування, контроль, переробку інформації та ін. Вона вивчає умови функціонування і алгоритми управління для різних ТП з ціллю розроблення систем автоматичного керування.

Перехід від ручної або механізованої праці до автоматизованого виробництва можна здійснити тільки після спеціальної підготовки, в якій основними положеннями переходу представлені певні умови.

Першою умовою автоматизованого виробництва на сьогодні є покращення його організації. Покращення організації виробництва – це продукт високоякісної організації потокового виробництва, яке характеризується розміщенням обладнання за технологічним процесом. Зайвим тут є міжопераційні склади, багатократне завантаження, розвантаження, транспортування. Використовуються спеціалізовані або спеціальні верстати, автоматичні лінії. Разом з тим, при впровадженні поточкових методів виробництва рекомендується звертати увагу на вдосконалення організації робочих місць, створення нових інструментів і пристроїв, нових методів контролю, транспортування деталей, орієнтації.

Наступною умовою переходу є модернізація існуючої й упровадження нової техніки через заміну автоматизованого обладнання, яка піднімає техніко-економічні показники. Напрямами модернізації є:

- підвищення потужності і швидкохідності процесу обробки;
- підвищення жорсткості і вібростійкості обладнання в цілому за рахунок окремих деталей і вузлів;
- скорочення допоміжного часу за рахунок автоматизації кріплення деталей, заміни інструменту, вимірювання в процесі обробки, автоматизації керування;
- розширення технологічних можливостей і концентрація операцій;
- багатоінструментальна обробка;
- зміна основного технологічного призначення обладнання;

- покращення умов експлуатації і ТБ.

Важливою умовою рентабельності сучасного виробництва є автоматизація транспортних робіт. Основними етапами вирішення проблеми транспортування деталей при автоматизованому виробництві є:

- суміщення кількох операцій з метою скорочення транспортних шляхів;
- організація найкоротших прямолінійних технологічних ліній;
- забезпечення підйому всього вантажопотоку на рівень, який максимально наближений до висоти установчих баз систем, з метою зменшення вертикальних переміщень деталей;
- оснащення верстата або автоматизованого комплексу передавальними і піднімальними пристроями, механізмами повороту стрілок, склизів, жолобів та ін.

Найраціональнішим технологічним транспортом можна вважати різні типи технологічних конвейерів з перевантажними і розподільними автоматичними пристроями, з міжопераційним запасом і різними пристосуваннями для обробки різноманітних за формою деталей.

Найважливішим напрямком автоматизації є розроблення нових ТП та впровадження прогресивної технології на основі останніх досягнень науки і техніки.

## **1.2. Структура автоматизованих виробничих процесів в умовах різного типу виробництва**

Автоматизація виробничих процесів на основі впровадження роботизованих технологічних комплексів і гнучких виробничих модулів, допоміжного обладнання, транспортно-накопичувальних і контрольно-вимірювальних пристроїв, об'єднаних у гнучкі виробничі системи, що керуються від ЕОМ, є однією зі стратегій прискорення науково-технічного прогресу.

Гнучка виробнича система (ГВС) являє собою сукупність у різних

поєднаннях обладнання з ЧПК, роботизованих технологічних комплексів, гнучких виробничих модулів, окремих одиниць технологічного обладнання і систем забезпечення їх функціонування в автоматичному режимі протягом заданого інтервалу часу, яка характеризується властивістю автоматизованого переналагодження при виробництві виробів довільної номенклатури у встановлених межах значень їх характеристик.

Узгоджена робота всіх елементів ГВС повинна базуватися на організації просторового і часового зв'язку всіх елементів, який дозволить синхронізувати роботу всієї системи в умовах змінної структури і тривалості технологічних процесів. Для виконання цієї умови потрібен аналіз технічного завдання, який вимагає:

1. Зміст технічного завдання на проект (креслення конструктивів та задані умови виробництва, задана програма випуску по виробах).

2. Аналіз конструктивів, деталювання, визначення класифікаційних кодів деталей, визначення основних технологічних операцій необхідних для повного виготовлення конструктивів та їх групування за типами.

3. Попередній вибір заготовчого процесу, обґрунтування вибору-технологічне, економічне, організаційне.

4. Аналіз програми випуску за заданими умовами та визначення типу виробництва по кожному з конструктивів.

5. Попередній аналіз умов та організації виробництва для проектування гнучкої виробничої системи (можливості одночасного багатономенклатурного виробництва, почергове виробництво з переналагоджуванням тощо).

Згідно з отриманим технічним завданням на проектування гнучкої виробничої роботизованої системи на основі агрегатно-модульної побудови можна одночасно використовувати багатономенклатурне виробництво.

Паралельна структура даного виробництва можлива при наборі в групи більшої кількості конструктивів із сумарним випуском, що забезпечує економічно необхідну продуктивність складної лінії.

Проектування ГВС неможливе без якісної технологічної підготовки

виробництва, яка містить:

1. Розроблення структурних варіантів виробничих процесів для виготовлення заданих конструктивів згідно з вибраною організаційною структурою та умовами виробництва.
2. Калькуляцію часу основних технологічних операцій та кінцевий вибір структури за основними технологічними операціями.
3. Попереднє розроблення варіантів структури транспортних і завантажувальних операцій.
4. Вибір типів контролю та їхнього місця в загальній структурі основного обладнання, попередня калькуляція часу операцій контролю.

Технічна підготовка виробництва на базі ГВС характеризується вибором певних організаційних параметрів у встановлених межах значень їх характеристик:

1. Вибір основного та допоміжного технологічного обладнання для виконання основних, допоміжних, транспортних технологічних операцій – згідно з вибраною компоновальною структурою ГВС.
2. Вибір переналагоджуваних засобів (стандартного типу) та інструментів:
  - *Силові механізми. Захоплювальні пристрої роботів-маніпуляторів.*
  - *Транспортні засоби.*
  - *Інструменти.*
3. Групування обладнання за гнучкими виробничими модулями згідно його функціональним призначенням та спроектованою структурою виробничого процесу.
4. Розрахунок організаційних параметрів ГВС.
5. Розрахунок розмірів партій міжопераційного накопичення оброблювальних елементів.
6. Розрахунок незавершеного виробництва необхідного для безперебійного функціонування гнучкої виробничої системи в заданих організаційних умовах.

7. Визначення необхідної кількості основного та допоміжного персоналу для створеної гнучкої виробничої системи.

### 1.3. Виробничий процес і його елементи

Автоматизація виробничих процесів – це сукупність заходів із розроблення технологічних процесів, створення та впровадження високопродуктивних автоматично діючих засобів виробництва, які забезпечують безперервне зростання продуктивності праці.

Виробничий процес у машинобудуванні складається з трьох основних фаз: заготівельна, оброблювальна і складальна.

Аналіз гнучкого виробництва свідчить, що сучасний завод має розвинену систему вантажних потоків, які зв'язують не тільки внутрішні робочі місця, але й цехи, дільниці (рис 1.1).

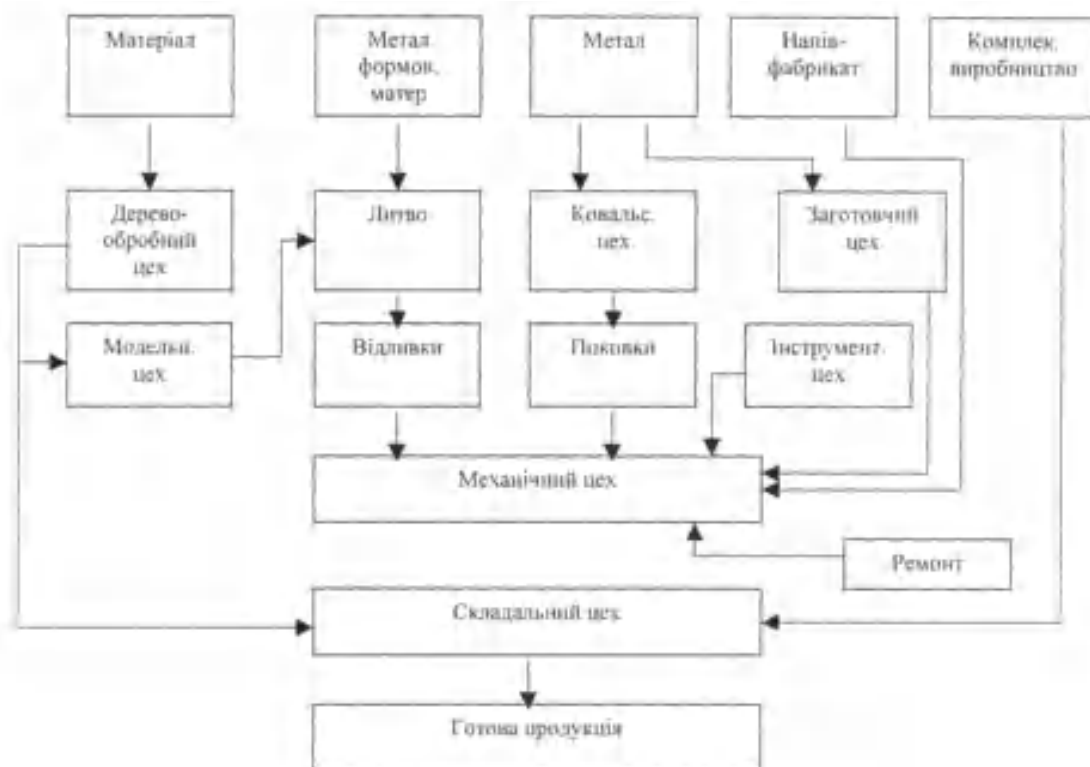


Рисунок 1.1. Структурна система транспортування

Великі перспективи автоматизація має в заготівельних цехах, де зменшення величини припуску на мехобробку дає великий економічний ефект, особливо:



### 1. У виробництві заготовок:

- литво по моделях під тиском; у кокіль, відцентрове литво;
- точне штампування на механічних пресах, відтискування, віброштампування, висаджування на електровисадних машинах, чеканка, калібровка, холодна висадка, об'ємне штампування;
- виробництво зварних конструкцій;
- виготовлення деталей із пластмас.

### 2. У виробництві деталей:

- виготовлення деталей із сучасних матеріалів, нові технології: електроіскрова, імпульсна, лазерна обробка та інше, що знижує розхід металу, скорочує затрати, розширює можливості автоматизації.

### 3. У слюсарно-складальному виробництві:

- механізовані пневматичні й електричні інструменти, дрібні настільні, переносні, вмонтовані в конвейери свердлильні верстати, зварювальні апарати та ін.

4. Використання гальванотехнології, лако й емальпокриттів з метою підвищення антикорозійної стійкості.

## **1.4. Послідовність автоматизації виробничого процесу**

Аналізуючи історію і тенденцію розвитку автоматизації виробничих процесів, можна виділити три етапи:

- автоматизація робочого циклу, створення напіваавтоматів і машин-автоматів;
- автоматизація системи машин, створення автоматичних ліній;
- комплексна автоматизація виробничих процесів, створення автоматичних цехів і заводів.

Перший етап автоматизації – теоретичне вирішення поставлених завдань із використанням задач фізики, математики, математичного моделювання та залученням обчислювальних машин. Результат вирішення цього завдання - автоматична модель майбутнього об'єкта, наприклад, токарного верстата-автомата.

Після розроблення моделі визначають техніко-економічні показники й оцінюють їх ефективність у порівнянні з існуючими моделями верстатів. Ціль оцінювання: визначення здатності моделі виконувати задані функції; досягнення максимальної продуктивності праці; високої якості продукції, що випускається, максимального використання палива, устаткування і сировини, максимального обсягу реалізації продукції.

Після економічного оцінювання за допомогою інженерного методу оптимізують здійснення розробленого рішення. Під оптимізацією в даному випадку розуміють простий, надійний і ефективний метод перетворення в дійсність поставленого завдання і розроблення конкретної конструкції.

Залежно від призначення вузли системи розбивають на групи за функціональними ознаками, наприклад, транспортні й завантажувальні пристрої, виконавчі й регулюючі пристрої автоматики. Усі засоби групують за близькими ознаками в уніфіковані блоки, із яких складають комплекси засобів автоматизації.

Сукупність блоків можна розділити, у свою чергу, на ряд цільових механізмів, кожен із яких виконує визначену операцію робочого циклу. Кількість і призначення цільових механізмів визначені технологічним призначенням і схемою роботи комплексу в цілому.

Таким чином, на першому етапі автоматизують технологічний процес, автоматизація охоплює, як правило, лише окремі операції обробки.

Якісне і кількісне оцінювання стану технологічного процесу (ГОСТ 14.309-74) виконують за трьома видами показників: виду, ступеня та категорії.

За видом розрізняють одиничну і комплексну автоматизацію. Установлено десять ступенів використання автоматизації виробничих процесів (від одиничних операцій до організації технології на рівні всієї промисловості).

Прийнято умовне позначення ступенів автоматизації:

1 – одинична технологічна операція; 2 – закінчений технологічний процес; 3 – система технологічних процесів, виконуваних на виробничій дільниці; 4 – система технологічних процесів у межах цеху; 5 – система технологічних

процесів у межах технологічно однорідних цехів; 6 – система технологічних процесів у межах підприємств; 7 – система технологічних процесів у межах виробничих фірм при науково-виробничих об'єднаннях; 8 – у межах окремих об'єднань; 9 – у межах однієї галузі промисловості; 10 – система технологічних процесів, які виконуються на рівні ряду галузей промисловості країни.

Залежно від рівня і впливу виду автоматизації технологічного процесу встановлено вісім категорій автоматизації: нульова, нижча, мала, середня, велика, підвищена, висока і з кількісною оцінкою від 0 до 1.

Припустимо, у цеху взагалі немає засобів механізації й автоматизації— цех із нульовою категорією.

Другий етап автоматизації – автоматизація системи машин, створення автоматичних ліній, що поєднують у собі виконання різноманітних операцій обробки, контролю, складання й пакування.

Автоматична лінія – система машин, розташованих у технологічній послідовності, об'єднаних засобами транспортування, керування, що автоматично виконують комплекс операцій, крім налагодження.

Процес обробки синхронізується з роботою інших механізмів (поворотних столів, механізмів видалення стружки і т.п.). Вища форма автоматизації на другому етапі – комплексні поточкові лінії з напівавтоматів і автоматів.

Третій етап автоматизації- комплексна автоматизація виробничих процесів, створення автоматичних цехів і заводів.

Автоматичний цех або завод – це підприємство, в якому основні виробничі процеси здійснюються на автоматичних лініях із використанням автоматичних систем керування, обчислювальної техніки, системи керування якістю і т.п.

Сучасний автоматичний завод являє собою складний багатоланковий об'єкт керування, всі елементи якого в постійній динамічній взаємодії один з одним. Встановлення оптимальних взаємозв'язків між елементами об'єкта керування для досягнення найкращих економічних показників роботи

автоматизованого підприємства визначає виконання функцій автоматичних систем. Використання ЕОМ дозволяє вирішувати не тільки завдання керування виробництвом, але й гнучкого керування технологічними процесами і технологічним комплексом устаткування.

Аналіз розвитку гнучких автоматизованих виробничих систем (ГВС) і гнучких автоматизованих технологічних комплексів показує, що «виробнича гнучкість» виявляється за будь-якого рівня виробництва.

Крок у забезпеченні «виробничої гнучкості» — автоматичний пошук і заміна інструменту або пристосувань; автоматизація завантаження заготовок і розвантаження готових деталей, їхнього транспортування; автоматизація обліку; автоматизація допоміжних операцій і т.д.

Технічні засоби для такої автоматизації — центри обробки, промислові роботи, автоматичні транспортні засоби, автоматизовані склади. До ГВС входить і система керування з використанням обчислювальної техніки.

Гнучку автоматизовану виробничу систему узагальнено можна представити як сукупність технологічного устаткування, здатного автоматично перебудовуватися на випуск нового виробу.

## **1.5. Основні поняття про виробничі системи, їх класифікація і структура**

Розвиток автоматизації процесів виробництва пов'язаний зі створенням виробничих систем (ВС).

Система може бути визначена як сукупність елементів, настільки тісно пов'язаних між собою, що вона виступає відносно інших систем і навколишнього середовища як дещо єдине. Зв'язок між елементами системи повинен бути міцніший, ніж зв'язок кожного з цих елементів з частинами інших систем.

Виробнича система – складна багаторівнева ієрархічна система, що перетворює вихідні напівфабрикати сировини або матеріалів у кінцевий

продукт, що відповідає суспільному замовленню.

Ефективність використання ВС визначає низка факторів:

- раціональність розробленого технологічного процесу (ТП);
- структурно-компонувальна схема модулів і ВС у цілому, їх надійність, точність, вартість;
- можливості розробленої (обраної) системи керування, що забезпечує раціональну експлуатацію автоматизованого обладнання, задану програму випуску і якість продукції.

Основою будь-якого виробництва є технологічний процес – певна взаємодія знарядь і предметів праці, обслуговуючої і транспортної систем, у результаті чого випускається продукція, що відповідає критерію якості.

Переміщення предметів праці від однієї стадії обробки до іншої можна визначити як матеріальний потік у виробничому просторі. Для забезпечення роботи ВС слід організувати ще інформаційний та енергетичний потоки.

Виробничий процес можна представити як систему, що перетворює потоки енергії, матеріалів та інформації (рис. 1.2).



Рисунок 1.2. Представлення виробничого процесу

З позиції автоматизації за характером матеріального потоку технологічні процеси можна розділити на два типи – безперервні й дискретні.

У безперервних ТП матеріальний потік та інформація, що його відображає, безперервні. Матеріальний потік, що проходить через технологічне обладнання і зазнає там у кожен момент часу зміни своїх властивостей, є неперервним.

До безперервних відносять виробництва, у яких вимагається регулювати витрату, тиск, температуру, напругу, переміщення рухомих елементів та інші величини в усьому діапазоні їх змін. Це – різноманітні хімічні реактори, процеси приготування харчових продуктів, металургія, постачання теплом, водою й електроенергією.

У безперервних виробництвах зайнято мало людей, тому за рахунок автоматизації можна знизити витрати матеріалів та енергії або стабілізувати технологічний процес, виключивши його залежність від суб'єктивних чинників. Для управління таким виробництвом вимагається узгодження динамічних характеристик об'єкта управління і системи автоматичного регулювання в усьому інтервалі зміни регульованих величин.

Для дискретних ТП характерна вихідна продукція у вигляді виробів, що обчислюються в штуках. Початкові компоненти перетворюються циклічно і готова продукція випускається партіями.

До дискретних відносять виробництва з кінцевим числом станів змінних, наприклад із увімкненням і вимкненням клапанів, засувов, пускачів за сигналами двопозиційних датчиків.

Автоматизація дискретного виробництва розвинена менше внаслідок більшої різноманітності виробів і операцій, підвищених вимог до точності операцій. Тут зайнята значна кількість робітників ручної праці. Для дискретного виробництва характерне величезне число варіантів автоматизації, операцій, що відрізняються послідовністю, затратами й ефективністю. Їх зіставлення вимагає формального опису алгоритмів управління устаткуванням і розробки моделей організації виробництва.

У реальних задачах найчастіше спостерігається поєднання обох видів виробництв, що називають безперервно-дискретним виробництвом. Крім того, методи автоматизації дискретного виробництва все частіше застосовують до автоматизації безперервного виробництва.

За принципом керування виробничі системи можна поділити на прості, складні і інтелектуальні. Розрізнити їх можна за видом алгоритму

функціонування і принципом прийняття в них рішень. В алгоритмах функціонування простих систем використовуються тільки виконавчі блоки, а в алгоритмах роботи складних систем – також блоки прийняття рішень. Для інтелектуальних систем характерне існування дерева прийняття рішень.

При формуванні конфігурації конкретної виробничої системи слід планувати процес проектування зверху вниз і створювати систему знизу вгору. Основними факторами при проектуванні ВС є матеріальні й інформаційні потоки.

Сукупності функцій в автоматизованих виробничих системах утворюють системні комплекси, у котрих найважливішими є:

- технологічні функції (зміни фізичного стану об'єктів виробництва), носіями котрих є технологічні системи;
- функції маніпуляції і транспортні функції (положення та місцезнаходження об'єктів виробництва й оснастки), носіями котрих є засоби маніпуляції й транспортні засоби і вони об'єднані в системи матеріальних потоків;
- функції керування, координації та синхронізації роботи елементів і систем, і їх взаємодія на базі розподілу й передавання сигналів команд та інтеграція в інформаційні потоки, носіями котрих є інформаційна техніка і засоби керування.

Поняття про виробничий процес.

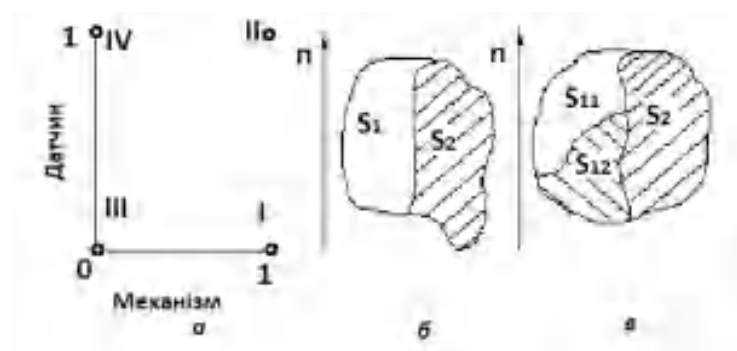
Процес функціонування деякої системи – це послідовна зміна станів системи в часі.

Будь-яке кількісне вивчення процесу можливе лише у випадку, коли визначені його величини, що характеризують процес із кількісної точки зору. У загальному вигляді кожному фіксованому моменту часу відповідає миттєве значення системи, котре можна описати, наприклад, набором чисел:  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ , що описують основні властивості системи з потрібною точністю. Якщо розглядати процес як послідовну зміну станів системи у часі, то величини  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  виявляються функціями часу  $a_1(t), a_2(t), a_3(t), \dots, a_n(t)$ . Ці функції

називають характеристиками процесу і відносять до сигналів, що перетворюються системою. Конструктивні властивості системи характеризуються її параметрами, а величини, що визначають її початковий стан, називають початковими умовами.

Складність управління виробництвом залежить від повноти перерахування технологічних ситуацій  $S$ , необхідних і достатніх для вироблення управлінських рішень. Кожну ситуацію задають набором значень ознак, що характеризують зовнішню ситуацію і стан об'єкта керування. Значення ознак можуть бути безперервними або бінарними. У першому випадку для управління важлива, наприклад, величина швидкості руху, в другому – відсутність або наявність факту перевищення заданої швидкості. Для завдань керування часто потрібні тільки факти змін у технологічному середовищі, і так безперервні ознаки зводять до бінарних. Це дозволяє значно скоротити число ситуацій, в яких приймається керуюче рішення. Проте навіть при бінарних ознаках введення кожної додаткової ознаки збільшує число комбінацій ознак або описуваних ними ситуацій у два рази. Для п'яти бінарних ознак середовища число описуваних ситуацій  $S = 2^5 = 32$ , а після введення ще однієї ознаки вимагається описати вже  $S = 2^6 = 64$  ситуації. З іншого боку, деякі ситуації, описані комбінаціями ознак, неможливі за технологічними умовами. Наприклад, неможливі ситуації, в яких однакові значення ознак руху вперед і назад.

Залежно від числа  $n$  датчиків, що сприймають зовнішню обстановку і стан об'єкта, технологічне середовище може бути повністю визначеним, організованим або неорганізованим (рис. 1.3).





### Рисунок 1.3. Типи технологічного середовища:

а – повністю визначене; б – організоване; в – неорганізоване

У повністю визначеному середовищі керування задане для усіх комбінацій ознак середовища. Наприклад, вмикається і вимикається деякий механізм з датчиком аварії. Стан середовища характеризується наявністю або відсутністю сигналу з датчика аварії, а стан об'єкта – роботою або зупинкою механізму. Для двох бінарних ознак можливі тільки  $2^2 = 4$  ситуації (рис. 1.3а) : I – механізм працює, аварії немає; II – механізм працює, аварія є; III – механізм не працює, аварії немає; IV – механізм не працює, аварія є. У кожній ситуації може бути прийнято одне з трьох рішень: для I і IV – нічого не робити; для II – вимкнути механізм; для III – увімкнути механізм. Керування такого типу реалізоване в програмних роботах і системах захисту механізмів від перевантаження.

В організованому середовищі деякі з ситуацій неможливі за технологічними умовами, тому можна задати керування тільки для підмножини  $S_1$  із  $S$  можливих ситуацій ( $S_1 \subseteq S$ ), вважаючи, що інші ситуації ніколи не виникнуть (за винятком відмов датчиків). В цьому випадку множину комбінацій ознак середовища розбивають на підмножини можливих  $S_1$  і неможливих  $S_2 = \overline{S_1}$  ситуацій (рис. 1.3, б). Перерахувати можливі ситуації  $S_1$  і задати для них керування можна, якщо число ознак ситуацій не перевищує 5 – 6. До такого типу відноситься керування стаціонарними установками і адаптивними роботами.

У неорганізованому середовищі через велике число ознак середовища не вдається повністю перерахувати множину можливих ситуацій  $S_1$ . Це називають "прокляттям розмірності", коли введення кожної  $q$  – значної ознаки збільшує число ситуацій в  $q$  разів. Знання про середовище доводиться формувати шляхом навчання розпізнаванню образів. Спостерігаючи деякий час за процесом, складають навчальну вибірку з частини можливих ситуацій ( $S_{12} \subseteq S_1$ ) (рис. 1.3, в). Потім відшуковують вирішальні функції, що ділять навчальну

вибірку  $S_{11}$  на підмножини за числом рішень. Ці функції використовують для розпізнавання нових ситуацій з  $S_{12} \subseteq S_1$ , що не зустрічалися в навчальній вибірці  $S_{11}$ . Звичайно, нова ситуація з  $S_{12}$  розпізнається з деякою вірогідністю помилки, залежної від об'єму навчальної вибірки і правильності побудови вирішальних функцій. Для роботи в таких середовищах потрібне управління з елементами штучного інтелекту. В процесі навчання формують набір ознак середовища, необхідний і достатній для розпізнавання усіх ситуацій з  $S_1$ .

Оцінювання стану кожної ознаки середовища окремим датчиком вимагає великих витрат на створення інформаційної системи. Виникає завдання розпізнавання станів  $n$  ознак середовища  $m < n$  датчиками мінімальної вартості. Складаються два підходи до його вирішення:

- установка мінімального набору доступних датчиків для частини ознак середовища  $m$  й отримання інших ознак  $(n - m)$  шляхом логічної обробки сигналів датчиків;
- застосування багатофункціонального інформаційного датчика у вигляді телекамери або широкосмугового мікрофона, який сполучений із системою розпізнавання оптичних чи звукових образів.

При першому підході в навчальній вибірці відшуковують стійкі логічні зв'язки ознак і вибирають набори ознак середовища зв'язним чином вартості. Шляхом логічної обробки аналогового сигналу датчика швидкості колісно-рейкового робокара-тягача можна визначити 11 ознак середовища: швидкість, напрям руху, прискорення, уповільнення, перевищення заданої швидкості, стискування і розтягування складу, сходження з рейок, буксування, відмова електродинамічного гальмування, облік спроб рушання з місця. Звичайний контроль ознак вимагав би 11 різних датчиків з відповідним збільшенням вартості системи.

Другий підхід універсальний, але вимагає складних алгоритмів обробки отриманого спостереження образу і порівняння його з еталоном. Для введення зорового, звукового або мультисенсорного образу в ЕОМ вимагається його кодування.

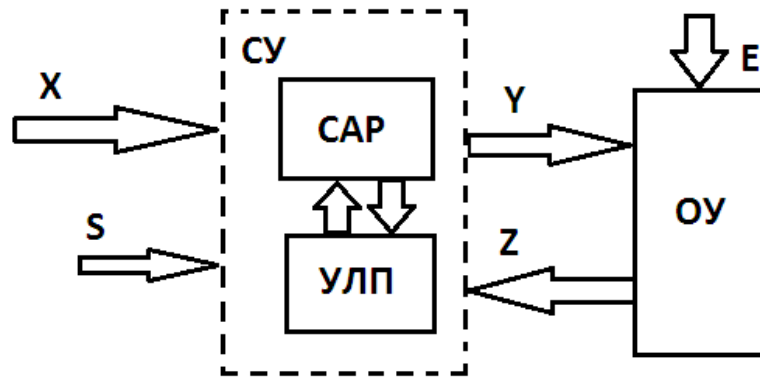


Рисунок 1.4. Взаємодія системи керування СУ та об'єкта керування ОУ

Процес керування об'єктом представимо як взаємодію системи керування (СУ) і об'єкту керування (ОУ) (рис. 1.4). Система керування відповідно до заданої програми  $X$ , стану  $S$  технологічного середовища та інформації  $Z$  з датчиків на об'єкті виробляє сигнали  $Y$  керування механізмами об'єкта. При цьому на об'єкт діють випадкові дії  $E$  з боку технологічного середовища, що змінюють стан об'єкта.

Відповідно до поділу об'єктів керування на безперервні і дискретні розділимо систему керування на систему автоматичного регулювання (САР) і керуючий логічний пристрій (УЛП). Система автоматичного регулювання забезпечує стеження вихідної величини за зміною вхідної величини при випадкових діях ( $E$ ) середовища на об'єкт. Керуючий логічний пристрій перемикає виконавчі пристрої об'єкта за заданим алгоритмом та сигналами датчиків.

При проектуванні виробничої системи завданням інженера є вибір її структури (певним чином пов'язаної сукупності деталей) і параметрів системи. Крім того, характеристиками системи є ті критерії, якими оцінюється система. Ці критерії (продуктивність, надійність, собівартість і т.п., або критерії якості) не є сигналами, але їх слід знати та уміти визначати для того, щоб віддати перевагу тому чи іншому конструктивному варіанту. Тут слід відзначити два суттєвих моменти. Для того, щоб визначити характеристики, що не впливають прямо з ходу роботи системи, треба будувати систему з аналітично й логічно

пов'язаних залежностей, іншими словами, розглядати математичну модель процесу, що об'єднувала б фізичну модель процесу та залежності, пов'язані з визначенням критеріїв якості. Другим суттєвим моментом є те, що виробничий процес слід розглядати як різновид випадкового процесу, бо в результаті впливу багатьох випадкових факторів вироби будуть мати різні характеристики у загальному випадку. Без такого підходу ми не в змозі керувати розсіюванням параметрів виробу, а звідси й забезпечити його якісне виконання.

Рівні комп'ютерно-інтегрованого виробництва.

Комп'ютерно-інтегроване виробництво містить п'ять рівнів автоматизації (рис. 1.5).



Рисунок 1.5. Рівні автоматизації комп'ютерно-інтегрованого виробництва

На рівні зв'язку з устаткуванням I/O (Input/Output – Вхід/Вихід) забезпечується узгодження зовнішніх елементів з пристроєм керування.

На рівні управління Control вбудовані в устаткування пристрої керування за сигналами датчиків стану механізмів виробляють команди керування виконавчими пристроями – приводами, клапанами, світловими і звуковими сигналами.

Одночасно з керуванням інформація про роботу устаткування в

реальному часі передається на рівень узагальненого контролю і збору даних SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). На рівні SCADA ведуть сортування, перетворення і зберігання поточних даних, а також їх відображення на мнемосхемі процесу. Для диспетчера відображається поведінка усіх одиниць устаткування: поточний стан і показники роботи машин, рух матеріальних потоків, узагальнена інформація. Системи SCADA дозволяють спостерігати процес у цілому, відстежувати аварійну інформацію, часові тенденції і статистичні характеристики процесу. За необхідності диспетчер передає узагальнені команди керування устаткуванням.

Рівень планування ресурсів MRP (Manufacturing Resources Planning) іноді неправильно ототожнюють з інформаційною технологією виробництва. Це відомий варіант автоматизації офісної діяльності з метою ведення бухгалтерського обліку, управління фінансами і матеріально-технічним постачанням, організації документообігу. На цьому рівні керівники виробництва аналізують кон'юнктуру стратегію: динаміку ринкових цін на продукцію, що випускається, рівень прибутку за різними видами продукції, прогнозований попит.

До недавня рівні управління об'єктом виробництва I/O, PLS, SCADA і рівень планування ресурсів MRP розвивалися незалежно. Використовуючи відірвані від поточного виробництва офісні програми, менеджери не могли виявляти резерви підвищення продуктивності і зниження собівартості, змінювати номенклатуру продукції, що випускається. При формуванні найприбутковішої стратегії виробництва їм потрібно було знати структуру собівартості кожного з сотень видів продукції, час виконання замовлення, що надійшло, необхідні для виконання замовлення ресурси, доцільність оновлення устаткування. Для вироблення рішень вимагалася поточна інформація про стан кожної одиниці устаткування. Ця інформація могла бути отримана на рівні SCADA, де збиралися усі дані про роботу устаткування. Необхідність виживання підприємства в ринковому середовищі призвела до появи між рівнями диспетчеризації SCADA і планування ресурсів MRP додаткового рівня

виконання завдань MES (Manufacturing Execution System), що пов'язує менеджерів верхнього рівня з поточним виробництвом. Тут інформація від SCADA перетворюється в інформацію для MRP, проводиться оновлення бази даних, контролюється послідовність операцій, формується розклад перевірки і ремонту устаткування залежно від тривалості фактичної експлуатації. Після аналізу цієї інформації з позиції виробничої і кон'юнктурної політики підприємства стратегічні рішення менеджера виконуються на нижчих рівнях. У 90-х роках минулого століття стали з'являтися програмні комплекси, за допомогою яких будь-який співробітник міг спостерігати за роботою будь-якої одиниці устаткування. До них відносяться комплекси Factory Suite (Промисловий набір) фірми "Wonderware" (США) і Genesis (Відродження) фірми "Iconics"(США). Набір Factory Suite об'єднує рівні MES, SCADA і Control.

### **1.6. Шляхи та засоби розвитку автоматизації на другому етапі**

Важливими шляхами й засобами розвитку автоматизації на виробництві є:

- автоматизація універсальних металорізальних верстатів;
- виробництво автоматичних ліній на базі діючого технологічного обладнання;
- виробництво нових спеціальних і спеціалізованих автоматичних ліній;
- застосування роторних автоматичних ліній;
- створення автоматичних заводів-автоматів.

#### *1. Автоматизація універсальних металорізальних верстатів.*

Поточні верстатні лінії створювали з універсальних верстатів. Перетворення універсальних і півавтоматичних верстатів в автомати або лінії проводять шляхом комплексної модернізації з оснащенням їх автооператорами, автоматичними подачами, маніпуляторами, магазинними та іншими пристроями. Автооператори застосовуються переважно для верстатів, не потребують корінного переобладнання.

Важливу роль в автоматизації відіграє автоматичний завантажувальний пристрій.

Магазинний автоматичний завантажувальний пристрій – це механізм подавання заготовок, в який завантаження заготовок з визначеною орієнтацією здійснюють вручну, а подачу з магазину на робочу позицію – автоматично.

Найпоширенішими способами подавання заготовок є:

1. *Подавання власною вагою* – найбільш поширений простий спосіб. Заготовки можуть бути різної форми, але вага повинна забезпечити подавання заготовок у живильник і далі на робочу позицію.

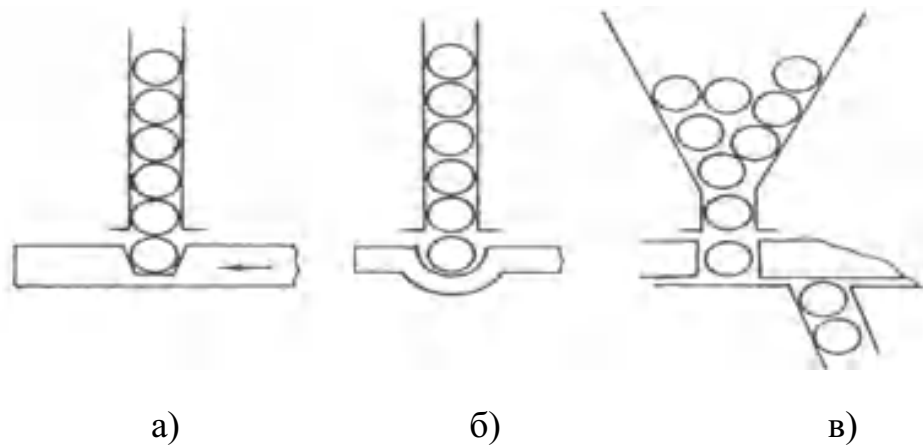


Рисунок 1.6 Способи подачі заготовок

а) – прямолінійний.

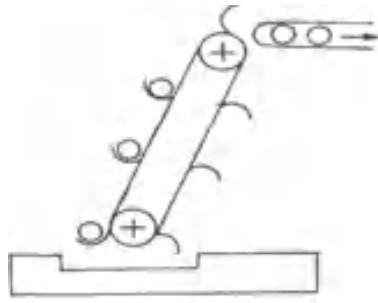
б) – криволінійний.

в) – бункерний.

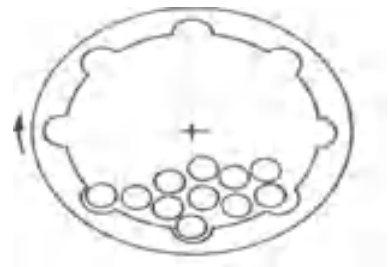
2. Для заготовок з малою вагою застосовують магазинні пристрої з примусовим подаванням. У якості підсилюючого пристрою використовують вантаж або пружину.

3. Магазинні пристрої здійснюють примусове подавання заготовок силами тертя за рахунок руху привода.

4. Ланцюгові магазинні пристрої застосовуються для довгих циліндричних валиків, втулок. Можна також заготовки подавати дисками, які розміщуються вертикально або горизонтально.



а)



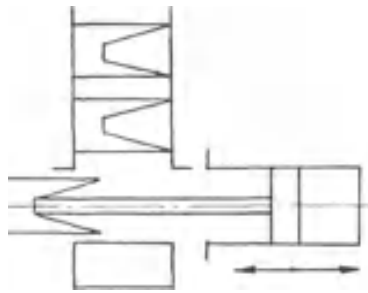
б)

Рисунок 1.7. Ланцюгові магазини:

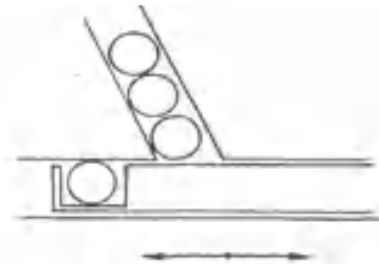
а) – ланцюговий.

б) – дисковий.

5. Найтипівішими є живильники із зворотнопоступальним рухом (рис.1.8), які не займають відносно багато робочого простору, забезпечують високу точність.



а)



б)

Рисунок 1.8: а) живильники з коливним рухом і магазинним пристроєм, обертовим рухом; б) живильники з комбінуючим рухом

2. *Виробництво автоматичних верстатних ліній на базі діючого технологічного обладнання.* Визначена група верстатів автоматично виконує в суворій послідовності весь цикл операцій обробки деталі. Далі, також



автоматично, з готових складаються вузли, агрегати, модулі, з яких і утворюється лінія.

### *3. Виробництво автоматичних верстатних ліній спеціального і спеціалізованого призначення .*

Кількість агрегатів в автоматичній лінії визначаються технологічним процесом обробки і законами агрегування. Для нормальної роботи:

- заготовки повинні бути стійкими для транспортування в якомусь певному положенні, повинні мати бази для вивірки цього положення;
- синхронізовувати час на виконання операцій, тобто час на кожну операцію повинен дорівнювати або бути кратним найменшому часу для виконання однієї з операцій;
- цикл операції налагоджувати без складного або комбінованого інструменту;
- використовувати спеціальні транспортні засоби, пристрої фіксації та кріплення;
- лінія готова обробляти хоча би кілька деталей з незначним підналагодженням.

### *4. Роторні автоматичні лінії.*

Роторні лінії (рис.1.9) забезпечують обробку заготовок у процесі їх транспортування разом з інструментом. Можна також виконувати декілька операцій на різних роторах, які пов'язані між собою транспортними роторами. Роторна лінія складається із роторів, кількість яких дорівнює кількості операцій і відрізняється від автоматичних ліній тим, що її продуктивність не обмежена швидкістю переміщення інструмента відносно заготовки оброблюваного елемента, довжиною операції і часом транспортування. Для збільшення продуктивності праці необхідно збільшувати число інструментів на роторі.

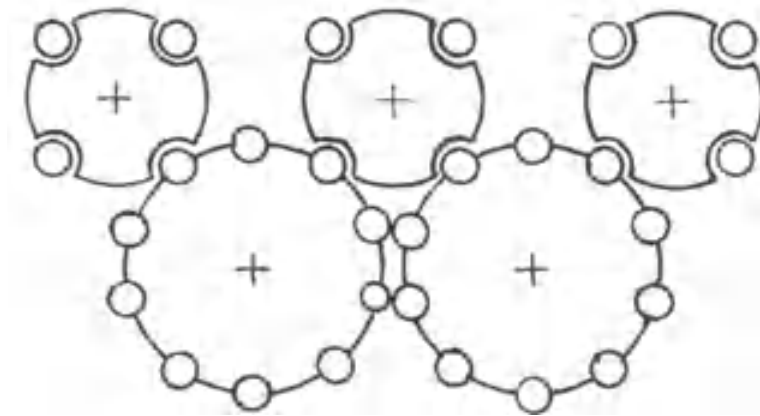


Рисунок 1.9. Роторні автоматичні лінії

### 5. Створення автоматичних ділянок, цехів, заводів.

Підготовка до проектування комплексно-автоматизованих виробництв складається із декількох етапів:

- виявлення об'єктів (одного або багатьох), які переривають технологічний процес і передавання їх на безперервне функціонування;
- підбір необхідного обладнання, пристроїв, систем керування і визначення техніко-економічної ефективності;
- забезпечення повної автоматизації ТП;
- забезпечення науково-дослідних робіт на розроблення обладнання, апаратури та ін.;
- проведення техніко - економічного обстеження.

Бурхливе упровадження – це великі масштаби виробництва і швидка змінність, що потребують від виробництва високої продуктивності, мобільності, гнучкості. Особливе це протиріччя виникає на виробництві, коли кількість деталей мала і досить часто змінюється, в такому виробництві набули визнання верстати з програмним керуванням і лінії, що з них укомплектовані.

Переваги: мобільність при підготовці виробництва, підготовка програм за межами виробництва.

## 1.7. Технологічність конструкцій

Технологічність конструкцій виробу – це сукупність властивостей, що проявляється в можливості досягнення оптимальних затрат праці, засобів, матеріалів і часу, при технічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонті порівняно з відповідними показниками однотипних конструкцій виробів того ж призначення при забезпеченні, стандартах значень показників якості та прийнятих умов виготовлення, експлуатації, ремонту.

До умов виготовлення відносять: тип, спеціалізацію програми, організацію виробництва, а також техпроцеси.

Якісними характеристиками є:

1. Взаємозамінність – це властивість конструкції замінити іншу без додаткової обробки з збереженням якості виробу.

2. Регульованість – забезпечує можливість і зручність регулювання при складанні, технічному обслуговуванні та ремонті для досягнення працездатності.

3. Контролепридатність – забезпечує можливість, зручність і надійність контролю при виготовленні, обслуговуванні та ремонті.

4. Інструментальна доступність – забезпечує вільний доступ інструменту до поверхонь конструкції при виготовленні, контролі, випробуванні, обслуговуванні та ремонті.

Кількісна характеристика (основний показник технологічності конструкції):

1. Базовий показник - це показник прийнятий за вихідний при порівняльному оцінюванні. Регламентуються директивними документами (ТУ).

2. Рівень технологічності конструкції – це показник, який визначається стосовно значення відповідного базового показника.

3. Показник конструкції, що проектується, – це досягнуті показники на певній стадії розроблення.

4. Технологічною конструкція машини комплексу лінії вважається такою, значення показників технологічності якої відповідають базовим показникам.

5. Технологічний контроль конструкторської документації з метою забезпечення виробничої технологічності розроблюваної конструкції виробу.

6. Відпрацювання конструкції виробу на технологічність – це комплекс міроприємств для забезпечення необхідного рівня технологічності конструкції виробу за встановленими показниками.

Технологічність конструкцій поділяють на 11 видів:

1. Виробнича технологічність – стосовно її виготовлення.
2. Експлуатаційна – стосовно виконання технічного обслуговування та ремонту.
3. Ремонтна – експлуатаційна технологічність, що визначається стосовно ремонту.
4. Технологічність обслуговування – це технологічність, що визначається стосовно підготовки й обслуговування транспортування, зберігання та ін.
5. Технологічність конструкції деталі – це сукупність властивостей, що проявляються в можливості оптимальних затрат праці, засобів, матеріалу і часу при технологічній підготовці її виробництва, виготовлення, експлуатації та ремонту, забезпеченні технологічності складальної одиниці.
6. Технологічність конструкції заготовки – це сукупність властивостей, що проявляються в можливості оптимальних затрат, засобів праці, матеріалу і часу при її виготовленні в прийнятих умовах виробництва, а також забезпеченні технологічності деталі, що з неї виготовляється, і вузла в цілому.
7. Технологічність конструкції складальної одиниці - така ж сукупність властивостей, яка забезпечує технологічність машини.
8. Технологічність конструкції за розмірами – це технологічність, яка визначається вибором розмірів і їх відхилень.
9. Технологічність конструкції в процесі виготовлення визначається стосовно одного процесу з урахуванням можливості отримання технологічності конструкції на наступних операціях.
10. Технологічність за формою поверхні визначається вибором форми, розмірів, відхилень і якості поверхонь.

11. Технологічність за матеріалами характеризується властивостями та вартістю матеріалу.

При відпрацюванні конструкції машини на технологічність остання повинна забезпечити:

1. Зниження трудомісткості й собівартості виготовлення деталі.
2. Підвищення серійності при виготовленні шляхом стандартизації, уніфікації та групування деталей і їх елементів за конструктивними признаками.
3. Обмеження номенклатури конструкцій та матеріалів.
4. Використання освоєних у виробництві конструктивних рішень, які відповідають сучасним вимогам.
5. Зниження маси виробу.
6. Застосування високопродуктивних типових техпроцесів і засобів технологічного оснащення.

## **2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС – ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦІЇ**

Під виробничим процесом сукупність окремих процесів, здійснюваних для отримання з матеріалів і напівфабрикатів готових виробів. У виробничий процес входить не тільки основні процеси, безпосередньо пов'язані з виготовленням деталей і складанням із них машин, але і всі допоміжні процеси, що забезпечують можливість виготовлення продукції.

Технологічний процес – це частина виробничого процесу, під час якого відбувається зміна якісного стану об'єкта виробництва.

Технологічний процес – це складна динамічна система, в якій єдиний комплекс об'єднані устаткування, засоби контролю і керування, транспортні пристрої, які обробляє інструмент, які здійснює процес або керування.

Виробничий процес складається з окремих процесів, які забезпечують виготовлення виробу (рис.2.1).

На кожному етапі виробничого процесу, по окремих операціях технологічного процесу, здійснюється контроль за виготовленням деталей відповідно до технічних умов, які пред'явлені до деталі забезпечення належної якості готового виробу.

Відповідно до ГОСТ 3.1109-82 технологічний процес може бути: проектним, тимчасовим, робочим, перспективним, одиночним, маршрутним, типовим, операційним, стандартним, маршрутно-операційним.

Проектування машини або лінії починається з детального розроблення технологічного процесу. При цьому необхідно вирішити цілу низку задач, які визначають якісну і кількісну характеристики ТП.

Якісна сторона:

- вибір методів обробки;
- вибір послідовності обробки;
- вибір різального і вимірювального інструментів;
- вибір технологічних баз.

Кількісна сторона ТП:

- вибір оптимального ступеня диференціації та концентрації операцій;

- вибір режимів обробки;
- вибір оптимальної структури автоматичних систем машин.

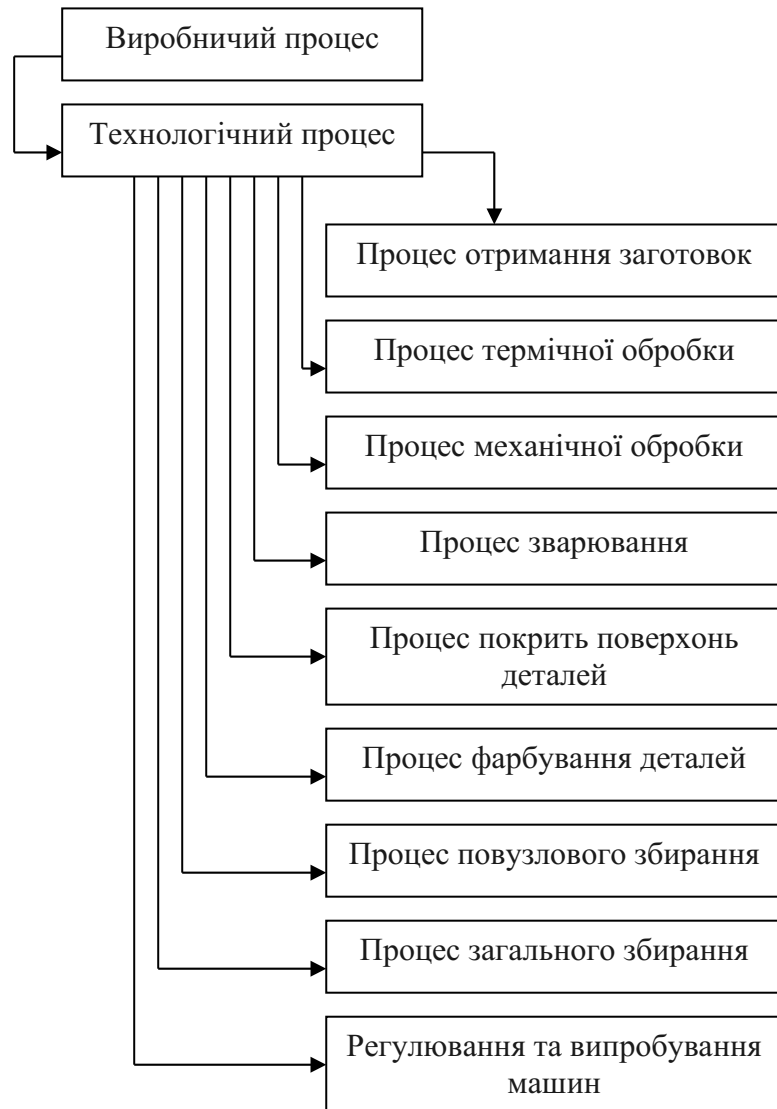


Рисунок 2.1 Структура виробничого процесу

Коло операцій – визначає цільове призначення автомата або лінії, у відповідності з чим і їх певна назва (автомат, автоматична лінія).

Технологічний процес може об'єднати споріднені операції або операції різної якості. Різні операції мають різні закони обробки, протікають в різних умовах. Це призводить до різної тривалості протікання і тому кількісне оцінювання по затратах часу для робочих і холостих операцій є основою для визначення продуктивності технологічного обладнання.

Для налагодження обладнання складають технологічну карту обробки,

ескізи, дані про режими, характеристики обладнання, тобто існують кількісна і якісна задачі. Перехід до комплексної автоматизації, до створення автоматичних цехів і заводів характерні тим, що ТП містить у собі не тільки різнорідні операції, але і інші ТП – литво, термообробка, складання, контроль, пакування та ін.

## 2.1. Диференціація і концентрація операцій

При проектуванні ТП автоматизованого виробництва вирішують питання вибору методу обробки і обсягу роботи, який необхідно виконати на автоматичній лінії.

Створюючи агрегатні лінії, необхідно уявити шляхи підвищення продуктивності праці, що неможливо без знань законів агрегування, аналізу впливових факторів – втрат часу на обслуговування, ремонт та ін. При аналізі роботи багатопозиційних верстатів виходять із порівняння групи самостійно працюючого обладнання з багатопозиційним, які пов'язані позиціями.

Звідси випливає:

- при однаковому ступені диференціації кількість позицій в лінії дорівнює числу верстатів поточної лінії;

- усі верстати поточної лінії мають операційний запас деталей і працюють відокремлено.

В багатопозиційній лінії вихід із ладу однієї позиції викликає простоювання всієї лінії;

- диференціація ТП здійснюється рівномірно на операції, або кратно за часом;

- технологічний процес диференційовано на « $K$ » елементарних операцій;

- виконується робота 1 інструмента за 1 прохід за час обробки її.

Тоді верстатомісткість повної обробки при  $K$  проходів.

$$T_g = t'_1 + t'_2 + K + t'_k = \sum_{i=1}^K t_i = k \cdot t_{cp} \quad , \quad (2.1)$$

де  $t_2, t_3 \dots t_k$  – тривалості проходів другого, третього і т.д.



$t_{cp}$  – середня тривалість операції.

Можна виконати операцію кількома інструментами одночасно (набором інструментів), багатошпиндельною головкою і т.д.

Кожна група інструментів буде виконувати  $n$  операцій (переходів), що відповідає одній великій операції.

Час виконання цієї операції – також  $t_{cp}$ . Але кількість операцій (переходів) зменшиться в « $m$ » разів, тобто  $t = k / m$ .

Верстатомісткість обробки деталі скоротиться дорівнюватиме

$$T_n = t'_1 + t'_2 + t'_3 + K + t'_k = \sum_{i=1}^l t_i = L \cdot t_{cp} = \frac{k}{m} \cdot t_{cp}, \quad (2.2)$$

де  $t_i$ ,  $t_{cp}$  – час або верстатомісткість складних.

Це є концентрація операцій першого ступеня. Середня кількість елементарних операцій  $n$  в новій складеній операції буде характеризувати ступінь концентрації операцій.  $m = k / l$ .

Із рівнянь (2.1) і (2.2) бачимо, що верстатомісткість обробки після первинної концентрації  $T_n$  зменшиться в  $T_g = m T_n$ , об'єднуючи інструментальні блоки, агрегатні головки та інші.

Припустимо, що нам вдалося  $L$  великих операцій розмістити в « $C$ » багатопозиційних верстатах.

Тоді кожен верстат буде вміщувати  $n = l / c$  об'єднаних операцій.

У цьому випадку кількість верстатних операцій визначимо за формулою  $C = l / n$ .

Середнє значення  $n$  характеризує ступінь концентрації другого порядку. Верстатомісткість обробки деталей після другої концентрації скоротиться в  $n$  раз і дорівнюватиме:

$$T_a = t_{01} + t_{02} + K + t_{0c} = \sum_{i=1}^c t_{0i} = c \cdot t_0 = \frac{k}{m_n} \cdot t_0, \quad (2.3)$$

де  $t_{0i}$ ,  $t_0$  – верстатомісткість пов'язаних операцій на багатопозиційному верстаті;  $t_0$  – середня верстатомісткість одної зведеної операції, яка дорівнює

$$t_0 = t_{mo} + t_{do}, \quad (2.4)$$

де  $t_{mo}$  – машинний час;  $t_{do}$  – допоміжний час на тій же операції.

Перша і друга концентрації операцій скорочують загальну верстатоемкість обробки  $T_g$  в  $mn\tau$  разів, що доводить рівняння

$$\frac{T_g}{T_b} = \frac{k \cdot t_{cp}}{\frac{k}{mn} t_0} = mn \frac{t_{cp}}{t_0} mn \tau, \quad (2.5)$$

де  $\tau = t_{cp}/t_0$  при  $t_0 = t_{cp}$   $\tau = mn\tau$  тобто час скорочується в  $mn$  раз; при  $t_{cp} > t_0$  скорочення буде більшим.

Можливий і третій ступінь концентрації – об'єднання багатопозиційних верстатів в автоматичній лінії при  $k = mnc$

$$T_T = \frac{T_b}{C} = \frac{k}{mnc} \cdot t_0. \quad (2.6)$$

При максимальній концентрації верстатомісткість обробки дорівнює машинному часу елементарної операції, якщо на кожній позиції закріплена одна деталь, та плюс до цього час на заміну і регулювання інструменту.

Послідовне агрегування (рис 2.2) застосовується для складних робіт, які вимагають послідовної обробки різними інструментами. Всю обробку диференціюють на окремі операції. Обробку можна проводити послідовно або одночасно на всіх позиціях різними інструментами так, що в обробці число позицій тоді дорівнює числу деталей.

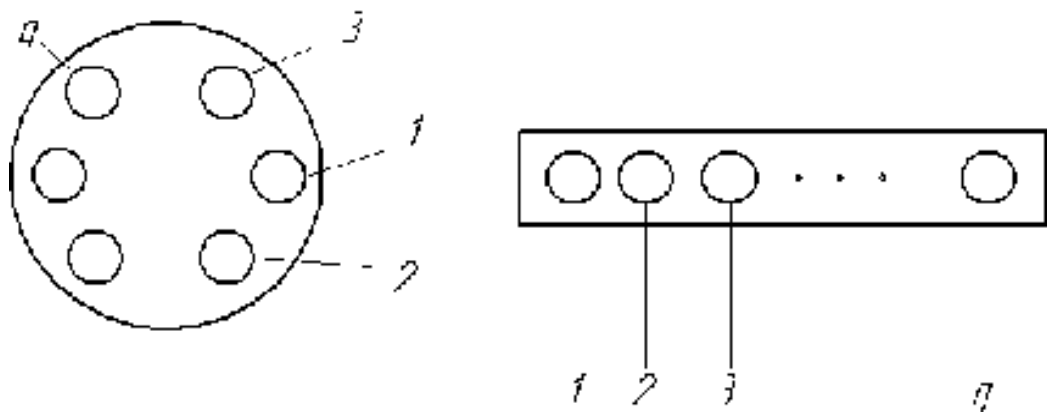


Рисунок 2.2. Послідовне агрегування:

1,2,3 – номери позицій

Продуктивність груп незалежно від працюючих машин технологічного

поток

$$Q_{sp} = \frac{1}{t_p + t_x + t_n} \quad , \quad (2.7)$$

$t_x$  – час холостого ходу робочого циклу, верстата;

$t_x = t_e + \sum C_i$  – нециклові втрати одного верстата;

$t_e$  – втрати однієї позиції;

$t_p$  – час робочого ходу верстата;

$\sum C_i$  – втрати по інструменту однієї позиції.

$$t_p = \frac{t_{po}}{q} = \frac{1}{k_0 \cdot q} \quad ; \quad t_p = \frac{1}{k} \quad , \quad (2.8)$$

де  $k$  – технологічна продуктивність циклу (позиції);

$k_0$  – відношення технічної продуктивності всього процесу до диференціального;

$q$  – кількість послідовного розміщених верстатів, які здійснюють ТП.

Сумарні нециклові втрати верстатів технологічного потоку складуть

$$t_n = t_e + \frac{\sum C_i}{q} \quad . \quad (2.9)$$

Для пов'язаних в лінію верстатів, коли втрати однієї позиції впливають на втрати інших, можна записати

$$t_n = \left( t_e + \frac{\sum C_i}{q} \right) \cdot q = t_e \cdot q + \sum C_i \quad . \quad (2.10)$$

Продуктивність багатопозиційної машини

$$Q_g = \frac{1}{t_p + t_x + g t_n} \quad (2.11)$$

Підставляючи у формулу значення  $t_p$  і  $t_n$  отримаємо:

$$Q_{ep} = \frac{q \cdot k_0}{1 + g k_0 (t_x + t_e) + k_0 \cdot \sum C_i} \quad . \quad (2.12)$$

Паралельне агрегування застосовуються для простих операцій, коли диференціація останніх не практична. Одна операція повторюється на кількох позиціях. Схема паралельного агрегування зображена на рис.2.3.

Якщо в послідовному агрегуванні завантаження суміщають із робочим циклом, то в даному випадку час завантаження складає або входить в робочий цикл обробки. Очевидно, що в машині паралельно дії за один робочий цикл видається  $P$  готових виробів

$$Q = \frac{P}{t_p + t_x + \sum t_n} \quad (2.13)$$

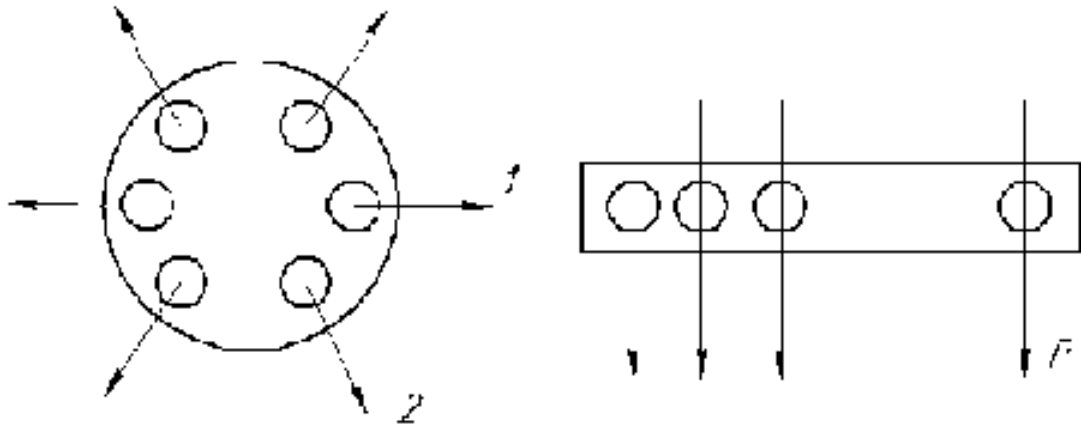


Рисунок 2.3. Паралельне агрегування:

1,2,3...  $P$  – число паралельних позицій

При цьому час обробки деталі на одній позиції не змінюється, а тому  $k=k_0$   $t_p=t_{p0}$ . Сумарні нециклові втрати виростають в « $P$ » разів, бо маємо не  $P$  позицій, а  $P$  комплектів інструментів. Тому продуктивність машини паралельного агрегування буде

$$Q_p = \frac{P}{t_{p0} + t_x + p(t_e + \sum c_i)} = \frac{Pk_0}{1 + t_0 t_k + pk_0(t_e + \sum c_i)} \quad (2.14)$$

Приклади компоновання схем паралельної дії наведено в таблиці 2.1.

Змішане агрегування паралельного і послідовного методу, в яких машина складається із « $P$ » паралельних потоків та  $g$  робочих позицій. Недоліки схеми – необхідність дублювання всіх механізмів і видачі продукції одночасно в різних позиціях. Технологічна продуктивність машини  $k=k_0g$ .

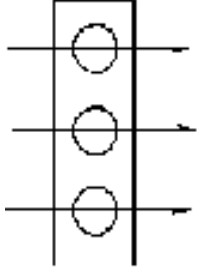
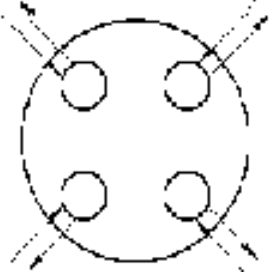
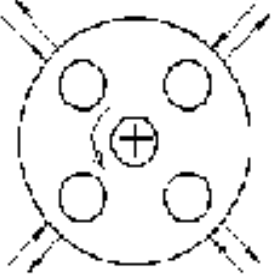
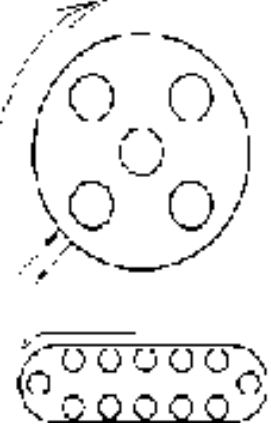
Сумарні нециклові втрати

$$\sum t_n = P(\sum t_{n_i} + g t_e) = P \sum t_{n_i} + P g t_e \quad (2.15)$$

На відміну від багатьох машин, автоматичні лінії послідовно-паралельної дії мають незалежні потоки, кількість яких не впливає на величину нециклових втрат. Тому втрати визначають тільки втратами одного послідовного потоку

$$t_n = \sum t_{n_i} + g t_e \quad (2.16)$$

Таблиця 2.1. Компоновальні схеми паралельної дії

|                                                                                     |                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Група однопозиційних машин, скомпонованих на одній станині.</p> <p>Неполадки в одному агрегаті викликають простій в інших і продуктивність падає</p> |
|    | <p>Розміщення агрегатів по колу, де завантаження всіх позицій є одночасним. При завантаженні вручну час <math>t_0</math> збільшується</p>               |
|   | <p>Машина з центральним розподільним валом, при нерухомому блоці шпинделів. Тут зміщений по фазі цикл роботи</p>                                        |
|  | <p>Конвеєрна схема компоновки – це роторні машини. Продуктивність – майже постійна, але менша ніж в окремих незалежно працюючих машинах</p>             |

Продуктивність автоматичної лінії послідовно-паралельного агрегування визначають

$$Q_{pg} = \frac{Pgk_0}{1 + gk_0t_x + Pgk_0(\sum C_i + gt_e)} \quad . \quad (2.17)$$

## 2.2. Класифікаційні рівні автоматизації виробництва

При аналізі виробництва буває недостатнім знати стадію автоматизації ТП. Ступінь автоматизації визначаються рівнями, оцінювання яких здійснюють трьома основними показниками:

- ступінь охоплення авттоматизованою працею;
- рівень автоматизації в загальних трудозатратах;
- рівень автоматизації виробничих процесів.

Рівень автоматизації виробничих процесів відображає якісний бік

$$Y_n = \frac{\sum P_a knm}{\sum P_a knm + P(1 - Y_{MT} / 100)} \cdot 100 \quad , \quad (2.18)$$

де  $n$  – коефіцієнт продуктивності обладнання, який показує відношення трудомісткості виготовлення деталей на універсальному обладнанні до трудомісткості діючого;  $m$  – коефіцієнт обслуговування, який залежить від кількості обладнання.

Ця система дозволяє оцінити стан автоматизації, порівняти рівні різних галузей, визначити напрямки робіт, планування рівнів.

З точки зору придатності ТП до автоматизації та складності її здійснення всі процеси можна поділити на:

I. Основний клас – вимагається орієнтація заготовок і характеризується оброблюючим інструментом. Це – обробка різанням, тиском, складання, контроль.

II. Другий основний клас – не вимагається орієнтування і використовується середовище. Це термічна обробка, промивання, сушка і т.п.

III. Перший перехідний клас – вимагається орієнтація, але відсутній інструмент. Це – нанесення покриттів, контроль твердості.

IV. Другий перехідний клас – деталі не вимагають орієнтації, але

застосовується різальний інструмент. Це – виробництво деталей з преспорошків, метало- і мінералокераміка.

Робочі машини автоматизованого виробництва за ступенями неперервності можна розбити на:

1. Машини дискретної дії – потребують установки заготовки на робочій позиції в період виконання операції (свердління).

Продуктивність цих машин

$$Q = \frac{1}{T_y} = \frac{1}{t_M + t_x + t_z + t_{розм} + T_{TP}}, \quad (2.19)$$

де  $t_M$  – час машинний;  $t_x$  – холостого ходу;  $t_z$  – час затиску;  $t_{розм}$  – час розтиску;  $t_{тр}$  – час транспортування;  $t_y$  – час повного циклу.

2. Машини безперервної дії – характеризуються нерухомим інструментом і рухом деталі в процесі обробки. Продуктивність:

$$Q = \frac{V_T}{h} = \frac{V_T}{l_T + a}, \quad \text{де} \quad (2.20)$$

$V_T$  – швидкість руху;  $l_T$  – розмір заготовки;  $a$  – розмір між заготовками.

3. Машини квазібезперервної дії – характеризуються тим, що деталь та інструмент рухаються безперервно. Продуктивність

$$Q = \frac{V_{TP}}{1 + a}, \quad (2.21)$$

де  $V_{TP}$  – швидкість транспортного руху.

За ступенем участі людини автоматичні робочі машини діляться:

1. Циклічні автоматичні машини і системи машин, в яких здійснюється жорстко задана програма без контролю в процесі виконання. Періодично здійснюють контроль, підналагодження, програмування;

2. Рефлекторні автом. машини і система машин, керування і контроль здійснює постійна програма, контроль і керування здійснює автоматично;

3. Самонастроювальні автоматичні машини і системи машин із застосуванням мікропроцесорної техніки, ЕОМ, пристроїв керування і контролю.

Створення матеріально-технічної бази проектування й виготовлення напівавтоматів, автоматів, автоматизованих ліній на основі принципу

агрегування їх з уніфікованих вузлів потребує:

1. Розроблення типової технології складання на основі уніфікованих і спеціальних елементів.
2. Розроблення механізованого інструменту.
3. Здійснення наукових досліджень.

Для сучасного розвитку автоматизації процесу складання характерні тенденції:

1. Використання методу концентрації технологічних операцій для створення автоматизованого обладнання.
2. Використання методу агрегування при складанні.
3. Застосування мікропроцесорної техніки та мікрокомп'ютерів.

В складальному виробництві для проектування технологічних процесів вирішують завдання:

1. Розроблення методу синтезу структурних схем і компоновок агрегатного складального обладнання.
2. Розроблення методу розрахунку параметричних рядів уніфікованих вузлів і елементів складального обладнання.
3. Розроблення нових методів експлуатації складального обладнання.

Основними напрямками реалізації методу концентрації в складальному виробництві є:

- суміщення на окремих позиціях машин паралельного або паралельно-послідовного виконання однотипних з'єднань;

- застосування багатошпиндельних пристроїв зтяжки кількох різьбових з'єднань;

- суміщення в багатопозиційних складальних машинах операцій загального та вузлового процесу складання і контролю, а також деяких операцій виготовлення деталей;

- організація паралельного складання однотипних вузлів на складальних машинах із використанням супутникових складальних ліній синхронного і несинхронного типів, на яких можуть виконуватися операції складання,



регулювання, настроювання, контролю, фарбування та пакування.

### **2.3. Автоматизація контролю розмірів у машинобудуванні**

Автоматичний пристрій для контролю розмірів повинен виконувати всю сукупність операцій, необхідних для порівняння дійсних розмірів кожного виробу з заданими, залежно від результатів цього порівняння пристрій, повинен сортувати вироби на кілька груп або змінювати режим роботи основного технологічного обладнання.

Автоматизація технічного контролю є суттєвим етапом автоматизації промисловості, бо питома вага технічного контролю в сучасних виробництвах дуже значна. Автоматичні контрольні пристрої поділяють на кілька основних груп:

1. Контрольні сортувальні пристрої, які сортують готові вироби на придатні й браковані, а часто ще й придатні вироби на ряд вимірних груп для селективного складання (пасивні методи контролю).

2. При контролі в процесі оброблення автоматичний пристрій може давати команди виконавчим органам і припиняти обробку при досяганні потрібного розміру (активні методи контролю).

Автоматичні пристрої для контролю і сортування виробів дуже різноманітні. Проте всі вони включають повністю або частково (головні) пристрої: завантажування, транспортування, вимірювання, пристрої пам'яті і сортування.

Основну функцію виконує вимірювальний пристрій. Він визначає належність даного виробу до тієї чи іншої групи і дає команду сортувальним пристроям. Пристрій пам'яті або, як його називають інакше, пристрій запасу імпульсу, запасає імпульс на час, який відповідає проміжку між моментом контролю і моментом сортування виробів.

Сортувальний виріб направляє пристрій у відповідний канал залежно від належності його до тієї чи іншої групи.

Вимірювальні органи контрольних автоматів (ВО) можна поділити на дві групи:

- безпосередньої дії;
- перетворення імпульсу.

У ВО безпосередньої дії контролюючий виріб під тиском або під дією власної ваги проштовхується через калібр і залежно від проходження чи непроходження через нього попадає в ту чи іншу групу.

Калібр виконує тут одночасно функції вимірювального і сортуючого органу.

На рис. 2.4 зображено клиновий калібр для конічних роликів із обов'язковим переміщенням виробів. Нерухомі ролики (валики) 1 і 3 з непаралельними осями утворюють клиновий калібр. Навколо валика 3 обертається шнек 4, який переміщує виріб 2 уздовж щілини клинового калібра.

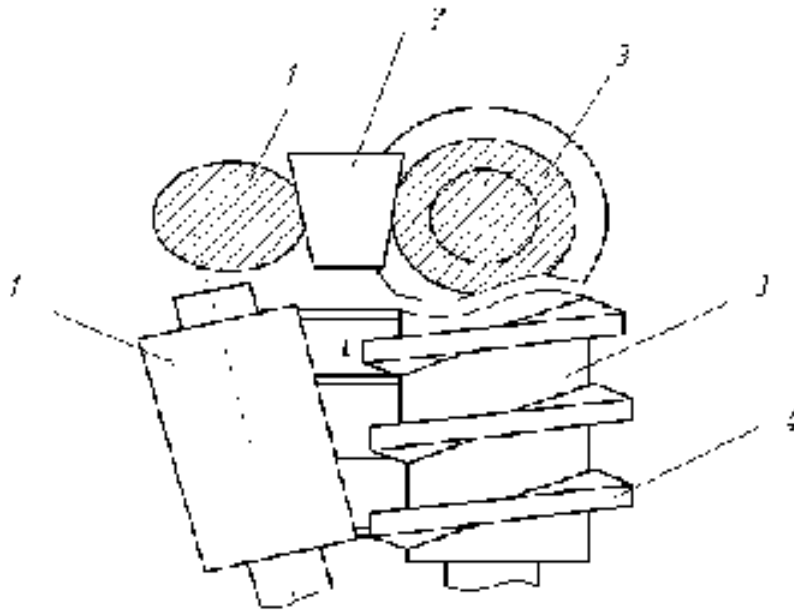


Рисунок 2.4. Клиновий калібр для конічних роликів

При контролі лінійних розмірів виробів доводиться мати справу з малими відхиленнями від їх номінального значення. Значення цих відхилень у більшості випадків доводиться збільшувати, а потім перетворювати. В цих випадках можна використовувати механічні ВО з перетворенням імпульсу. За

механічним способом перетворення імпульсу переміщення штока, який торкається з виробом, масштабується за допомогою системи важелів. Схеми такого контролю зображено на рис. 2.5.

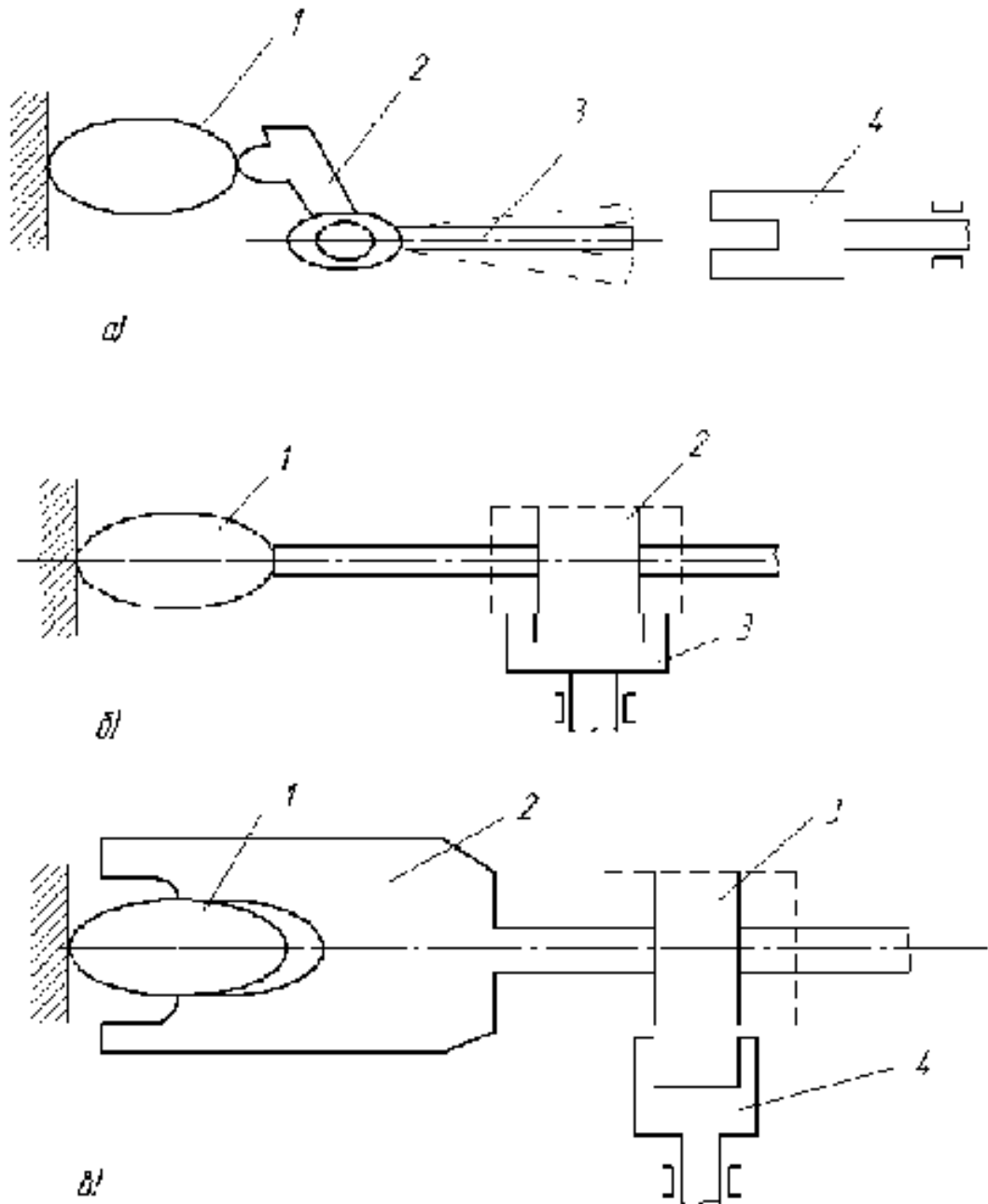


Рисунок 2.5. Схеми контролю перетворення імпульсу

### Електроконтактні вимірювальні органи

Суть електроконтактного методу полягає в тому, що переміщення вимірювального щупа викликає замикання чи розмикання електричних контактів при відхиленнях розміру чи геометричної форми виробу, які виходять за границю допустимих.

Залежно від призначення електроконтактні пристрої виконують одномежевими, двомежевими, і багатомежевими.

Одномежові головки розбивають вироби на групи з розміром, відмінним від встановленого.

Двомежові головки поділяють деталі на три групи: з розмірами, які знаходяться у встановленому полі допуску і виходять з поля допуску. Такі головки набули найбільшого поширення.

Багатомежові головки використовують для сортування деталей на певне число груп. Контактні вимірювачі розбивають на дві групи:

- з переміщенням контактів, що дорівнюють переміщенню вимірювального елемента – безважільні.
- з переміщення контактів на більшу відстань у порівнянні з переміщенням вимірювального елемента – важільні.

Схеми контактних вимірювальних головок зображено на рис. 2.6.

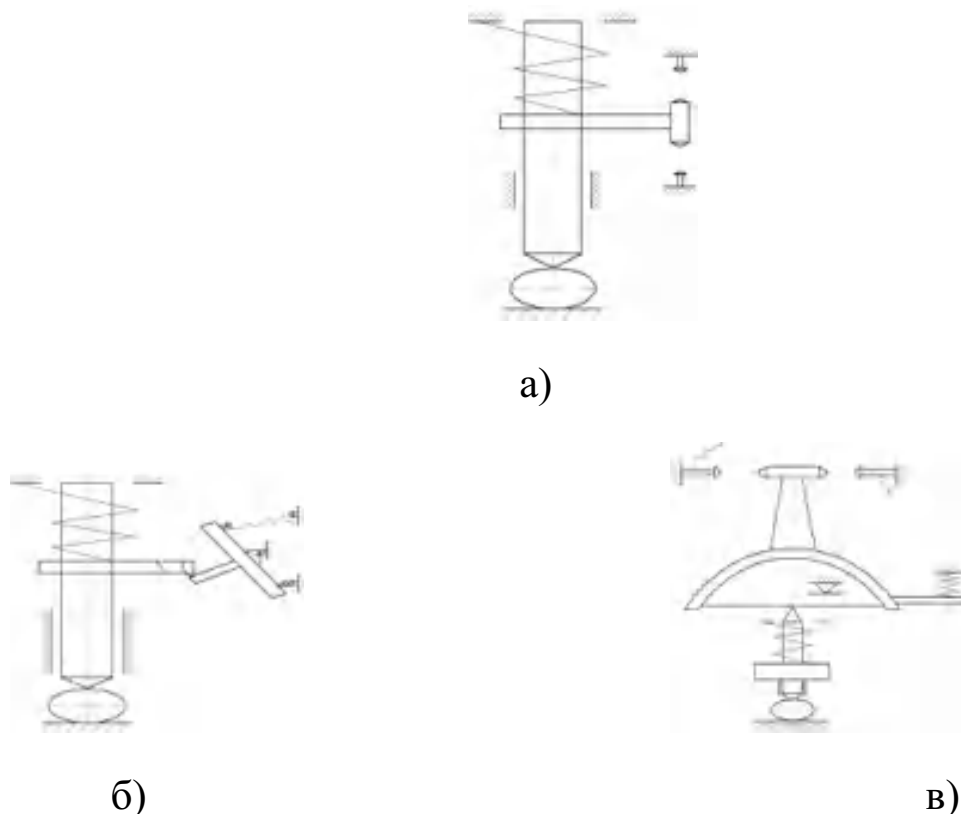


Рисунок 2.6. Схема контактних вимірювальних головок

### **Віброконтактні вимірювальні органи**

Контактні методи вимірювання мають недолік, тому що наконечник при

тривалому контакті з оброблюваною поверхнею дуже зношується і втрачається точність вимірювання. Перервний контакт вимірювального органу може бути здійснений в вигляді вібруючого щупа. Такий щуп при кожному коливанні торкається контролюючої поверхні на дуже короткий час (порядку мікросекунди). У зв'язку з цим практично відсутнє ковзання наконечника по поверхні деталі (рис. 2.7).

При коливаннях різнойменними полюсами постійних магнітів якір перемагнічується і в котушці генератора генерується струм, пропорційний швидкості зміни магнітного потоку в якорі. Ця швидкість при постійній частоті коливань визначається розмахом коливань вібруючого щупа. Точність вимірювання – до 1 мк.

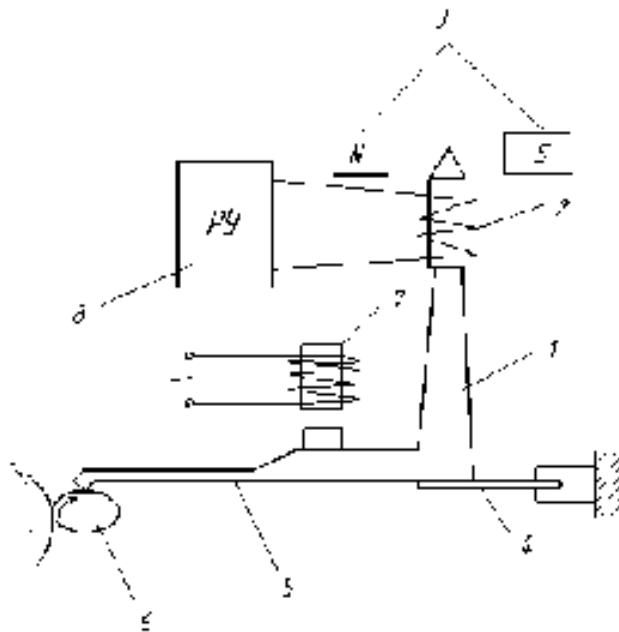


Рисунок 2.7. Віброконтактні вимірювальні органи

- 1) наконечник з якорем; 2) щуп; 3) катушка генератора; 4) постійний магніт; 5) пружина; 6) контрольна деталь; 7) вібратор; 8) реєструючий пристрій

### Електроіндуктивні та ємнісні вимірювальні органи

В основі електроіндуктивного методу вимірювання лежить процес, коли

зазор між якорею і магнітопроводом однієї з котушок збільшується, а другої – зменшується, що появляється при зміні розмірів оброблюваної поверхні. Внаслідок цього індуктивність першої котушки падає, а другої – зростає. Фіксуєючи (реєструєючи) цю зміну можна робити висновки про розміри деталі (рис 2.8).

На рис. 2.8 представлений ємнісний вимірювальний орган. Вимірювальний стержень 2 підвішений на гнучких мембранах 3 і несе систему рухомих пластин 5, які розташовані між двома системами нерухомих пластин 4 і 6 і утворюють два конденсатори, ємність яких визначається розміром виробу.

Контроль виробу зводиться до вимірювання відхилень ємності від заданої величини при зміні параметрів оброблюваних поверхонь.

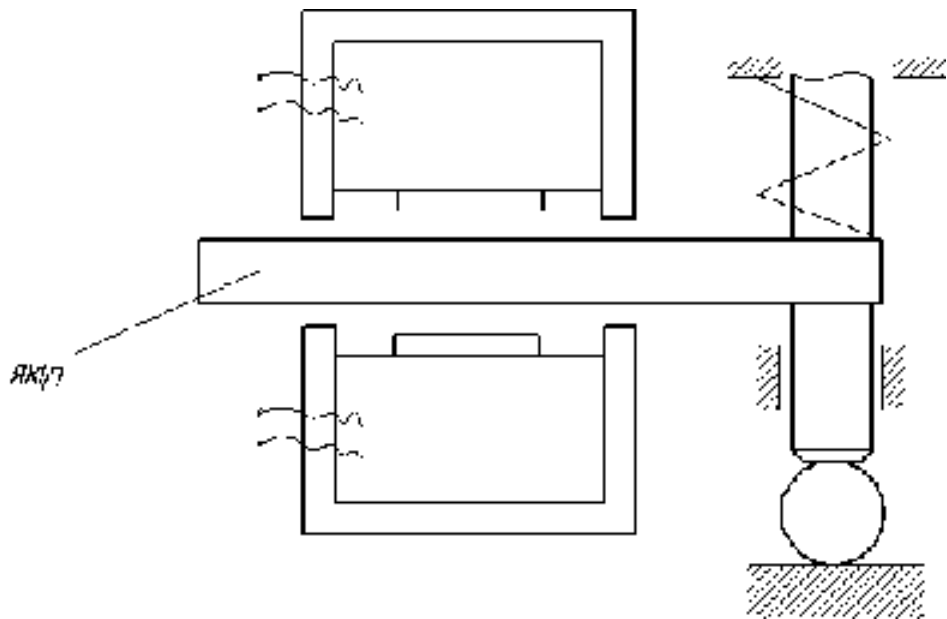


Рисунок 2.8. Електроіндуктивні вимірювальні органи

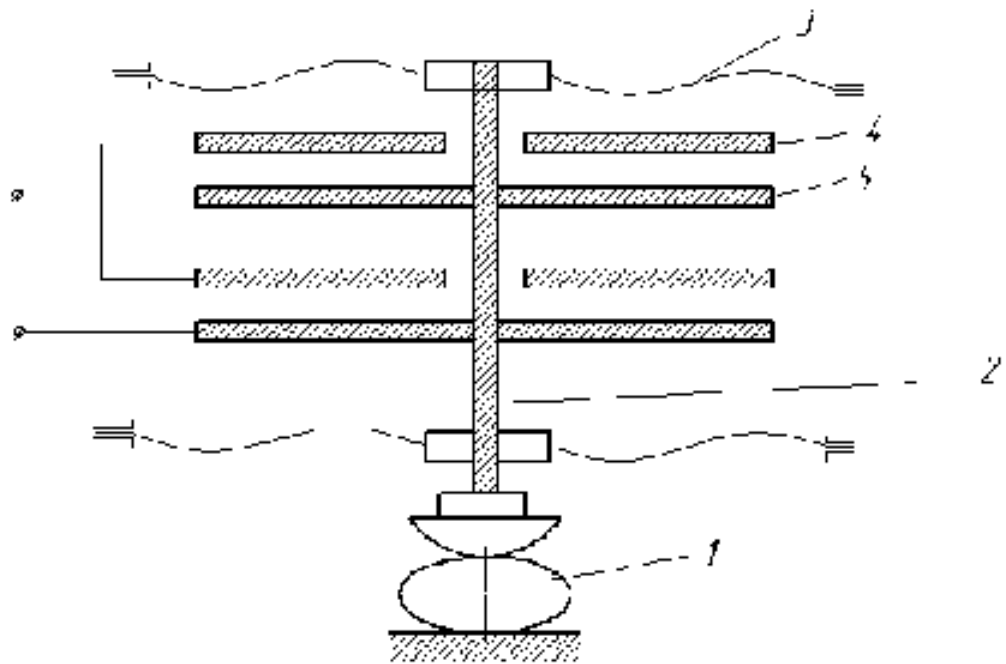


Рисунок 2.9. Ємнісний вимірювальний орган

### Фотоелектричні та пневматичні вимірювальні органи

На рис.2.10 зображена схема фотоелектричного вимірювального органу на фотоопорах.

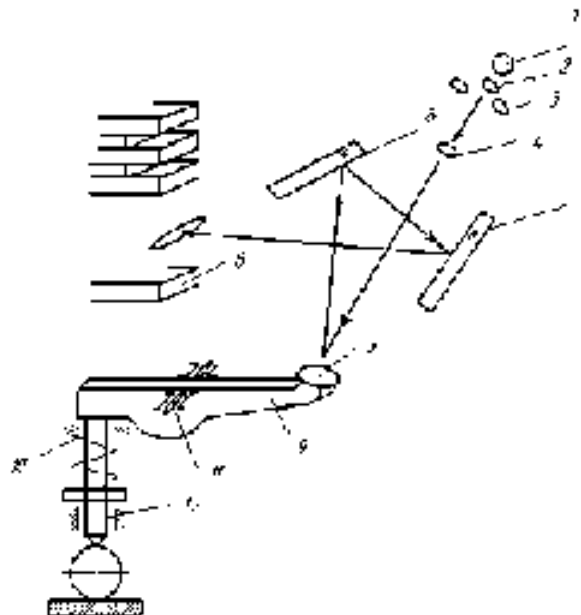


Рисунок 2.10. Фотоелектричний вимірювальний орган

Світло від лампи 1 через конденсатор 2, діафрагму 3 і об'єктив 4 подає на рухоме дзеркало 5 і, відбившись від нього, а потім від нерухомих дзеркал 6 і 7,

попадає на блок фотоопорів 8. Дзеркало 5 встановлено на довгому плечі важеля 9, який може обертатися навколо осі II. Коротке плече важеля 9 пов'язане з вимірювальним штоком 12.

Залежно від розміру виробу дзеркало 5 займає у просторі визначене положення і промінь світла попадає на той чи інший фотоопір, різко зменшуючи його омичний опір. Струм, що протікає через фотоопір, різко зростає і досягає значення, яке призводить до спрацювання високоомного реле, що увімкнене послідовно з фотоопором. Такий пристрій дозволяє сортувати деталі на 50 – 100 груп через 1 мкм.

В основі пневматичного методу лежить залежність між витратами повітря, яке витікає через малий отвір, чи тиску перед отвором і його величиною.

Якщо через камеру з двома розташованими один за другим отворами 1 і 2 (рис. 2.11) протікає повітря при постійному тиску  $P_1$  перед камерою, то тиск  $P_2$  в камері між отворами буде залежати від відношення перерізів отворів.

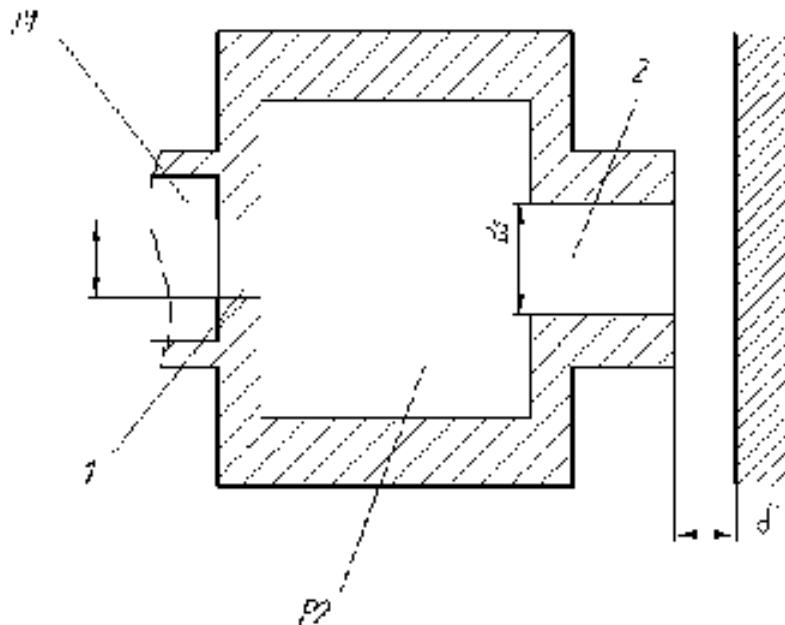


Рисунок 2.11. Пневматичні вимірювальні органи

Прикриваючи отвір 2 (вимірювальне сопло) площиною і змінюючи цим величину кільцевого зазору, через який повітря виходить в атмосферу, за



величиною тиску  $P_2$  можна сказати про відстань між краями отвору і площиною. При контролі виріб переміщується між вимірювальною базою і соплом 2. Відстань між краями сопла і поверхнею виробу, а, отже, і переріз кільцевої щілини між ними залежать від розміру виробу.

Пневматичні контрольні прилади поділяють на три типи:

1. Низького тиску з водяним манометром, які працюють при тиску повітря в межах 500 – 1200 мм вод.ст. (рис.2.12). Прилад складається з посудини 1 з зануреною в неї трубкою 2, яка служить для підтримання постійності тиску повітря, вимірювальної камери 4, з жиклером 3, манометром 5, вимірювальною голівкою 6.

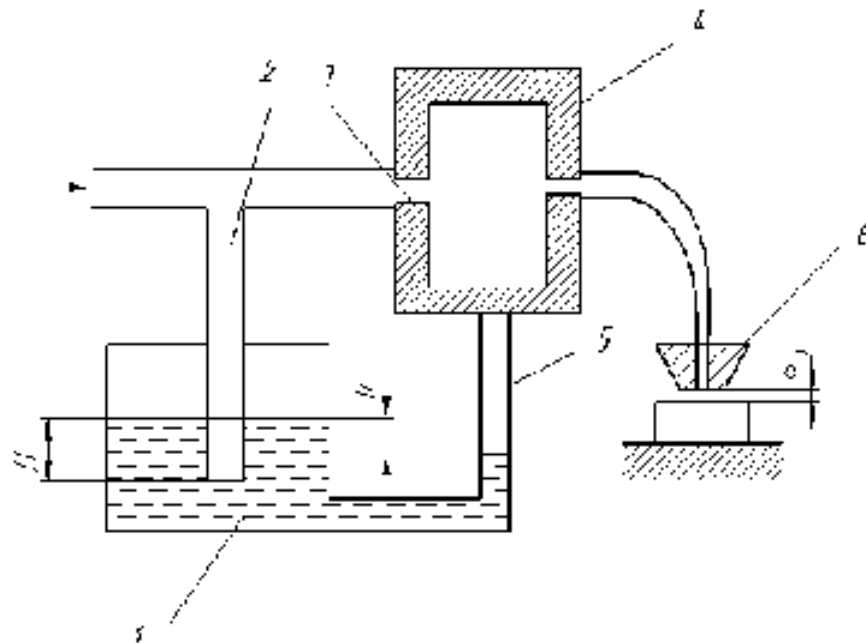


Рисунок 2.12. Пневматичні прилади низького тиску

Тиск повітря  $H$ , яке надходить у камеру, залежить від занурення трубки 2. При підвищенні тиску надлишок повітря виділяється у вигляді бульбашок і тиск зберігається незмінним. Різниця рівнів у посудині 1 і манометрі 5 залежить від величини зазору між голівкою 5 і виробом. Монометрична трубка 5 градуйована в мікронах.

Основні параметри таких приладів пов'язані і до них відносять:

- надлишковий тиск у вимірювальній камері;
- надлишковий тиск повітря, що надходить;
- перерізи вхідного і вихідного отворів;
- відношення коефіцієнтів витрати через вихідний і вхідний отвори.

2. Прилади високого тиску (рис 2.13). Зі стабілізатора 1 стиснене повітря через вхідне сопло 2 надходить до вимірювальної головки 4. Зміну тиску між соплами реєструє манометром 3. Продуктивність цих приладів майже в два рази вища, ніж приладів низького тиску.

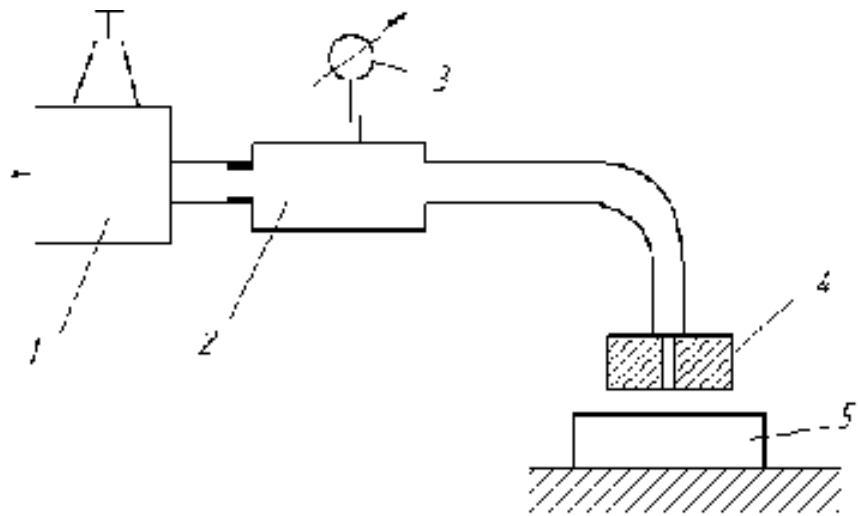


Рисунок 2.13. Пневматичні прилади високого тиску

3. Пневматичні ВО з ротаметрами (рис 2.14). В таких ВО вимірюється витрата повітря, яке виходить через вимірювальне сопло. Ротаметр являє собою конічну скляну трубку 2, всередині якої знаходиться поплавковий 1. Струмін повітря, який проходить знизу вгору, підтримує поплавок у зрівноваженому стані. Поплавок піднімається в конічній трубці тим вище, чим більша витрата повітря. Динамічна рівновага настає, коли між поплавком і стінками конічної трубки утворюється кільцева щілина, витрата повітря через дорівнює витраті повітря через вимірювальну головку. Положення поплавка є мірою розходу повітря. Ціна поділки шкали визначається конусністю трубки і вагою поплавка.

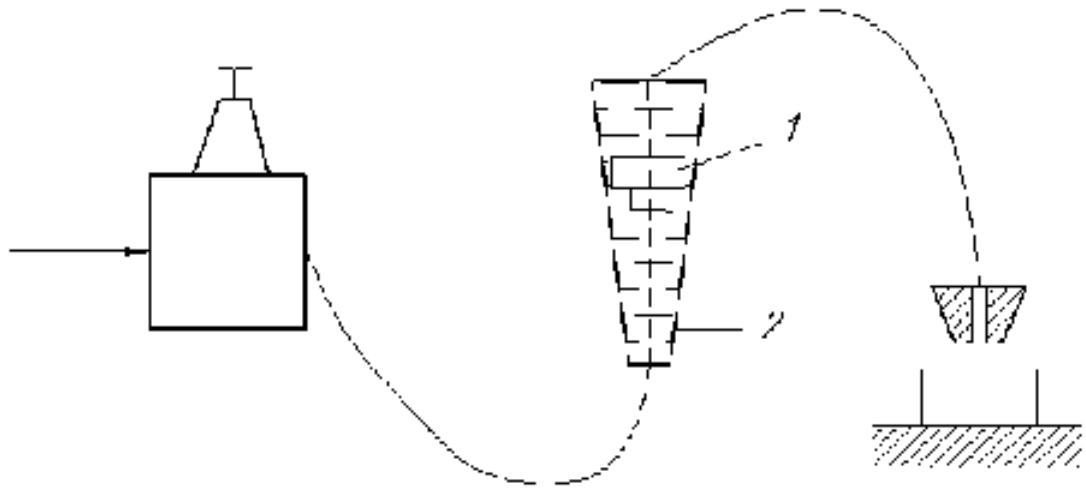


Рисунок 2.14. Пневматичні ВО з ротаметрами

Переваги пневматичних методів контролю можна констатувати за такими параметрами:

1. Висока чутливість і можливість отримати точність вимірювань порядку долей мікрометра при простій апаратурі.
2. Контроль розмірів виробів без торкання з ними вимірювального елемента.
3. Можливість контролю розмірів виробів складної форми і внутрішніх розмірів виробів, а саме, виробів малого діаметра.

Схеми вимірювальних головок зображено на рис. 2.15.

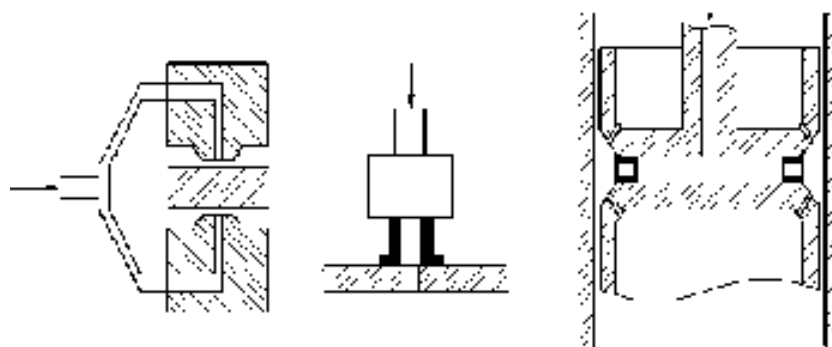


Рисунок 2.15. Схеми вимірювальних головок

*Вимірювальні системи з радіоактивними ізотопами та сортувальні механізми*

На рис. 2.16 зображена вимірювальна система з радіоактивними

ізопами. Пристрій складається з випромінювача 1, приймача 2, підсилювача 3 і високоомного реле 4.

Джерелом випромінювання є контейнер із радіоактивним ізопом, що дає м'яке гамма-випромінювання. Жорстке гамма - випромінювання неприємне, бо воно легко проходить через стінку фокусир діафрагм, а також через край деталі. Бета-випромінювання непридатне, бо воно значною мірою поглинається охолоджуючою речовиною. Приймачем служить лічильник частинок (лічильник Гейгера).

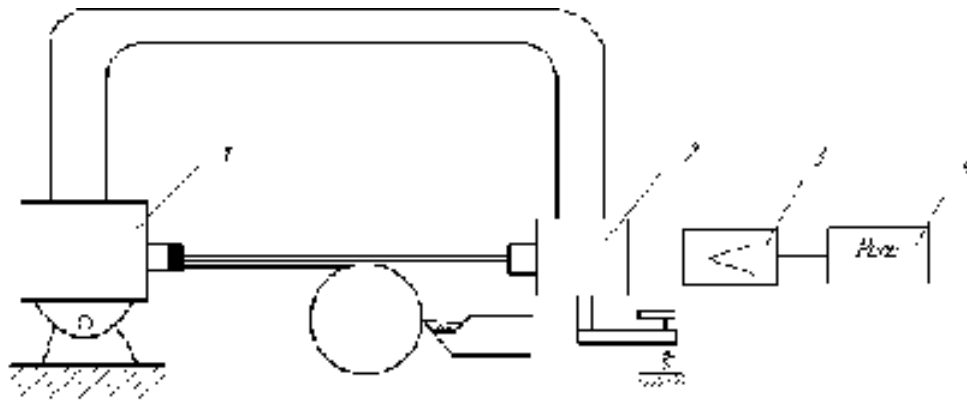


Рисунок 2.16. Вимірювальна система з радіоактивними ізопами

Точність вимірювань дорівнює 0,3-0,5 мкм.

Найбільшого поширення набув метод для контролю розмірів нагрітих і розжарених деталей і напівфабрикатів.

Призначення: примусовий розподіл контролюючих деталей по відповідних приймачах.

Для прикладу, на рис. 2.17 зображено дві схеми сортувальних механізмів із заслонкою.

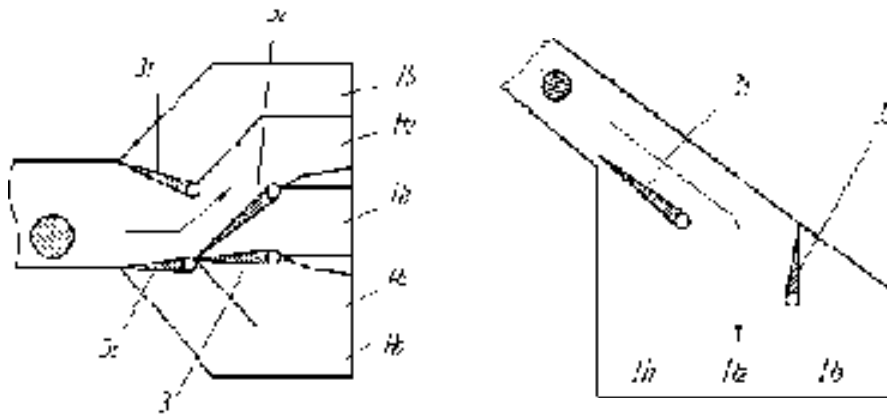


Рисунок 2.17. Сортивальні механізми з заслонкою

Сортивальні механізми складаються з направляючих жолобів і заслонок, пов'язаних з електромагнітними середовищами засобами керування. При спрацюванні електромагніта відповідна заслонка повертається і подає проконтрольований виріб у направляючий жолоб, як показано стрілкою. При вимкнених електромагнітах усі заслонки відтягнуті пружинами і виріб надходить у жолоб Н<sub>3</sub>.

### 3. АВТОМАТИЧНІ ЛІНІЇ

#### 3.1. Типи автоматичних ліній та їх класифікація

Автоматичною лінією (АЛ) називають автоматично діючу систему машин, розташованих у технологічній послідовності й об'єднаних загальними засобами транспортування, керування, видалення відходів.

Автоматичні лінії для виготовлення деталей з виконанням різноманітних операцій механічної обробки, складання, контролю, пакування та інших операцій класифікують за різноманітними ознаками. На рис. 3.1 зображена розроблена в ЕНДІМС класифікація ліній за основними ознаками. За принципом роботи лінії поділяють на два класи: синхронні та асинхронні.

На синхронній автоматичній лінії заготовка під час обробки передається безпосередньо від одного верстата до іншого без транспортування в магазини-накопичувачі або бункери (рис. 3.1а).

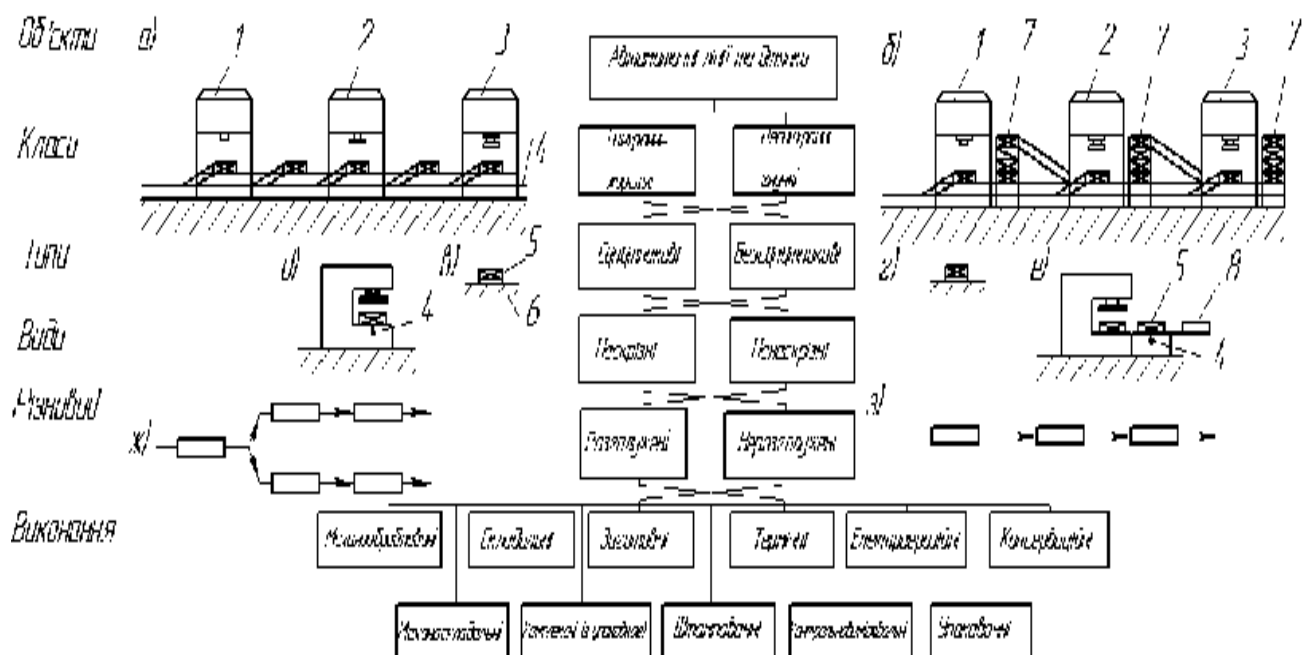


Рисунок 3.1. Класифікація ліній за основними ознаками:

1-3 – верстати; 4 – транспортер; 5 – оброблювана деталь; 6 – супутник;

7 – накопичувач; 8 – живильник

Асинхронні лінії (рис.3.1б) складаються з верстатів, кожен з яких забезпечений бункером (або магазином-накопичувачем) для зберігання деталей, та автоматичним завантажувально-розвантажувальним пристроєм. Синхронні та асинхронні лінії проектують як з пристосуваннями-супутниками, так і без них (рис.3.1в,г). Автоматичні лінії можуть складатися з одно- та багатопозиційних верстатів з наскрізним або не наскрізним транспортером (рис. 3.1д,е). Наскрізний транспортер – найпростіший, тому лінії з таким транспортером набули широкого застосування. Лінії з не наскрізним (верхнім та фронтальним) транспортером проектують у випадку, якщо конструкція верстатів не дозволяє виконати наскрізне транспортування виробів. Недолік таких ліній – їхня складність і необхідність мати на кожній робочій позиції свій завантажувально-розвантажувальний пристрій. Верстати, об'єднані жорстким транспортером, утворюють прямоточну лінію або окремі секції ліній з розгалуженими потоками (рис. 3.1ж, з). На рис.3.2 зображено варіанти ліній за основним ознаками.

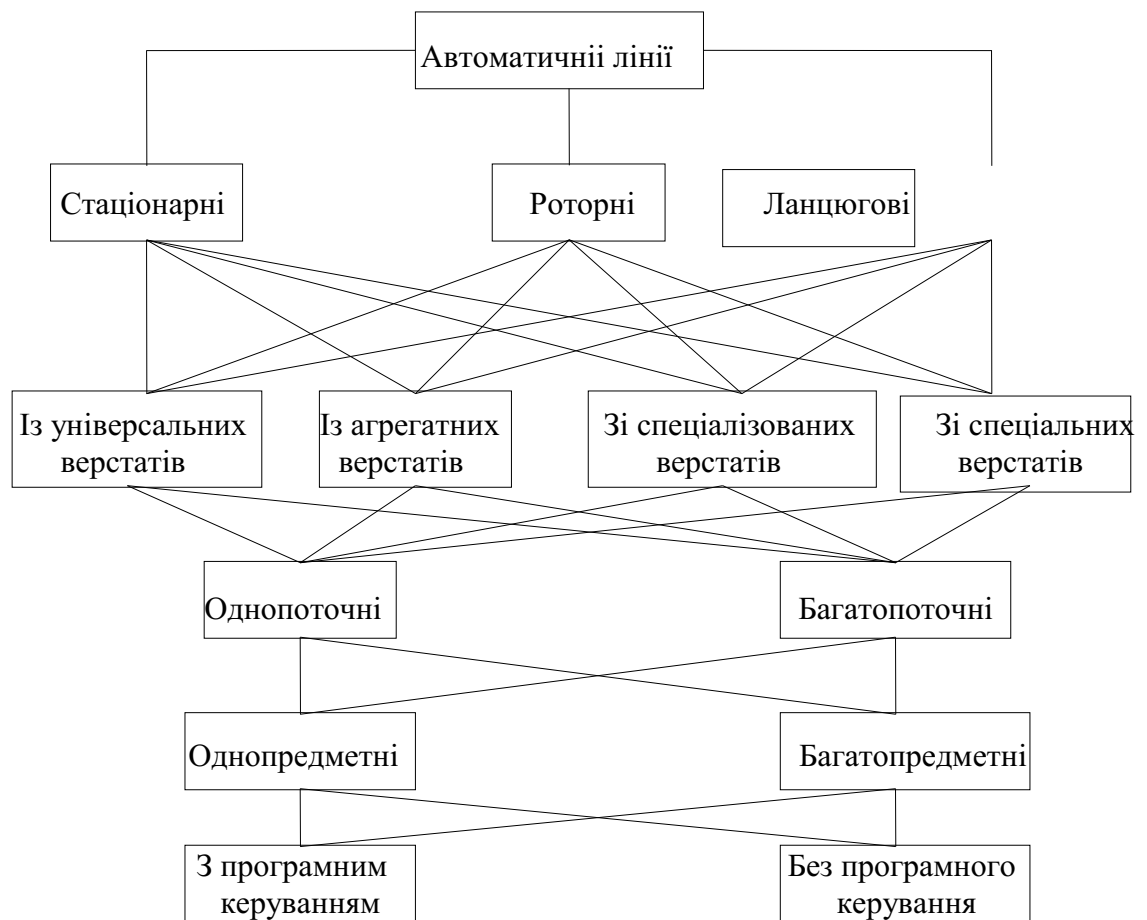


Рисунок 3.2. Варіанти автоматичних ліній

За характером транспортування виробів у процесі обробки або складання лінії можна поділити на стаціонарні, роторні та ланцюгові.

За технологічним призначенням розрізняють лінії для виконання одного виду операцій і комбінування ліній для виконання кількох видів операцій.

На рис.3.3 зображена класифікація механізмів АЛ, яка характеризує загальні структури лінії.

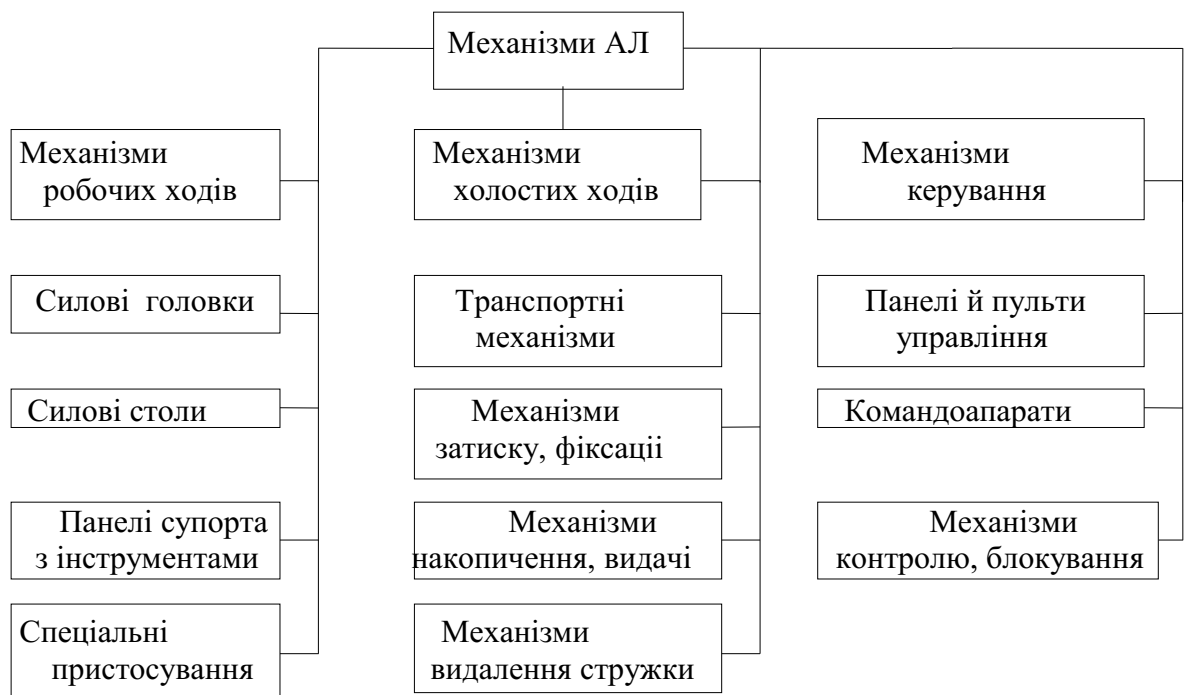


Рисунок 3.3. Класифікація механізмів автоматичних ліній

Окремі автомати, які вбудовані в лінію, є конструктивними елементами, що виконують робочі ходи, необхідні для виконання технічного процесу (ТП) обробки, контролю. Холості ходи в лінії виконуються механізмами міжверстатного транспортування, зміни орієнтації і т.д. Система керування лінії виконує не тільки координацію роботи машин, механізмів і простоїв при робочому циклі лінії, але й взаємного блокування, відшукування несправностей, сигналізації і т.д.

Не зважаючи на широке застосування АЛ, до сьогодні ще не визначені найефективніші типи і конструкції силових вузлів. Цим деякою мірою пояснюється та різноманітність конструктивних рішень, яка має місце в цій області.



На рис.3.4 зображена класифікація силових головок і силових столів.



Рисунок 3.4. Силові головки

Для порівняльного аналізу силових головок (СГ) з різними типами приводів необхідно розглянути такі їх параметри:

- 1) параметри конструкції;
- 2) технологічні параметри;
- 3) енергетичні параметри;
- 4) економічні параметри.

### 3.2. Транспортні пристрої

Транспортні пристрої (ТрП) призначені для передавання оброблюваних деталей з однієї позиції на другу і є разом з СГ найважливішими механізмами АЛ.

Конструкція і принцип роботи ТрП залежать від типу і розмірів оброблюваної деталі, а також характеру протікання ТП. У свою чергу, вибрана конструкція ТрП впливає на компоновку АЛ. Також як і АЛ ТрП за принципом роботи поділяють на циклічної і неперервної дії. Транспортери циклічної дії переважають, їх широко застосовують у лініях механо-складального виробництва різних типів. Транспортери неперервної дії використовують у лініях для хіміко-термічної обробки, лиття, сушки деталей, а також в роторних АЛ. Транспортери циклічної дії в свою чергу, можна розділити на дві групи: транспортні системи ліній з жорстким та гнучким зв'язком. На рис.3.5 а,б,в показані схеми ТрП, які застосовують на ділянках ліній з жорстким зв'язком між верстатами. Цю групу механізмів називають кроковими транспортерами, бо вони виконують крокове переміщення кожної деталі на наступну позицію.

Найширше в АЛ застосовують крокові штангові транспортери з підпружиненими собачками (рис.3.5а) і штангові транспортери з прапорцями. Вони забезпечують вищі швидкості переміщення деталей (рис.3.5б). Якщо для переміщення від позиції до позиції спочатку необхідно деталі підняти, застосовуються грейферні крокові транспортери (рис.3.5в). Складнішим варіантом ТрП із зворотно-поступальним переміщенням деталі є транспортер з рейнерами (рис.3.5г). Не зважаючи на спрощення компоновки ліній і деяку економію виробничої площі, рейнери не набули широкого застосування внаслідок складності й недостатньої надійності їх конструкції.

Різновидом крокових транспортерів є штовхаючий транспортер (рис.3.5 д). Так як величина лінійного переміщення деталей тут різна, вони не можуть фіксуватися одночасно, внаслідок чого різко збільшується тривалість циклу обробки.

В окремих випадках в якості крокових застосовують ланцюгові транспортери. Але така конструкція (рис.3.5 е) не забезпечує точного базування деталей, тому ланцюгові транспортери значно частіше використовують як транспортери неперервної дії.

Транспортери АЛ із гнучким і жорстким зв'язком складаються з транспортних систем ділянок, які працюють самостійно, а також із пристроїв, що повертають деталі в різних поверхнях, передаючи їх в бункери або магазини-накопичувачі, які розділяють деталі на потоки і об'єднують кілька потоків в один. Система ТрП із гнучким зв'язком дозволяє при зупинці одного верстата або ділянки працювати іншим.

Специфічним видом ТрП ліній неперервної дії є транспортні ротори АЛ роторного типу. Швидкість переміщення інструментальних блоків робочого ротору залежить від заданого технологічного режиму обробки.

### **3.3. Механізми затиску і фіксації деталей**

Крім СГ і ТрП досить важливими механізмами АЛ є механізми пристроїв для затискування і фіксації деталей (МЗФ). Вибір правильного методу базування деталей і закріплення їх з потрібним зусиллям затискування забезпечують точність обробки і надійність роботи лінії. Застосування швидкодіючих МЗФ дозволяє істотно зменшити допоміжний час і підвищити продуктивність лінії.

Принцип роботи і конструкція МЗФ залежать від форми і розмірів оброблюваної деталі. Корпусні деталі типу блоків і головок блока циліндрів, які мають попередньо оброблену базову поверхню, що переміщаються по транспортеру вільно і закріплюються в місцях обробки в стаціонарних пристосуваннях. Деталі складної форми, які не мають обробленої базової поверхні, встановлюють на початку обробки в пристосування-супутники, затискаються в них і проходять усю зону обробки від завантаження до вивантаження.

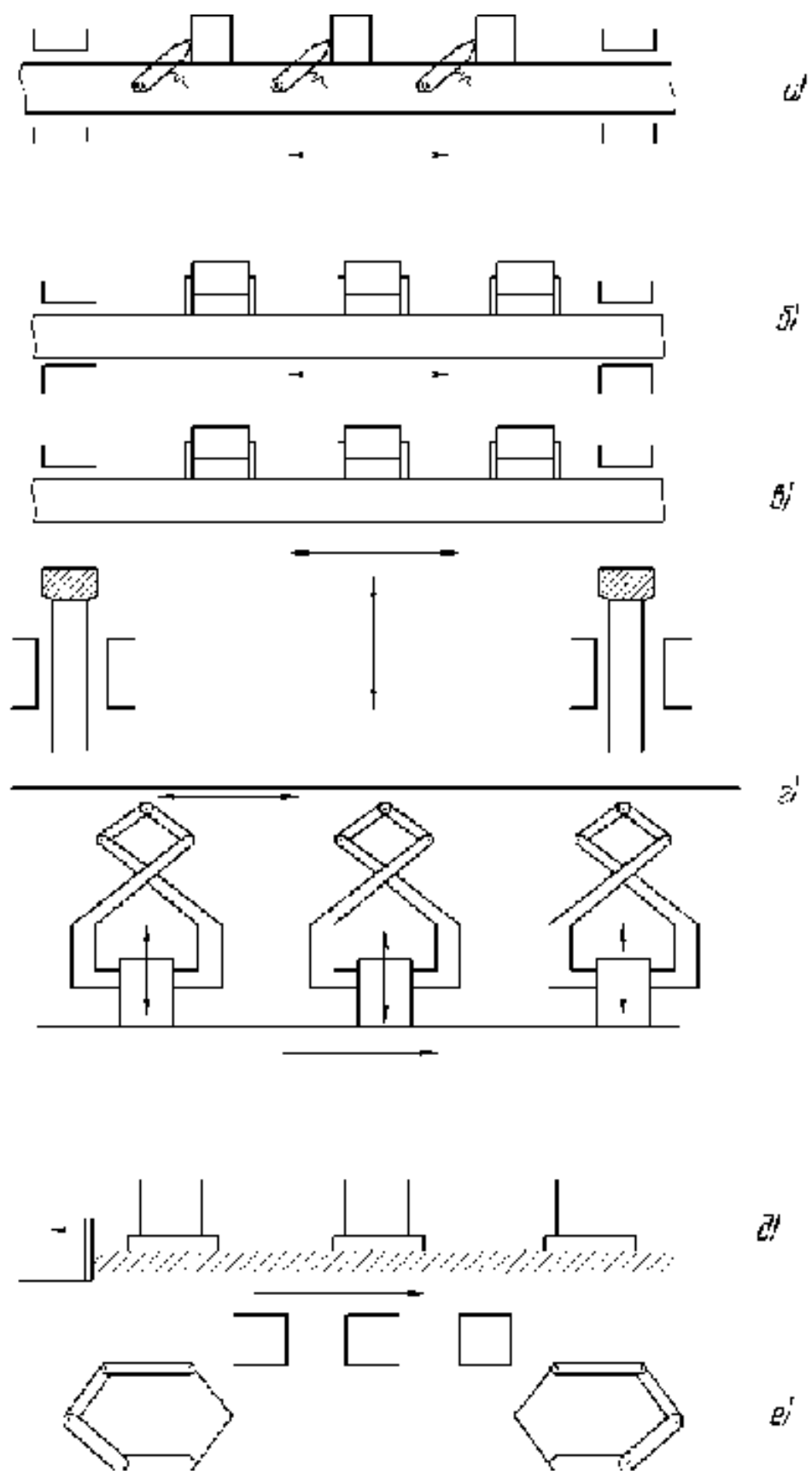


Рисунок 3.5. Схеми транспортних пристроїв, які застосовують на ділянках ліній з жорстким зв'язком

Пристосування-супутники мають площини ковзання й опорні бази для закріплення в місцях обробки. Як правило, деталі цих класів обробляються на АЛ із агрегатних верстатів.

Отже, МЗФ оброблюваних заготовок в АЛ виконують у двох варіантах – стаціонарні і пристосування-супутники (п-с).

Хоча пристосування-супутники для затискування і фіксації АЛ аналогічні за цільовим призначенням верстатним пристосуванням не автоматизованого виробництва, вони істотно відрізняються від останніх .

Число фіксаторів в п-с приймається мінімальним (один – два) їх установочні поверхні знаходяться в одній площині, введення і виведення фіксаторів виконується простим рухом. На рис.3.6 зображено механізм закріплення оброблюваної деталі на АЛ. Звичайно, заготовка подається у пристосування кроковим транспортером, а затискається спеціальним пристроєм, робота якого базується на механічній, гідравлічній або пневматичній основі, що забезпечує необхідне зусилля затискування для попередження значних деформацій в оброблюваних деталях.

Привід установлювальних, фіксуючих і затискних елементів конструктивно виконується загальним або роз'ємним з урахуванням того, що послідовне переміщення цих елементів проходить плавно, щоб запобігти можливим зміщенням і деформації заготовки.

Необхідною умовою надійної роботи є присутність контролю правильної фіксації і достатнього зусилля затискування, що виконується автоматично. Постійність зусилля затискування деталі протягом усього періоду обробки досягається шляхом застосування активного затискування, при якому зусилля гідро- або пневмопривода підтримується сталим.

П-с використовують пасивне зусилля затискування – деталь затискається один раз перед обробкою на лінії.

На рис.3.6 зображено дві схеми фіксації, виконувані двома затискними пальцями. За першою схемою (рис.3.6б) фіксація заготовки проходить з більшою точністю, ніж по другій. Але друга схема (рис.3.6в) краща тим, що в

ній система передаючих важелів простіша, менше відмов у роботі, забезпечується кращий доступ до робочого місця, швидше усуваються недоліки.

Деталь притискається (рис.3.6а) до поверхонь 4, по яких вона ковзає. З часом ці поверхні стираються і деталь з п-с «опускається», що призводить до тривалого простою, бо така несправність ліквідовується або шляхом підняття опорних поверхонь, або шляхом опускання агрегатних головок. На (рис 3.6г) зображена схема, яка не має цього опускання. Деталь встановлена на п-с, який рухається по напрямних 4, а притискається під час обробки до верхніх опорних пластин по площині 6.

У цьому випадку зусилля затискування не передається через всю деталь, яка при затиску не деформується. Крім цього, відкритий вільний доступ до деталі.

Таким чином, вузли затиску і фіксації деталей в АЛ використовують широке коло різних механізмів.

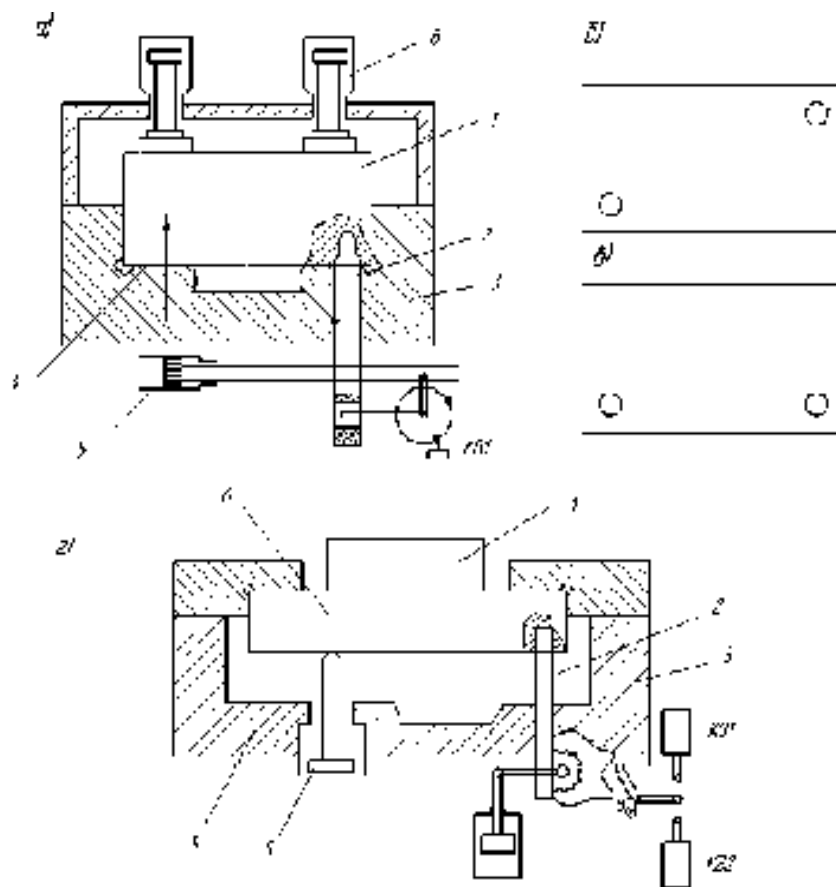


Рисунок. 3.6. Схема затискування і фіксації заготовок

На рис.3.7 зображена схема для базування і закріплення блока циліндрів 5. МЗФ складається з гідроциліндра 1, штока повзуна 2, поворотних важелів 3 і висувних фіксаторів 4. Механізм затискування складається з трьох основних вузлів: привода 8, передавального пристрою 7 і затискних елементів 6.

При розробленні МЗФ перш за все вибирають тип силового привода, який і зумовлює конструкцію всього пристрою. При цьому враховують тип привода верстатів лінії, бо часто вдається використовувати для МЗФ привод самого верстата.

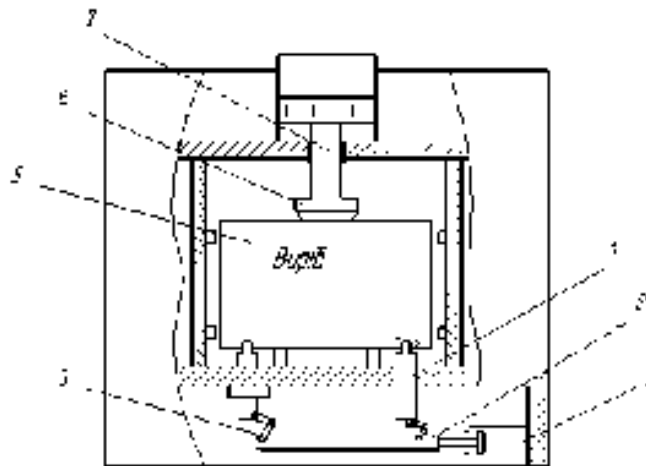


Рисунок 3.7. Механізм затискування і фіксації блока циліндрів

В АЛ для обробки корпусних деталей застосовують поворотні пристрої, які дозволяють змінювати орієнтацію деталей на окремих ділянках лінії.

Конструкція і привод поворотного пристрою повинні забезпечувати можливість сумісності часу його роботи з машинним або допоміжним часом обробки деталей.

Управління поворотним пристроєм бажано здійснювати від гідропанелей, які є вже на лінії, щоб не ускладнювати гідросистему і блокування її окремих механізмів.

Залежно від прийнятої технології обробки на лініях застосовують такі поворотні пристрої: барабани для повороту деталі навколо горизонтальної осі (рис.3.8а), столи для повороту деталі навколо вертикальної осі (рис. 3.8б), кантувачі для повороту деталі навколо нахиленої осі (рис. 3.8в).

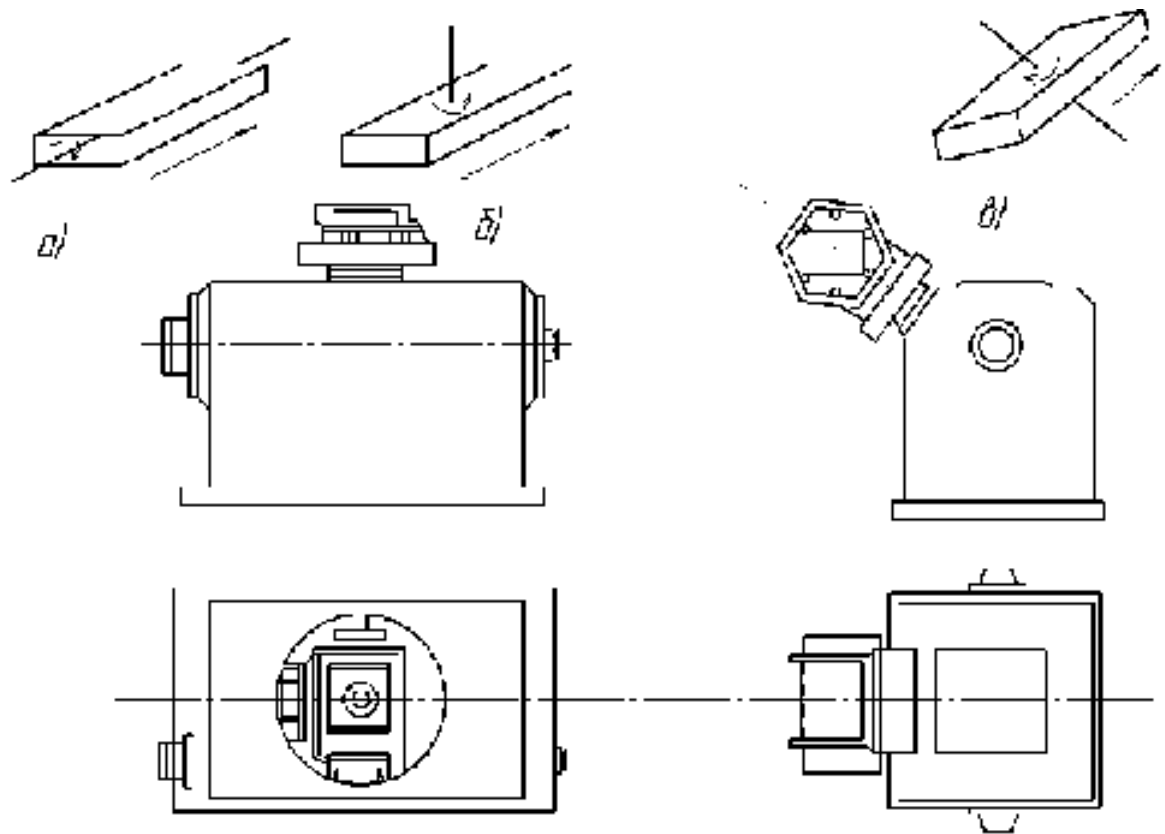


Рисунок 3.8. Типи поворотних пристроїв

У якості допоміжних механізмів АЛ застосовують агрегати для накопичування і видавання заготовок. У місцях поділу АЛ на ділянки доцільно розташовувати проміжні запаси заготовок з тим, щоб підживлювати ділянки лінії при зупинці попередніх. Накопичування запасів заготовок повинно здійснюватись у спеціальних агрегатах, які приймають заготовки від попередньої ділянки АЛ і передають їх наступній (при нормальній роботі), або приймають від попередньої і накопичують (при простой наступної ділянки) або підживлюють наступну ділянку за рахунок своїх накопичувань (при зупинці попередньої ділянки).

На АЛ бункерного типу (в основному для виготовлення дрібних деталей) ці функції виконують бункерні завантажувальні пристрої, а на лініях для виготовлення крупніших деталей, які не можуть вміститися в бункері, – проміжні магазини транзитного або складського типу.

У транзитних магазинах для видавання чергової заготовки необхідно



переміщувати весь запас. У складських магазинах, за нормальної роботи сусідніх ділянок лінії, потік живлення наступної ділянки іде в обхід вмістимого запасу і магазин включається в роботу лише при відмові однієї з ділянок.

На рис. 3.9 зображено шахтний магазин транзитного типу. Деталі по лотку 1 елеватором 2 подаються до змієподібного лотка 3, скочуються по ньому під дією власної ваги і переносяться транспортером 4. Відсікач 5 керує видаванням деталей по одній штуці. Як правило, змієподібний лоток 3 заповнений лише частково і при зупинці наступної ділянки запас деталей в магазині збільшується за рахунок наповнення лотка 3. При зупинці попередньої ділянки наступна продовжує отримувати живлення за рахунок запасу, що є в магазині.

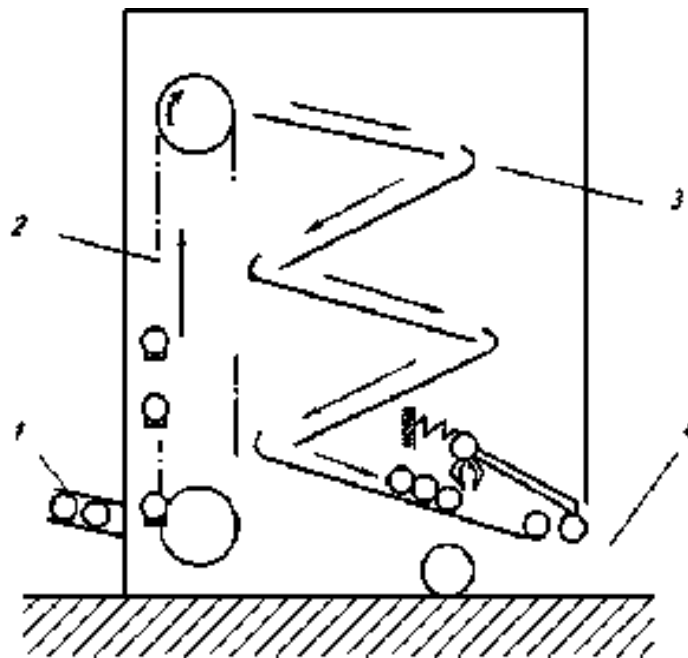


Рисунок 3.9. Схема шахтного магазину транзитного типу

На рис. 3.10 зображено другий вид транзитного магазину. Деталі через приймальний лоток 1, елеватор 2 і проміжний лоток 3 попадають в гніздо барабана 4, який, обертаючись, передає їх по лотку 5 до передавального магазину 6, останній відправляє деталі на поперечний транспортер 7 для подальшого передавання. У випадку заповнення гнізд ротора попередня ділянка лінії автоматично вимикається.

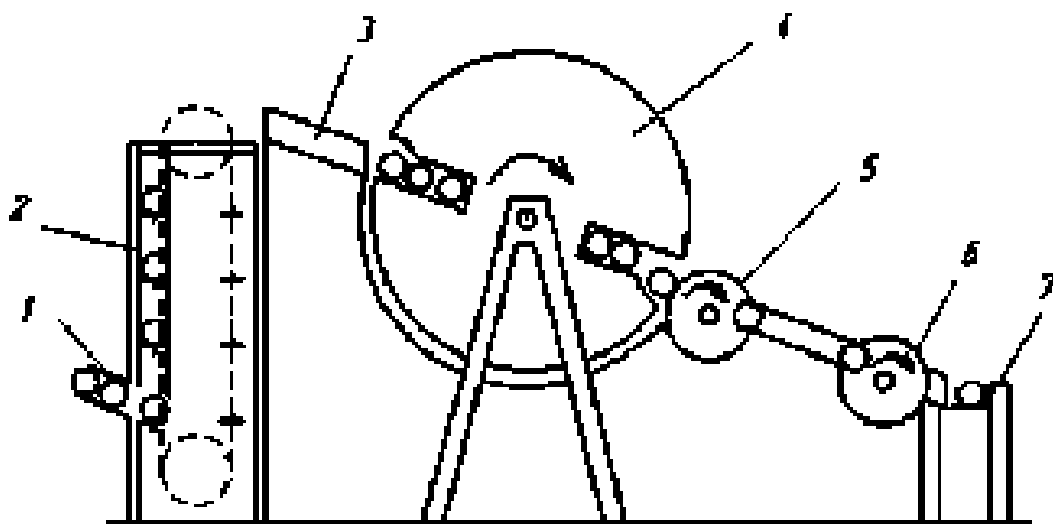


Рисунок 3.10. Схема проміжного магазину складського виду

Останнім часом в якості проміжних магазинів успішно застосовуються вібраційні накопичувачі

При поректуванні АЛ одним із основних елементів є механізми для видалення стружки. Видалення стружки є одним із найскладніших і часто важковирішуваних питань при проектуванні АЛ. Перш за все необхідно домагатися зменшення кількості стружки, що виникає при обробці, до отримання роздрібленої стружки. Весь комплекс цих питань можна поділити на три групи:

1. Відведення стружки з робочої зони верстата, видалення її з базових поверхонь і затискних елементів, не пошкоджуючи при цьому їх, а також поверхонь деталей.
2. Транспортування стружки в забірники цехового транспорту.
3. Очищення охолоджувальної речовини, масла від дрібної стружки і шламу.

На сьогодні видалення стружки з робочої зони здійснюють простими методами, без застосування особливих механізмів:

- 1) з допомогою щитків, скребків, щіток, грабель – так званим механічним способом;

2) гравітаційним, тобто стружка падає під дією власної ваги в стружкозабірники;

3) змиванням струменем емульсії;

4) здуванням або всмоктуванням;

5) за допомогою електромагніта.

Для видалення стружки з робочої зони можна використовувати різні транспортні механізми.

Розгляд конструкцій АЛ показує, що залежно від конкретних умов, визначених їх компонованням і організацією праці на них, знаходять застосування три наступні системи транспортування стружки з лінії в загальноцехову транспортну систему:

1. Транспортування стружки в контейнерах, коли з окремих верстатів через вікна в станині стружка висипається у відповідну ємність (ящик, візок).

2. Транспортування стружки транспортерами, які проходять поза лінією і мають підвідні контейнери того або іншого типу. Подібну систему транспортування стружки застосовують на тих лініях, де вдається використовувати цехові підземні пристрої, які раніше з'явилися, і залишається тільки передбачити відведення стружки із приймальників ліній.

3. Транспортування стружки транспортерами, вбудованими безпосередньо в лінію або проходячи під нею в спеціальній ямі, рові, тунелі. Використання такої системи транспортування виключає необхідність мати на кожному із робочих агрегатів лінії пристрої для відведення стружки з окремих агрегатів лінії на загальний транспортер, бо останній розташований безпосередньо під зонами обробки на цих самих агрегатах. Вибір тієї чи іншої конструкції подібного вбудованого транспортера, а також його розміщення (крізь верстатні лінії або в канаві під верстатами) залежить від конкретних умов роботи лінії і її компоновання.

У двох останніх системах в якості транспортних засобів використовують конвеєри різних типів – стрічкові, скребкові, шнекові, вібраційні.

В АЛ для прибирання стружки застосовують стрічкові транспортери

(рис.3.11а), у яких стрічка бавовняна прогумована, стальна проволка або стальна холоднотягнута. Стрічкові конвеєри мають високу продуктивність, дозволяють транспортувати стружку на великі відстані, їх відмінність в економічності, плавності й безшумності при простоті конструкції. Недоліками стрічкових конвеєрів є висока вартість і швидке зношування.

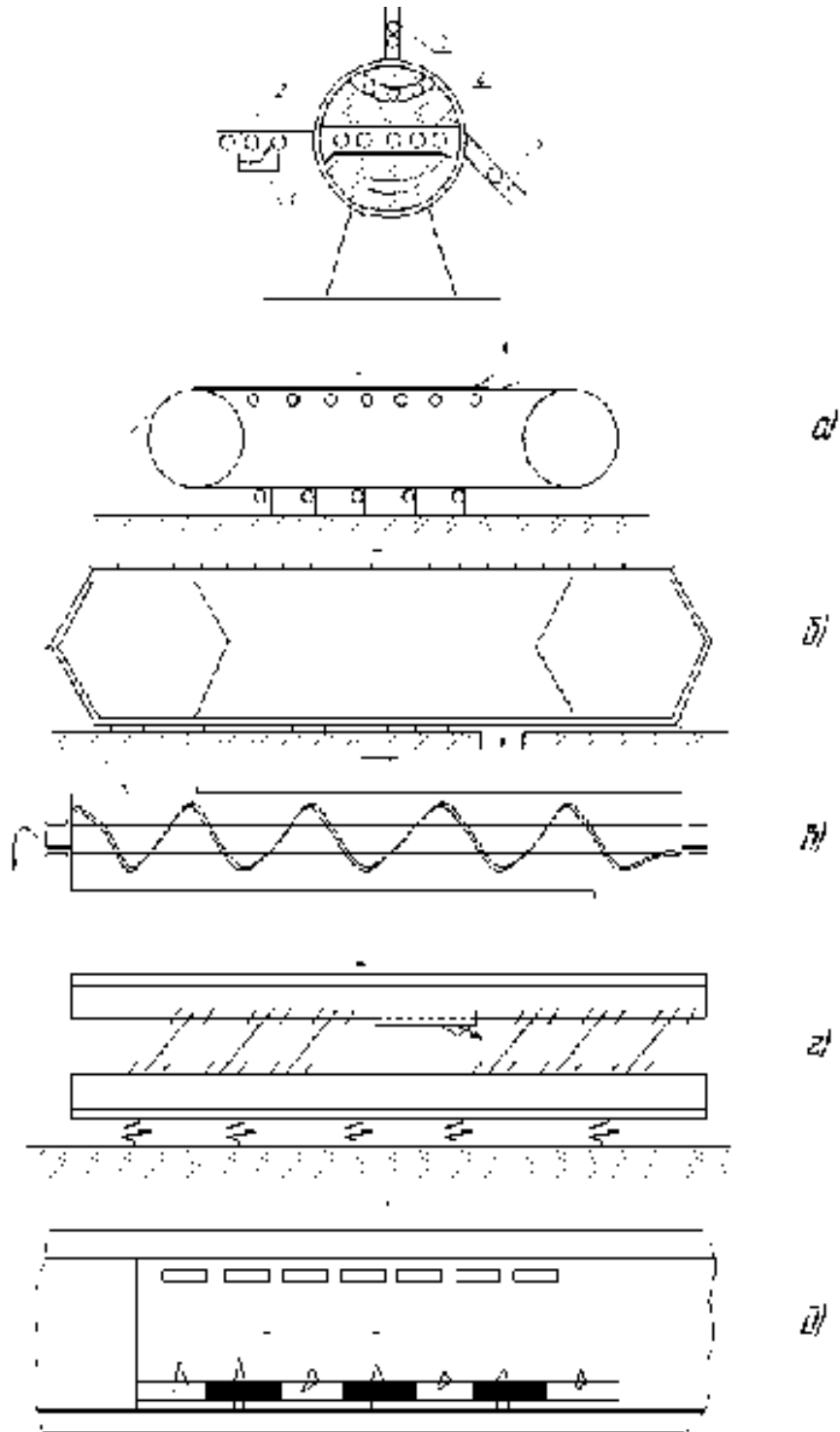


Рисунок 3.11. Схеми стрічкових транспортерів

Для транспортування дрібної металевої стружки широко застосовують скребкові транспортери (рис. 3.11б). Перевагами їх є можливість транспортування під значним кутом нахилу та довговічність скребків. До недоліків їх відносяться: низька продуктивність, велика питома витрата енергії, невелика довжина переміщення. В АЛ скребкові транспортери працюють на невеликій відстані і тому досить ефективні.

В АЛ все частіше застосовують шнекові транспортери (рис. 3.11в), які складаються з гвинта з приводом і жолоба, який охоплює гвинт. При обертанні гвинта, розміщеного по осі жолоба, гвинт проштовхує по цьому жолобу стружку, яка насипається через завантажувальні патрубки. Особливістю шнекових транспортерів для відведення стружки є те, що вони працюють безвідмовно й у випадку відсутності опор на вихідному кінці.

Шнекові транспортери використовуються з одним і кількома гвинтами. Залежно від числа гвинтів транспортери називають одношнековими, двошнековими і т. д.

За останній час з'явилися нові конструкції вібраційних транспортерів для транспортування стружки в АЛ (рис.3.11г), які являють собою вібраційний жолоб на пружних опорах.

Найбільшу трудність для відведення й транспортування являє собою вито або зливна стружка.

Розроблено конструкції спеціальних транспортерів, призначених для транспортування зливної стружки. Їх називають йоржово-штанговими (рис.3.11д ). Транспортер являє собою металевий жолоб із привареними шипами, в середині якого виконує зворотно-поступовий рух бортова штанга.

Виконуючи робочий хід, штанга йоржами забирає стружку, що знаходиться в жолобі, і штовхає її вперед. На зворотному шляху штанга проковзує по стружці, яка утримується йоржами жолоба. Таким чином, у результаті зворотно-поступального руху йоржової штанги стружка переміщується по жолобу в одному напрямі. Рух робочому органу (штанзі) передається від гідравлічного, пневматичного або механічного привода.

### **3.4. Застосування пневмотранспорту для відведення стружки**

В автоматизованому виробництві почали впроваджувати пневмотранспортні установки, котрі дозволяють відводити стружку із зони різання та виключають попадання її на базові поверхні заготовок, органи керування і контролю, зменшуючи при цьому травматизм при обслуговуванні автоматичних ліній. У порівнянні з механічними способами відведення стружки, пневматичний має такі переваги:

- відокремлення стружки від навколишнього середовища, відсутність втрат матеріалу при транспортуванні, в результаті чого не забруднюються виробничі приміщення;
- велика гнучкість траси відведення стружки, що дозволяє здійснювати її транспортування на невеликих площах;
- простота конструкції та керування, монтажу і заміни частин установок;
- відсутність рухомих механізмів по трасі переміщення стружки;
- вища надійність механічного обладнання, контрольно-вимірювальних приладів, гідро- і електроапаратури;
- зменшення кількості обслуговуючого персоналу і можливість повної автоматизації транспортних робіт;
- можливість передавання стружки по розгалуженому трубопроводу з кількох точок до однієї і навпаки, розміщених на різних відстанях і в різних напрямках;
- менші капітальні затрати та вартість експлуатації пневмотранспортних установок, особливо на значну відстань транспортування;
- підвищення загальної культури виробництва.

До недоліків пневматичного транспорту відносять високу питому витрату електроенергії на одиницю маси транспортованої стружки та посилене зношення трубопроводів (особливо в місцях повороту) й інших частин, котрі контактують із транспортованою стружкою.

Залежно від способу утворення повітряного потоку розрізняють

такі системи пневмотранспортних установок:

- всмоктувальні;
- нагнітальні;
- змішані, котрі складаються зі всмоктувальної та нагнітальної систем, що працюють від одного джерела стисненого повітря;
- аераційні транспортери (гравітаційний транспорт, флюїдованих повітрям часток матеріалів).

Принцип дії всмоктувальної установки (рис.3.12а) такий: вакуум-насос всмоктує повітря у систему трубопроводів, завдяки чому зовнішнє повітря, надходячи через приймальну всмоктувальну лійку, захоплює частки матеріалу і несе їх у циклон, де вони відокремлюються від повітря і надходять до розвантажувальної лійки. За необхідності матеріал виводиться з циклона через шлюзовий затвор. Повітря ж із циклона проходить крізь фільтр, у якому очищається від дрібних частинок, потім вакуум-насосом по трубопроводу виводиться в атмосферу.

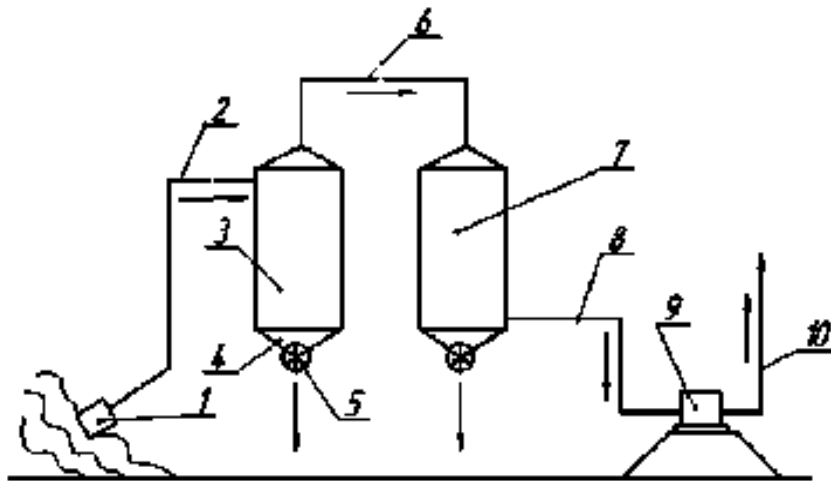


Рисунок 3.12а. Схема всмоктувального пневмотранспортного устаткування

1 – приймальна всмоктувальна лійка; 2,6,8,10 – трубопроводи; 3 – повітророзподільник-циклон; 4 – розвантажувальна лійка; 5 – шлюзовий затвор; 7 – фільтр; 8 – вакуум-насос

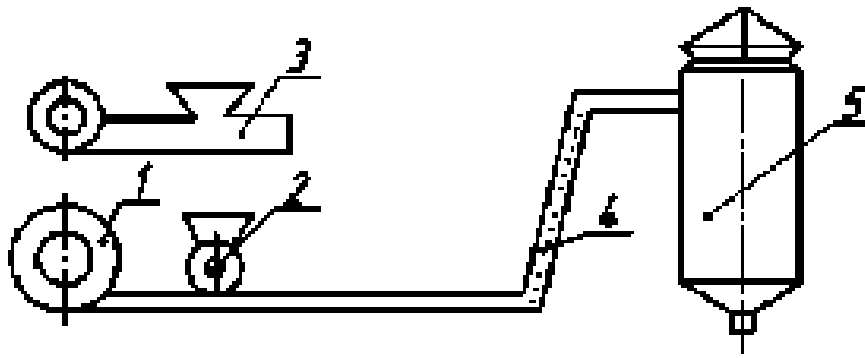


Рисунок 3.126. Схема нагнітальної пневмотранспортної установки:

- 1 – вентилятор; 2 – шлюзовий живильник; 3 – інжекторний живильник;  
4 – трубопровід; 5 – розвантажувач-циклон

Нагнітальна установка (рис.3.126) діє за принципом: вентилятор (або компресор) нагнітає повітря у трубопровід, куди надходить матеріал через інжекторний живильник, кількість якого регулюється завантажувальним пристроєм. Повітря разом з матеріалом по трубопроводу надходить до розвантажувального циклона. Тут матеріал, унаслідок різкого зменшення швидкості повітря, відокремлюється від повітря й опускається в нижню частину циклона, а повітря через його верхній отвір виводиться в атмосферу.

В нагнітальній установці завантажувальний пристрій складніший за розвантажувальний, тому що стиснене повітря в трубопроводі утруднює введення матеріалу.

В цій установці для завантаження матеріалу в трубопровід застосовуються шлюзові (рис. 3.12а), гвинтові або камерні живильники (насоси). В установках низького тиску іноді використовують інжекторні (рис. 3.12 б) завантажувальні лійки.

В автоматизованому виробництві поширена змішана система пневматичного транспорту (рис. 3.13). В ній зовнішнє повітря, виходячи через приймальні лійки, виносить із собою частки матеріалу по магістралі до циклона, в якому матеріал відокремлюється від повітря і падає вниз, а повітря із циклона виходить в атмосферу. В окремих випадках виникає необхідність у очищенні повітря від пилу у очисних пристроях (фільтрах) перед випуском в атмосферу.



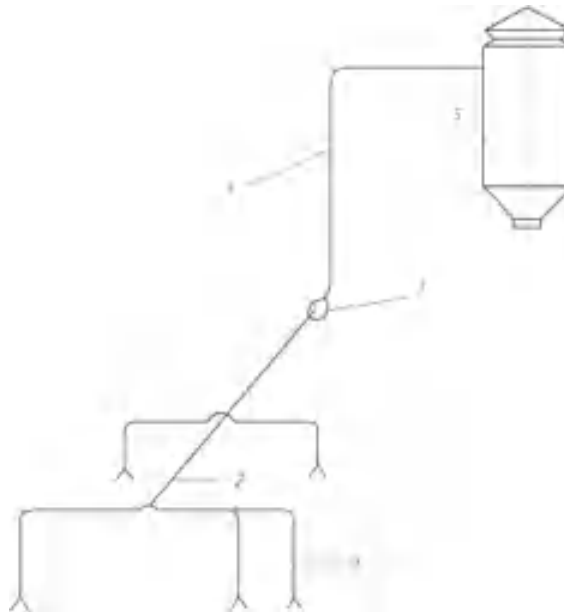


Рисунок 3.13. Схема змішаної пневмотранспортної установки:

- 1 – приймальна лійка відгалуження; 2 – усмоктувальна магістраль;  
 3 – відцентровий пиловий вентилятор; 4 – нагнітальна магістраль; 5 –  
 ЦИКЛОН

Розглянуті системи мають свої особливості, які зумовлюють їх застосування. Всмоктувальна установка може транспортувати матеріал з кількох пунктів до одного, нагнітальна – з одного до кількох, змішана – з одного або кількох до одного або кількох.

Принцип дії аераційного транспортера (рис. 3.14), або аерожолоба, полягає в тому, що сипкий матеріал, який потрапляє з завантажувального пристрою на мікропористу поверхню, безперестанно насичується повітрям, через що сипкий матеріал набуває властивості текучості і починає переміщуватися по поверхні, яка має невеликий схил.

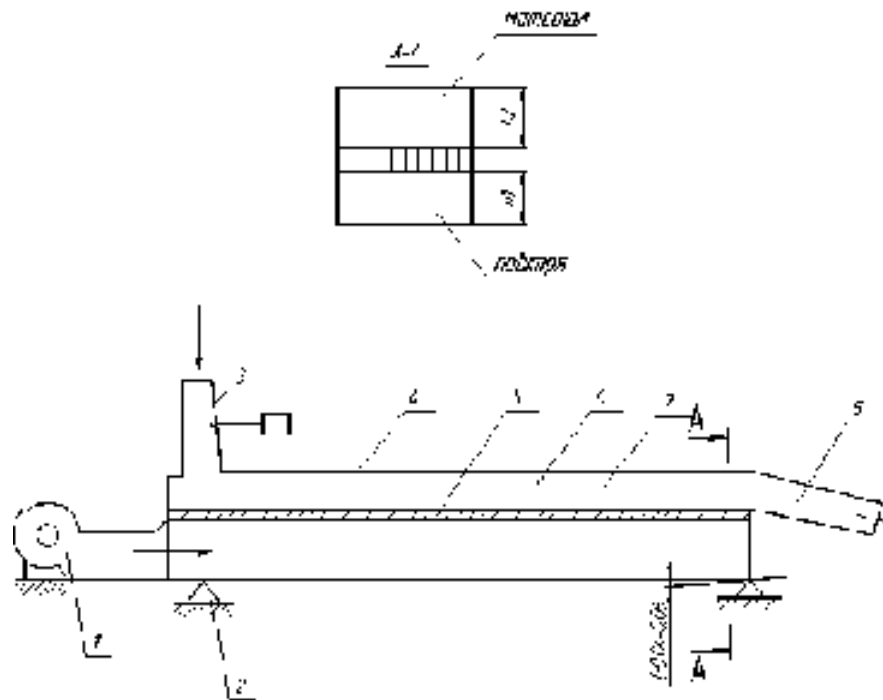


Рисунок 3.14. Схема аераційного транспортера:

- 1 – відцентровий вентилятор; 2 опори; 3 – завантажувальний пристрій;  
 4 – металевий жолоб прямокутного перерізу; 5 – мікропориста перегородка;  
 6 – повітророзподільний канал; 7 – лоток для переміщення матеріалу;  
 8 – розвантажувальний пристрій

Завантажувальні пристрої застосовують для завантаження стружки у всмоктуючі повітропроводи. Завантаження стружки полегшується тим, що статичний тиск у них менший атмосферного. На рис.3.16 зображена схема завантажувального пристрою. Конструкція його дозволяє завантажувати стружку в організований повітряний потік. Повітря надходить через конфузور і при завантаженні стружки опір тертя на вході різко не змінюється. За відсутності конфузора потік повітря створює місцеве звуження (рис.3.15а), що збільшує опір і тиск у приймальному пристрої.

Для підвищення продуктивності роботи системи пневмотранспортера в приймальний пристрій рекомендується вставити металічну пластинку (рис. 3.15в).

Пластинка не дозволяє стружці повністю перекрити січення повітропровода при її надлишковому подаванні, повітря, яке надходить у

повітропровід тільки через нижню частину, збільшить швидкість на вході й створить ефект ежекції в конічній частині. Стружка почне транспортуватись при підвищених швидкостях повітряного потоку і затор ліквідується. Розміри такої пластини і завантажувального пристрою розраховують за формулами [3.1]:

$$\begin{aligned} I_1 &= D_1 / (2 \operatorname{tg} \alpha) + 50; & I_2 &= D_2 / \cos \alpha; \\ I &= 2I_1 + I_2 + 100; \\ H &= h + D_1 / 2 = 2D_2 \cos \alpha + D_1 / 2; \\ R &= 1,5D_2; \\ L &= 1,5D_2 + I_1 + 50, \end{aligned} \quad (3.1)$$

де  $D_1$  – внутрішній діаметр повітропроводу, мм;

$D_2$  – внутрішній діаметр всмоктуючої лійки, мм;

$\alpha$  – кут тертя стружки.

Ежекційні пристрої (рис. 3.15) застосовують для завантаження стружки в нагнітаючі повітропроводи. Принцип дії ежекційного пристрою полягає в тому, що статичний тиск нагнітальних систем пневмотранспорту вищий за атмосферний, у результаті чого через будь-який отвір у повітропроводі повітря буде витравлюватись у атмосферу та перешкоджати завантаженню стружки. Повний тиск повітряного потоку в довільному січенні нагнітального повітропроводу являє собою суму статичного та динамічного тисків. Зменшуючи площу січення повітропроводу, можна настільки збільшити швидкість повітря, що динамічний тиск буде дорівнювати повному тиску, а статичний тиск – атмосферному. Тоді повітря не буде вибиватись через отвір назовні і з'явиться можливість завантажити стружку. При подальшому підвищенні швидкості повітря статичний тиск стане меншим атмосферного, значить, через отвір буде підсмоктуватись атмосферне повітря й умови для завантаження покращаться.

Повний тиск повітряного потоку в повітропроводі – це лінії січення Б – Б, (рис. 3.16) Па:

$$P_{\text{пов}} = I(\rho \cdot v^2) P_{\text{дин}} (1 + k_o), \quad (3.2)$$

де  $l$  – довжина повітропроводу до січення Б – Б, мм;

$d$  – діаметр повітропроводу, м;

– коефіцієнт тертя;

$k_o$  – коефіцієнт пропорційності, який визначається із залежності (3.2)

[1, стор. 61] ;

– концентрація стружки у транспортуючому потоці повітря.

Повний тиск в січенні А-А, Па

$$P = P_{\text{ст}} (1 + z) / \gamma, \quad (3.3)$$

де  $z$  – підсмоктування повітря крізь ежекційну лійку (приймають 0,6 – 0,7).

Швидкість повітряного потоку в січенні А – А визначають за формулою

$$V_1 = (2P_{\text{ст}} / \rho)^{1/2} / \gamma^{1/2}, \text{ м/с.}$$

Площа січення А – А ежекційного пристрою  $F_a = L / 3600 V_1$ , м/с.

Ширина лійки

$$B = (0,65 - 0,86)(d_1 + d_2) / 2, \quad (3.4)$$

де  $d_1$  і  $d_2$  – діаметри повітропроводу відповідно до і після січення А – Б, м.

Довжина відкритої ділянки січення, м,

$$K = (0,5 + l) b. \quad (3.5)$$

Висота лійки в січенні А – А, м,

$$h_1 = F_1 / b. \quad (3.6)$$

За наявності підсоси повітря

$$H_2 = (1 + z) / (3600 b V_2). \quad (3.7)$$

Форма повітропроводу в ежекційному пристрої звичайно прямокутна або квадратна. Сторона квадрата, м,

$$a = \sqrt{0,785 (d_1^2 + d_2^2) / 2}. \quad (3.8)$$

Довжина конфузора, м,

$$l_1 = (a - h_1) \cot \alpha. \quad (3.9)$$

Оптимальний кут  $\alpha = 18 - 20^\circ$ .

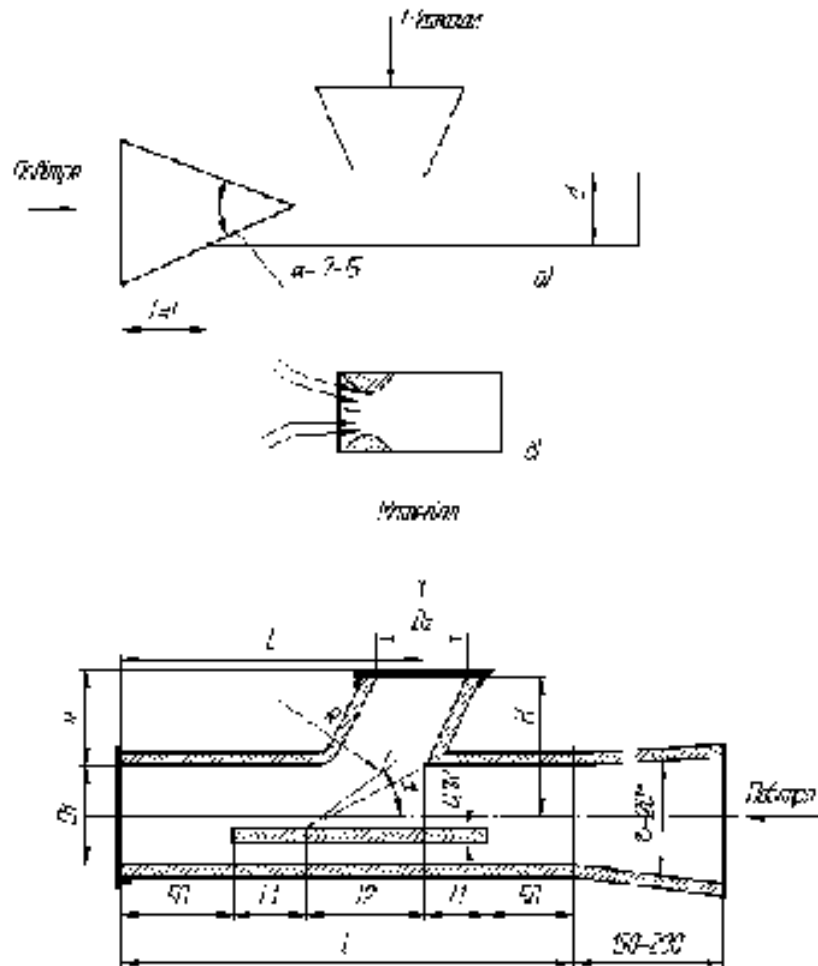


Рисунок 3.15. Завантажувальні пристрої:

- а) – завантажувальний пристрій типу «трійник» з конфузором;
- б) – завантажувальний пристрій без конфузора;
- в) – завантажувальний пристрій з металевою пластинкою.

Довжина зазора, м,

$$I_2 = (a - h_2) c t q \quad (3.10)$$

Оптимальний кут  $\alpha = 6-8^\circ$ .

Необхідно, щоб підсмоктування повітря прямувало до 0. Висота пристрою  $h_2$  повинна забезпечувати вільне проходження стружки, яка надходить із завантажувальної позиції в повітропровід. Фактично  $h_1$  і  $h_2$  приймають більшими розрахункових на 10 – 20%, а пристрій обладнують клапанами, які дозволяють регулювати ці розміри після монтажу.

Завантажувальний бункер пристрою рекомендується виконувати з

можливо меншим, однак достатнім кутом нахилу до напрямку повітряного потоку, щоб стружка не залишалася на похилій поверхні бункера.

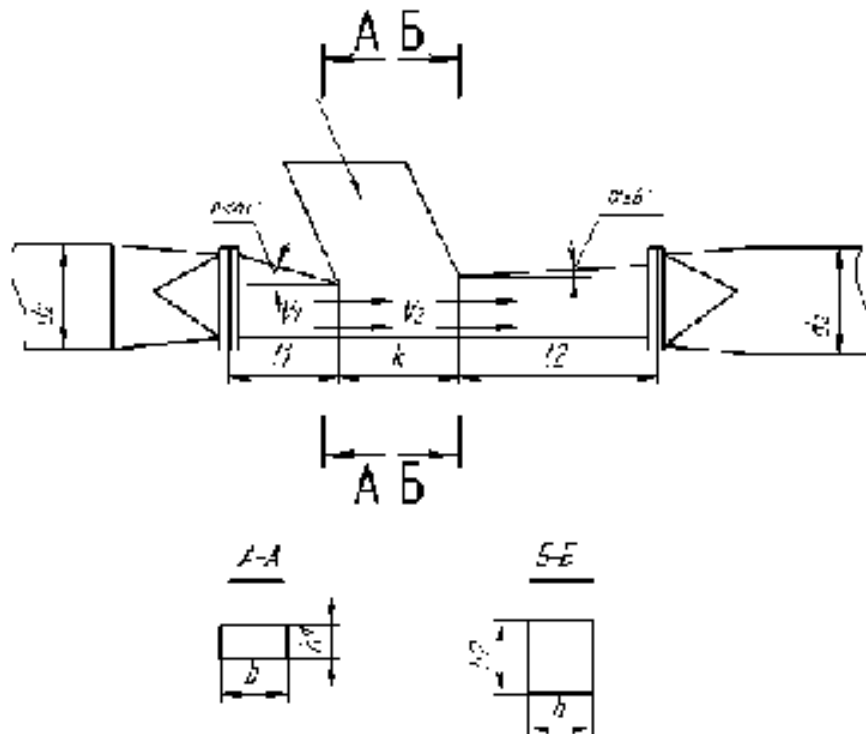


Рисунок 3.16. Схема ежекційного пристрою

Вимоги до монтажу потрібно враховувати при конструктивному компонуванні вузлів пневмотранспортних установок, де слід передбачити можливість вільного доступу до них для нормальної й безпечної експлуатації (рис.3.17).

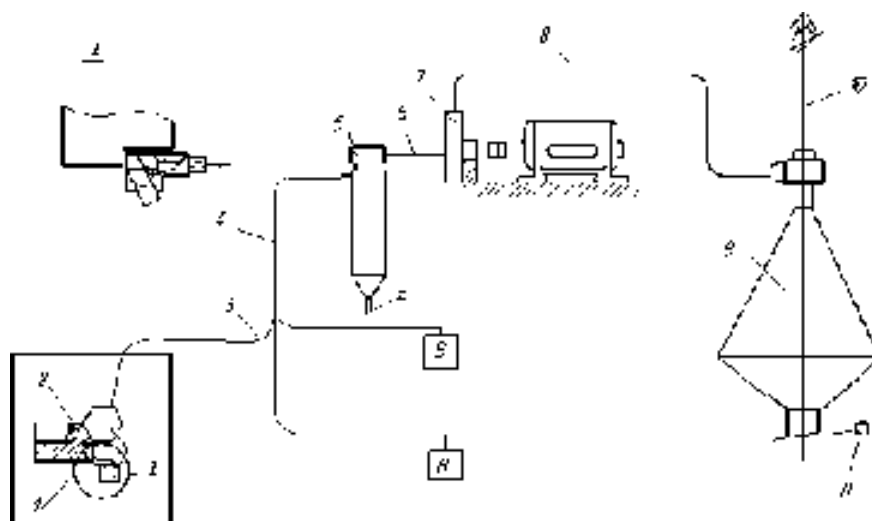


Рисунок 3.17. Схема групової пневмотранспортної установки для відведення стружки

Пуск пневмотранспортної установки після виготовлення або ремонту повинен проводитись тільки після досконалої перевірки. Перевіряються: відсутність сторонніх предметів у трубопроводах, колекторах, циклонах і бункері, чистота внутрішніх поверхонь колекторів та циклонів, відкладення пилю в конусах циклонів і підвісному отворі бункера; надійність роботи пилового затвора й засобів для транспортування стружки і пилю; герметичність зварних швів, люків і фланцевих з'єднань.

Пневмотранспортні установки, які транспортують матеріали, що легко займаються, та вибухонебезпечні матеріали повинні бути забезпечені давачами.

Приймачі пневмотранспортних установок повинні забезпечувати якнайповніше відведення стружки, безпечність роботи, не перешкоджати виконанню виробничих операцій і мати мінімальний аеродинамічний опір.

Повітропроводи пневмотранспортних установок слід прокладати так, щоб початкова прилягаюча до стружкоприймача ділянка розміщувалася вертикально або під кутом вгору.

Підсмоктування зовнішнього повітря, або стравлення повітря з циклонів повинні бути повністю усунені шляхом їх ретельної герметизації. Не допускається підсмоктування повітря через затвори, бо при розрідженні проходить різке зниження ефективності очищення, а при тиску – викид в атмосферу.

Не допускається переповнення бункера, бо при цьому знижується ефективність очищення і може відбутися забруднення циклонів. Шар стружки в бункері при максимальному його заповненні повинен бути нижчим від випускних отворів циклонів не менше, ніж на величину двох діаметрів цих отворів. У конструкціях стружковідокремлювачів доцільно передбачати блокування їх розвантаження з вимкненням пневмотранспортної установки.

Фільтри встановлюють так, щоб при роботі не потратив пил у чисту частину камери. Слід забезпечити вільний доступ до струшуючих механізмів. Конструкція фільтрів повинна витримувати гідростатичне навантаження, яке викликається внаслідок розрідження в мережі.

Перед встановленням перевіряють відповідність отриманих пневмодувних машин і електродвигунів даним проекту і технічним умовам.

Особливу увагу необхідно звернути на напрям обертання лопатевих коліс, їх збалансування, забезпечення необхідних зазорів, стан підшипників, міцність з'єднань. Пневмодувні машини, як правило, повинні мати еластичні під'єднання до трубопроводів з метою виключення передавання вібрацій.

При з'єднанні робочого вала пневмодувної машини з електродвигуном за допомогою муфти основу під ними роблять загальною. При з'єднанні пневмодувної машини з електродвигуном пасовою передачею його відмежовують і вставляють так, щоб ведучою була нижня частина паса. Електродвигун встановлюють на направляючих з можливістю зміни міжосьової відстані з метою регулювання натягів пасів.

При обертанні коліс пневмодувної машини може з'явитися вібрація, яка збільшує зношення підшипників, а також є причиною шумів. Вібрації виникають унаслідок невірноваженості маси колеса відносно осі обертання, в результаті чого виникають сили, які діють на вигин вала.

### **3.5. Основні етапи проектування автоматичних ліній**

При проектуванні універсальних та спеціальних автоматів широкого призначення, згідно з робочою документацією, створюють дослідний зразок машини, який використовують у виробника та замовника, після чого виконують доробку конструкції та технології, коректування технологічної документації, а потім налагоджують випуск зразків або серії. Аналогічним чином виконують проектування та запуск в серію типових автоматичних ліній для виготовлення масових виробів різного призначення.

Переглянемо вміст та задавання основних етапів проектування автоматизованого обладнання стосовно важкого випадку – створення спеціальних напіваавтоматів, автоматів, автоматичних ліній, які проектують для конкретних виробів та умов виробництва.

Технічним завданням є початкові документи для проектування. Вони



включають креслення заготовки та обробної деталі з зазначенням усіх вимог за точністю розмірів і взаємного розташування поверхонь; необхідну продуктивність за можливістю з розшифровкою по роках експлуатації; додаткові дані про конкретні умови цехової експлуатації (напруга в електромережі, тиск у пневмомережі, характеристика мастильно-охолоджувальної рідини та ін.). Для автоматичних ліній замовником надає також план ділянки, де передбачається змонтувати лінію, із зазначенням сітки колон, передбачених місць подавання заготовок і видавання оброблених на лінії виробів, проходів та проїздів.

При проектуванні технологічного обладнання для обробки специфічних виробів або для виконання оригінальних технологічних процесів, наприклад електрофізичних та електрохімічних методів обробки, у технічному завданні часто вказують і технологічні режими обробки, методи контролю якості та ін.

Технічна пропозиція включає також розроблення технологічного процесу і принципової схеми автомата або лінії як варіанта реалізації вимог, викладених у технічному завданні. Розроблення технологічного процесу включає вибір методів і послідовності обробки, технологічних баз, різального і вимірювального інструменту, що зумовлює якісний бік розроблення технологічного процесу, тобто забезпечення необхідної якості виробів, зумовлених розрахунками очікуваної точності обробки.

Кількісний бік розроблення технологічного процесу включає розрахунок і вибір режимів обробки, оцінку можливостей його диференціації та концентрації операцій у робочих позиціях, їх поєднання. В результаті розроблення технологічного процесу визначається величина  $t_{p0}$  - сумарний час ланцюжка несумісних робочих операцій, тобто сумарна тривалість технологічного впливу на виріб.

Розроблення принципових схем автомата включає вибір принципу дії (послідовного, паралельного або змішаного), числа робочих і холостих позицій, напрями геометричної осі машини, її компоновальної схеми.

Для автоматичної лінії вирішують також питання вибору кількості

паралельних потоків обробки, кількості міжопераційних накопичувачів та їх місткості, кроку робочих позицій та ін. Ці завдання визначають вже за критеріями забезпечення заданої продуктивності та оптимальних показників економічної ефективності проектного устаткування. Для цього після розроблення принципової схеми проводять розрахунки очікуваної продуктивності та показників ефективності, часто з уточненням і коригуванням технологічного маршруту та режимів обробки.

На етапі технічної пропозиції вирішують також питання вибору типу системи керування (з упорами, копірами, розподільним валом та ін.), розроблення принципів кінематичних, пневмогідравлічних, електричних схем проєктованих автоматів і автоматичних ліній.

Для наочності принципову схему автомата зображують графічно у вигляді комбінованої технологічної, кінематичної, пневмогідравлічної та інших схем, зображених у відповідності з передбачуваними конструкторськими рішеннями для кожного з елементів.

Для проєктованих автоматичних ліній зі складними технологічними процесами технічну пропозицію реалізують у вигляді технологічної схеми обробки, планування лінії з прив'язкою до планування ділянки згідно з технічними завданнями, технічними умовами на поставку лінії.

Таким чином, на етапі технічної пропозиції вирішують усі принципові питання проектування автоматів і автоматичних ліній і тим самим створюють умови для подальшого конструктивного розроблення. Технічну пропозицію обговорюють і погоджують із замовником.

Технічний проєкт охоплює основну частину конструкторської розробки нового обладнання. Він включає опрацювання основних цільових вузлів і механізмів проектного автомата або лінії з відповідними розрахунками, складання циклограм, розроблення завдань на проектування електропривода, гідравлічних, пневматичних, вакуумних систем, систем змащення та охолодження. У ньому розроблені загальні види всіх механізмів і пристроїв автомата (у тому числі електропривод, гідропривод та ін.) і його загальні види з

обов'язковим опрацюванням питань взаємної ув'язки. Для цього на кресленнях загальних видів тонкими лініями викреслюють базові деталі й поверхні, пов'язані частини суміжних вузлів із зазначенням координуючих розмірів, величин робочих переміщень та ін. Одночасно опрацювають для кожного вузла технічні умови на виготовлення, складання, регулювання.

Для автоматичних ліній розробляють, крім механізмів і загальних видів вбудованих верстатів, загальні види механізмів транспортування, зміни орієнтації, накопичення виробів, видалення відходів та ін.

Розроблення робочої документації включає деталізацію всіх механізмів та вузлів згідно з розробленими загальними видами і специфікаціями, контроль, остаточне відпрацювання і розмноження всієї документації, включаючи паспорт автомата з його технічною характеристикою, керівництво з монтажу, налагодження та обслуговуванню.

Широке впровадження комплексної автоматизації виробництва вимагає високої організації масового виробництва проектів нових напівавтоматів, автоматів, агрегатних верстатів і автоматичних ліній, що можна реалізувати, в першу чергу, за рахунок скорочення термінів і трудомісткості проектування, підвищення продуктивності праці конструкторів і технологів.

Це завдання вирішується шляхом організації системи спеціальних конструкторських бюро (СКБ), здатних вирішувати на високому рівні найскладніші проблеми комплексної автоматизації обробки, контролю, складання.

Наявність великих конструкторських організацій дозволяє використовувати в процесі проектування основні принципи, властиві будь-якому поточно-масовому виробництву, а саме: диференціацію загального обсягу робіт, поєднання різних етапів у часі, поглиблену спеціалізацію, автоматизацію й механізацію окремих стадій проектно-конструкторських робіт та ін.

На рис 3.18 зображено типову організаційну структуру СКБ, спеціалізованого з проектування автоматів і автоматичних ліній, яка поєднує

принципи поділу праці, єдиноначальності й персональної відповідальності за конкретну ділянку, починаючи від керівництва до рядових виконавців. Як показано на схемі, конструкторські відділи поділяють на основні та спеціалізовані, хоча і ті, й інші мають вузьку спеціалізацію.

Основні конструкторські відділи з проектування різних типів автоматів, спеціальних верстатів і автоматичних ліній, а також уніфікованих вузлів мають предметну спеціалізацію. До спеціалізованих відносять конструкторські відділи з проектування шпиндельних вузлів, електропривода, гідропривода, інструменту та ін. Усі відділи складаються з конструкторських секторів; спеціалізовані відділи мають спеціальні групи з розроблення нормалізованих вузлів, деталей, схемних рішень і керівних матеріалів до них.

До експериментально-дослідного відділу входить лабораторія довговічності і надійності, яка здійснює зворотний зв'язок між експлуатаційними організаціями та конструкторами шляхом проведення досліджень працездатності впроваджених автоматів і автоматичних ліній в умовах експлуатації. Тим самим оцінюється якість і перспективність прийнятих технологічних і конструктивних рішень, створюються передумови для постійного вдосконалення проектного устаткування.

Обговорення та затвердження всіх розроблюваних проектів здійснюється на засіданнях науково-технічної ради, головою якого є начальник СКБ. Такі організаційні принципи побудови СКБ дозволяють здійснювати чітку систему перспективного та оперативного планування проектно-конструкторських робіт, для чого застосовують мережеві графіки. Застосування мережевих графіків дозволяє виявляти в кожному конкретному випадку «критичний шлях», який визначає календарні терміни виконання проекту.

Однією з найважливіших характерних особливостей розвитку сучасного виробництва є широке застосування принципів стандартизації в усіх ланках виробничого процесу, починаючи з технологічної та конструкторської підготовки виробництва, тобто розроблення технологічних процесів обробки, контролю і складання, проектування машин і агрегатів. Введена Єдина система

[illegible]

В основу єдиної системи технологічної документації (ЄСТД) покладено принцип максимального скорочення, уніфікації та впорядкування діючої технологічної документації, створення єдиних методів оформлення типових технологічних процесів, групових і типових методів обробки. Єдина система технологічної документації (ЄСТД), як і ЄСКД, передбачає широке впровадження обробки документації на базі ЕОМ.

92

технологічне обладнання, аж до типових автоматичних ліній для виробництва масових виробів.

Таким чином, застосування принципів стандартизації в сучасному виробництві носить комплексний характер, що знайшло найбільше втілення в Єдиній системі технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ), в основі якої застосовані такі положення:

- 1) вимоги системи конструкторської документації;
- 2) вимоги системи технологічної документації;
- 3) максимальне використання типових технологій;
- 4) використання стандартного технологічного оснащення;
- 5) агрегатизація технологічного обладнання, що базується на використанні нормалізованих вузлів і компонок машин;
- 6) максимальна механізація й автоматизація інженерно-технічних робіт, заснована на уніфікації математичного забезпечення процесів підготовки виробництва.

Отже, застосування принципів стандартизації при проектуванні машин полягає насамперед у тому, що в процесі створення нових автоматів і автоматичних ліній максимальною мірою використовуються відомі, апробовані конструктивні рішення у вигляді нормалізованих деталей, пристроїв, механізмів і вузлів.

Основними положеннями при проектуванні автоматичних ліній можна вважати:

1. Розширення технологічних можливостей ліній за рахунок виконання різних операцій механічної обробки, збирання, контролю і пакування різних виробів.
2. Підвищення надійності роботи АЛ і збільшення коефіцієнта їх використання.
3. Створення багатомоделових і швидко переналагоджувальних АЛ для серійного і дрібносерійного виробництва.
4. Об'єднання окремих АЛ в автоматизовані ділянки і цехи для повного

виготовлення дуже складних і трудомістких деталей машин на основі комплексної автоматизації.

Проектування технологічного процесу (ТП) обробки деталей на АЛ починають з аналізу конструкції вузлів і деталей. Основним завданням аналізу конструкції деталі є підвищення її технологічності, ось чому деталь повинна мати:

- 1) в міру можливості просту форму;
- 2) такі оброблювані поверхні, щоб їх можна було отримати із застосуванням простих інструментів і мінімальної кількості переходів;
- 3) добрі установлювальні бази, а також поверхні для транспортування затиску їх в пристосуваннях, які дозволяють обробляти зі усіх боків;
- 4) легкий доступ для інструменту;
- 5) мінімальний, стабільний за величиною припуск на обробку.

*Вибір варіанта технологічного процесу.*

При проектуванні АЛ одним з найвідповідальніших етапів є розроблення оптимального, тобто найефективнішого варіанта ТП, який належить автоматизації. Успішному вирішенню завдань проектування оптимальних ТП виготовлення деталі в автоматизованому виробництві допомагає типізація ТП і проектування ТП за типовими проектами.

Під типовим ТП розуміють схематичний принциповий процес виготовлення типової деталі, який включає основні елементи конкретного процесу, спосіб отримання заготовок, спосіб базування і кріплення деталей, послідовність виконуваних операцій, типи обладнання і оснастки, а також наближену трудоемність виготовлення деталей при заданому випуску як один із критеріїв ефективності розробленого ТП.

Великі переваги такого підходу до проектування автоматизованих ТП виготовлення деталей полягає в тому, що типізація дає можливість:

- а) звести велику кількість варіантів ТП до мінімуму і внести одноманітність в їх проектуванні;
- б) дотримуватись принципів при проектуванні ТП, що підвищує якість

проектування й скорочує їх терміни;

в) зменшувати кількість типів обладнання й оснастки, будувати це обладнання на базі типових схем, стандартних уніфікованих вузлів;

г) порівнювати рівень технологічності на різних підприємствах;

д) розвивати автоматизацію виробничих процесів як науку.

### 3.6. Продуктивність автоматичних ліній

Продуктивністю виробничого обладнання називають кількість продукції, що видається за одиницю часу. Для того, щоб кількісно оцінити продуктивність будь-якого об'єкта, необхідно випущену продукцію віднести до відрізка часу, за який ця продукція вироблена.

Якщо за період робочого циклу  $T$  об'єкт випускає один виріб чи порцію виробів, то його циклова продуктивність (за умови безперебійної роботи)

$$Q_{\text{с}} = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_p + t_x} \quad (3.17)$$

або якщо за період робочого циклу  $T$  машина виробляє не один виріб, а  $p$  виробів, то циклова продуктивність (ЦП)

$$Q_u = p/T. \quad (3.18)$$

Очевидно, що залежно від цільового призначення виробничої системи, виду обробки, кількість оброблювальної нею продукції може вимірюватись в різних одиницях (штуках, одиницях довжини, об'єму, ваги і т.д.). Одиницею часу в теорії продуктивності прийнята хвилина ; крім того, в виробничих умовах відносять кількість випущеної продукції до першої робочої зміни, однієї години і т. д.

В різних областях виробництва значною частиною є штучна продукція, то тут в основу взята штучна продуктивність, тобто кількість виробів, виготовлених за одиницю часу :  $Q$  [шт/хв] , [шт/зміну] .

Якщо в лінії відсутні холості ходи:  $t = 0$ ;  $T = t_p$  і ТП здійснюється безперервно, ЦП у відповідності з (3.18) :

$$Q_u = 1/t_p = k[\text{шт/год}] \quad (3.19)$$



Величину  $k$  називають технологічною продуктивністю (ТПр) робочого об'єкта, вона являє собою фіктивну продуктивність будь-якої машини, обчислену без врахування затрат часу на холості ходи  $t_x$ , вона залежить від виробів, що обробляються, методів і режимів обробки. Так, при обробці різанням циліндричних поверхонь час робочих ходів розраховується по формулі :

$$t_p = l / (nS) = \pi d l / 1000 V S \quad (3.20)$$

де  $l$  - довжина ходу інструменту, мм

$S$  - подача, мм/об;

$n$  - частота обертання шпінделя, об/хв;

$V$  - швидкість різання, м/хв;

$d$  - діаметр поверхні, що обробляється, мм.

Звідси:

$$k = 1/t_p = (1000 V S) / (\pi d l) \quad (3.21)$$

Підвищення ТПр досягається за рахунок інтенсифікації режимів обробки  $V$  і  $S$ , скороченням довжини обробки, що приходить на кожен інструмент,  $l$ , а також за допомогою інших методів; при цьому технологічний потенціал продуктивності машини підвищується.

В машинах дискретної дії з холостими ходами ЦП завжди менша технологічної

$$\eta = \dots \quad (3.22)$$

Таким чином, ЦП робочої об'єкта являє собою добуток ТПр на коефіцієнт продуктивності. Коефіцієнт продуктивності визначають відношенням часу робочих ходів до періоду циклу:

$$\eta = 1 / (k t_x + 1) = Q_w / k = t_p / T. \quad (3.23)$$

Величина  $\eta$  характеризує ступінь неперервності протікання ТП на АЛ. Коефіцієнт  $\eta = 0.8$  означає, що в робочому циклі 80% складають робочі ходи, а 20 % – холості. Отже, можливості, закладені в ТП, використані на 80 %.

Чим вищий ступінь неперервності ТП, тим краще вирішено завдання конструювання механізмів і пристроїв, тим вища конструктивна досконалість

лінії. Тому коефіцієнт продуктивності характеризує собою конструктивну досконалість лінії, ступінь їх наближення до систем неперервної дії.

Таким чином, два види продуктивності – технологічна і циклова, характеризують лінію як з точки зору прогресивності ТП, покладеного в основу лінії, так і конструктивної досконалості механізмів і пристроїв, системи керування і т.д.

Для більшості АЛ тривалість робочого циклу й усіх її елементів залишається незмінною в процесі роботи, тому технологічна і циклова продуктивності є постійними величинами. Виняток становлять АЛ з гідравлічним приводом, де тривалість обробки коливається в деяких межах – в залежно від температури і в'язкості масла, ступенів зношення інструменту, твердості заготовок і т. д.

Розглядаючи рівняння (3.23) можна помітити, що коефіцієнт продуктивності одночасно залежить від величин  $t_x$  і  $k$ . Якщо прийняти  $t_x = \text{const}$ , то з збільшенням значення  $k$  величина коефіцієнта продуктивності зменшується. Таким чином, при підвищенні продуктивності, з одного боку, збільшується ТПр, з іншого – зменшується величина коефіцієнта продуктивності, що призводить до зниження росту ЦП. Тому підвищення продуктивності можливе лише при врахуванні взаємодії між вказаними двома факторами. Максимум продуктивності робочої машини при  $t_x = \text{const}$ .

Якщо час холостого ходу зменшується, наближаючись до нуля, то продуктивність  $Q_u$  прямує до ТПр:

$$Q_{\max} = \lim_{k \rightarrow 0} R/(kt_x + 1) = k. \quad (3.24)$$

Якщо  $k$  прямує до безмежності й до нуля, то границі підвищення продуктивності немає. Таким чином, якщо збільшується тільки ТПр при  $t_x = \text{const}$ , то будь-яка конкретна АЛ має границю підвищення продуктивності. Якщо поряд зі збільшенням ТПр при створенні нових машин зменшується час на холості ходи, то продуктивність машин границі не має.

### **Фактична продуктивність**

Якщо визначити продуктивність АЛ за тривалий проміжок часу шляхом

ділення кількості випущеної продукції за який-небудь календарний відрізок часу на його тривалість, то вона буде менша від величини, підрахованої за формулою (3.24).

Причиною цього є те, що будь-яка лінія працює в межах планового фонду часу не безперервно, а має в роботі простої, протягом яких готова продукція не видається. Причинами простою служать різні фактори як технічного, так і організаційного характеру, частина яких є регламентованими, решта – випадковими. Чим частіші й триваліші простої, тим нижча продуктивність АЛ.

Розглянемо деякий період, протягом якого лінія випускає  $z_\phi$  штук продукції. Тоді за загальним визначенням продуктивність лінії дорівнює кількості випущеної продукції, поділеній на цей інтервал часу, протягом якого вона випущена, тобто

$$Q = z_\phi / T \quad (3.25)$$

Загальний час складається з роботи і простою

$$T = \Theta_p + \sum \Theta_n$$

Кількість випущеної продукції пропорційна сумарному часу роботи –  $z_\phi = \Theta_p / T$

Підставляючи значення  $z_\phi$  у формулу (3.26), отримаємо

$$Q = \frac{1}{T} = \frac{\Theta_p}{\Theta_p + \sum \Theta_n} = \Theta_n \frac{\Theta_p}{\Theta_p + \sum \Theta_n} = \Theta_n \eta_b \quad (3.26)$$

Величину  $\eta_b$  – відношення часу безперервної роботи лінії за деякий період до сумарного часу роботи і простоїв за цей же період, називають коефіцієнтом використання (КВ). КВ характеризує якість роботи лінії, рівень експлуатації, надійність у роботі, ступінь навантаження і чисельно показує долю часу роботи лінії в загальному фонді часу. Чим більше простоює лінія з технічних та організаційних причин, тим нижчий коефіцієнт використання і фактична продуктивність.

Для того, щоб урахувати вплив позациклових простоїв на продуктивність машини, необхідно сумарну величину простоїв віднести до яких-небудь одиниць, що характеризують роботу машини: однієї обробленої деталі, одиниці часу безперебійної роботи і т. д. Розділивши згідно з формулою чисельник і

знаменник на  $\Sigma \Theta_n$ , отримаємо

$$\eta_b = \frac{1}{1 + \Sigma \Theta_n / \Theta_p} . \quad (3.27)$$

Так як час роботи лінії пропорційний кількості виготовлених деталей,

$$\Theta_p = zT \quad \text{то} \quad \Sigma \Theta_n / \Theta_p = \Sigma \Theta_n / zT = \Sigma t_n / T = \Sigma B , \quad (3.28)$$

де  $\Sigma t_n = \frac{\Sigma \Theta_n}{z}$  – позациклові втрати, тобто простой на одиницю продукції;

$\Sigma B$  – простой на одиницю часу безвідмовної роботи.

Якщо за робочий цикл  $T$  випускається більше, ніж одна деталь, то  $\Theta_p = (z/p)T$ , де  $z$  – число оброблених деталей за період;  $\Theta_p/p$  – число деталей, які видаються за один робочий цикл;  $z/p$  – число відпрацьованих робочих циклів за період  $\Theta_p$ .

Звідси

$$\Sigma \Theta_n / \Theta_p = p \Sigma \Theta_n / (zT) = p \Sigma t_n / T . \quad (3.29)$$

Підставляючи значення  $\Sigma t_n$  у формулу (3.27), отримаємо

$$\eta_b = \frac{1}{1 + \Sigma t_n / T} = \frac{1}{1 + \Sigma B} . \quad (3.30)$$

Звідси продуктивність лінії

$$Q_{\text{тв.б.}} = Q_{\eta} = \frac{1}{T} \frac{1}{1 + \Sigma t_n / T} = \frac{1}{T + \Sigma t_n} = \frac{1}{t_p + t_x + \Sigma t_n} . \quad (3.31)$$

Таким чином, для того, щоб врахувати вплив позациклових простоїв лінії на їхню продуктивність, потрібно розділити сумарний час простою за певний проміжок часу на кількість деталей, оброблених за цей же проміжок часу і отриману величину додати до фактичної тривалості робочого циклу.

Отже, позациклові втрати, подібно до холостих ходів, суттєво впливають на продуктивність, але природа їх виникнення інша – холості ходи строго регламентують та повторюють кожен цикл, а позациклові втрати є випадковими величинами.

### 3.7. Надійність автоматичних ліній

Надійність – властивість об'єктів виконувати задані функції, зберігати в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, що відповідають заданим режимам і умовам використання, технічного обслуговування ремонтів, зберігання і транспортування. Надійність визначається здатністю до безперервного випуску продукції у відповідності з виробничою програмою протягом усього терміну служби і АЛ може мати 2 стани:

- 1) працездатний, стан коли вона може виконувати задані функції – випускати придатну продукцію;
- 2) непрацездатний, коли вона через неполадки не може випускати придатну продукцію.

Порушення працездатності і перехід лінії із працездатного стану в непрацездатний, називають відмовою. Відмови бувають двох типів :

- 1) відмови елементів – коли не спрацює який-небудь конструктивний елемент, на виконується робочий цикл, продукція не видається;
- 2) відмови параметрів – коли формально всі механізми і пристрої спрацювають, але видана продукція виявляється бракованою.

Відмови елементів характеризують надійність функціонування (спрацювання), відмови параметрів – технологічну (параметричну) надійність, яка найперше залежить від стабільності ТП.

Надійність не можна характеризувати одним показником. Усі показники надійності розділяють на показники безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності й комплексні показники, які оцінюють сукупність властивостей.

Безвідмовність – властивість системи або елемента зберігати працездатність протягом деякого часу без вимушених перерв у роботі, тобто без відказів. Звідси важливим показником є ймовірність того, що система або елемент зберігає свою працездатність протягом регламентованого проміжку часу  $t$ . Ця ймовірність залежить від того, наскільки тривалий час  $t$ .

Функціональну залежність ймовірності безвідмовної роботи  $P$  від

тривалості часу  $t$  називають функцією надійності:

$$P(t) = e^{-\int_0^t w(t) dt} \quad (3.32)$$

де  $w(t)$  – параметр потоку відмов, являє собою ймовірність виникнення відмови в одиницю часу.

Величина, обернена до параметра потоку відмов, є середнім часом безвідмовної роботи

$$m_{cp} = 1/w(t). \quad (3.33)$$

Величини  $w(t)$  і  $m_{cp}$ , як і  $P(t)$ , є показниками безвідмовності й пов'язані між собою простими співвідношеннями (3.32) і (3.33).

Параметр часу  $t$  у формулах (3.32) і (3.33) є узагальненим, його можна виражати як в одиницях календарного часу (хвилинах, годинах), так і в кількості спрацювань (робочих циклів). В останньому випадку параметр потоку  $w_{\text{ц}}$  характеризує середню ймовірність відмови при кожному черговому спрацюванні, а середній час  $m_{\text{ф}}$  – середню кількість циклів між відмовами.

Ремонтоздатність – властивість систем і елементів, що виражається в їх пристосуванні до попередження, виявлення й усунення відказів шляхом технічного обслуговування й ремонтів. Так як АЛ можуть знаходитись у двох станах – експлуатації й планово-попереджувального ремонту, то їх ремонтпридатність оцінюють двома групами показників.

Ремонт ліній у процесі їх експлуатації оцінюють тривалістю одиничних простоїв для виявлення, усунення та попередження відказів.

Простої для виявлення й усунення відказів носять випадковий нерегламентований характер як за тривалістю, так і за часом виникнення. Їх можна оцінити середнім часом одиничного простою  $\theta_{\text{в}}$  для виявлення й усунення відмов. Для попередження відмов в АЛ широко використовують попереджувальне прогрівання і запускання на холстому ходу; профілактичні огляди механізмів та інструменту, їх підналагодження, планово-попереджувальну заміну інструменту і т. д. Ці простої регламентовані за

термінами, але є випадковими за тривалістю. В цьому випадку Рем можна визначити як середню тривалість підготовчо-заключного часу за робочу зміну.

В багатьох випадках ремонтоздатність ліній оцінюють у процесі їх експлуатації одним показником – середнім часом одиничного простою для попередження, виявлення й усунення відмов, підсумовуючи як випадкові простої, так і регламентовані. Під час планово-попереджувальних робіт її можна оцінити як середню тривалість з диференціацією за видами ремонту: поточний, середній, капітальний.

Довговічність – це властивість систем і елементів зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування й ремонту.

Граничний стан елементів визначається неможливістю подальшого їх використання з причини втрати технічних якостей.

Важливим критерієм оцінювання довговічності є величина  $R$  – техніча, яка дорівнює сумарному напрацюванню за весь термін служби. Ресурс може бути виражений як в чистому відпрацьованому часі, так і в сумарній кількості відпрацьованих робочих циклів.

Порівняння показників безвідмовності або тільки показників ремонтпридатності ще не дає права робити висновок, які із порівняльних механізмів або систем надійніші в роботі. Необхідні такі узагальнені показники надійності, які враховують усі фактори разом і мають однозначну відповідь.

Одним із важливих параметрів теорії продуктивності є власні позациклові втрати – власні простої, які доводяться на один оброблений виріб.

Якщо за деякий проміжок часу  $\tau$  сумарна тривалість простоїв для попередження, виявлення й усунення відмов складає  $\Sigma \Theta_b$ , а сумарний чистий час роботи  $\Theta_p$ , то власні втрати на одиницю продукції

$$\Sigma t_b = \frac{\Sigma \Theta_b}{\Theta_p} T, \quad (3.34)$$

де  $T$  – тривалість робочого циклу лінії, протягом якого видається виріб.

Допустимо, що за час  $\tau$  є  $S$  відмов, а, отже, і простоїв, і стільки ж

інтервалів безвідмовної роботи. Середня тривалість одиничного простою між двома відмовами  $\Theta_{cp}$ , середній час безвідмовної роботи  $m_{cp}$ .

Тоді

$$\sum \Theta_b = \Theta_{cp} \cdot \Theta_p = S m_{cp} \quad (3.35)$$

Таким чином, важливий параметр теорії продуктивності – власні позациклові втрати – це комплексний показник надійності, який характеризує безвідмов  $\Theta_{cp}$ , ремонтпридатність,  $m_{cp}$  й інтенсивність спрацювання  $T$ .

Визначимо через показники безвідмовності й ремонтпридатності другий параметр теорії продуктивності – коефіцієнт технічного використання:

$$\eta_{tex} = \frac{\Theta_p}{\Theta} = \frac{\Theta_p}{\Theta_p + \sum \Theta_b} = \frac{1}{1 + \sum \Theta_b / \Theta_p} \quad (3.37)$$

З урахуванням формули (3.35),

$$\eta_{tex} = \frac{1}{1 + \Theta_{cp} / m_{cp}} \quad (3.36)$$

Як і показники продуктивності, показники надійності АЛ залежно від поставленої задачі є трьох видів:

- 1) показники фактичної експлуатації надійності діючого обладнання;
- 2) показники очікуваної надійності обладнання, яке проектується;
- 3) показники потрібної надійності.

### 3.8. Роторні лінії та комплексно-автоматизовані виробництва

Система автоматичних роторних ліній (АРЛ) складається із кількох АРЛ, які розміщені в технологічній послідовності й пов'язані пристроями міжлінійного транспортування деталей.

АРЛ – це сукупність технологічних і транспортних роторів, які розміщені в технологічній послідовності на загальній основі і які мають синхронний привод, що здійснює їх обертання (транспортний рух).

Технологічний ротор складають інструментальний блок і допоміжні



пристрої, які здійснюють транспортний рух по замкненій траєкторії навколо осі ротора. В процесі цього руху здійснюється приймання і видавання заготовок, виконуються оброблюючі, контрольні й допоміжні операції. В кожному ТР концентрується від 4 до 120 інструментів, які послідовно вступають у роботу, а в середині лінії інструменти і деталі складають безперервний транспортно-технологічний потік.

Технологічні ротори класифікують:

- за призначенням (обробка тиском, різанням, термообробка, збирання, лудіння паяння та ін.);
- за способом впливу на потік деталей (інструментальна або апаратна обробка);
- за номенклатурою обробки (одно- або багатопредметна);
- за видом привода інструментів (механічний, гідравлічний, електромагнітний);
- за способом розміщення привода (з одно- і двостороннім приводом);
- за ярусністю (одно- і багатоярусні);
- за розміщенням осі ротора (з горизонтальною, вертикальною або похилою);
- за положенням інструментального блока (з паралельними або перехрещеними осями). Із механічним приводом інструмента ротор має робочий рух, пов'язаний з транспортним. Застосування: штампування, витягування, складання.

Транспортний ротор – це система захоплюючих органів і допоміжних пристроїв, які здійснюють транспортний рух по замкненій траєкторії навколо осі ротора і які забезпечують приймання, транспортування і видавання деталей.

Класифікують:

- за дією на потік (сталій або змінний крок потоку);
- за орієнтацією деталей (зміна просторової орієнтації);
- за висотою траєкторії потоку;
- за швидкістю потоку.

В конструкції АРЛ і АРКЛ застосовують:

- інструментальний блок, змінний елемент технологічного ротора;
- блок повзунів, спеціальний барабан і повзуни для передавання руху інструменту або захоплювачам;

- захоплювальний орган;
- завантажувальний ротор, який захоплює, орієнтує і видає дискретно (або порціями) деталі на обробку;
- позиція ротора – це місце розміщення інструментального блока;
- крок ротора – це віддаль між позиціями по траєкторії руху центра позицій;
- потік – це регламентована послідовність подавання.

В АРЛ швидкість транспортування деталей незалежна від технологічної швидкості. Технологічні й транспортні ротори обертаються синхронно й безперервно. Параметр транспортного руху (швидкості деталей) являється функцією заданої теоретичної продуктивності з урахуванням радіуса й числа позицій ротора.

Технологічна швидкість визначається залежно від характеру технологічної операції і виробничого закону руху приводного механізму. Технологічні й транспортні швидкості повинні знаходитися в строгій математичній залежності, яка визначає продуктивність. Зміна якоїсь із них пов'язана зі зміною конструкції. Найраціональніше застосовувати АРЛ при виготовленні дрібних штативних деталей із пластмас шляхом пресування й спікання, скла, гуми, мінералокераміки, складальних операціях, пакування, запресуванні, розфасовуванні сипучих матеріалів, виконанні термічних, хімічних та контрольних операцій.

З точки зору теорії автоматизації виробничих процесів окремі роторні машини еквівалентні системам з нерухомим розподільним валом і рухомим ротором зображені на рис 3.19.

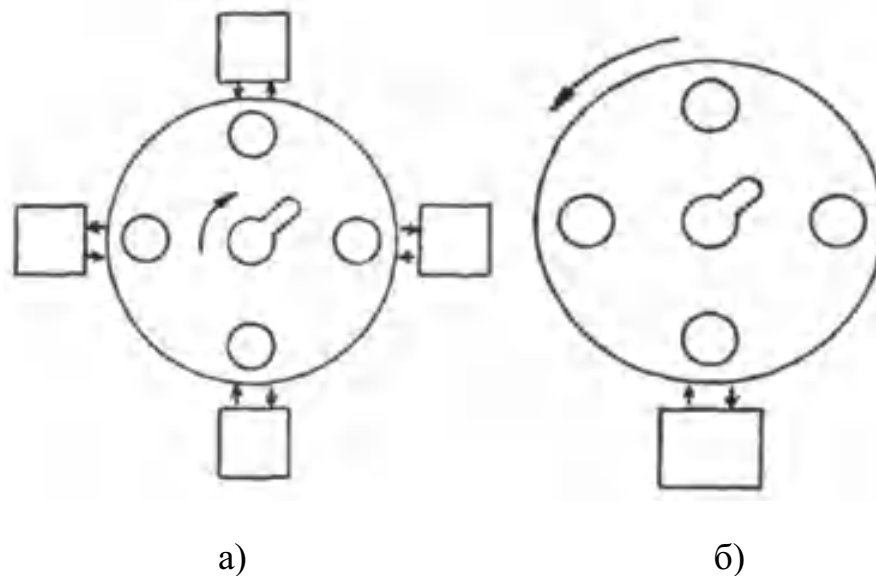


Рисунок 3.19. Схеми роторних машин:

а) з рухомим валом;

б) нерухомим валом

У першому випадку рух розподільного валу дозволяє змінювати закони руху деталей всередині ротора, скоротити число завантажувальних позицій. Тут транспортні рухи чергуються з робочими рухами. У другому – транспортування деталей суміщена з часом їх обробки, а завантаження і розвантаження позиції здійснюється на швидкостях, що дорівнюють лінійній швидкості інструментів.

За функціональним призначенням і використанням розрізняють три основні категорії механізмів РП і АРЛ:

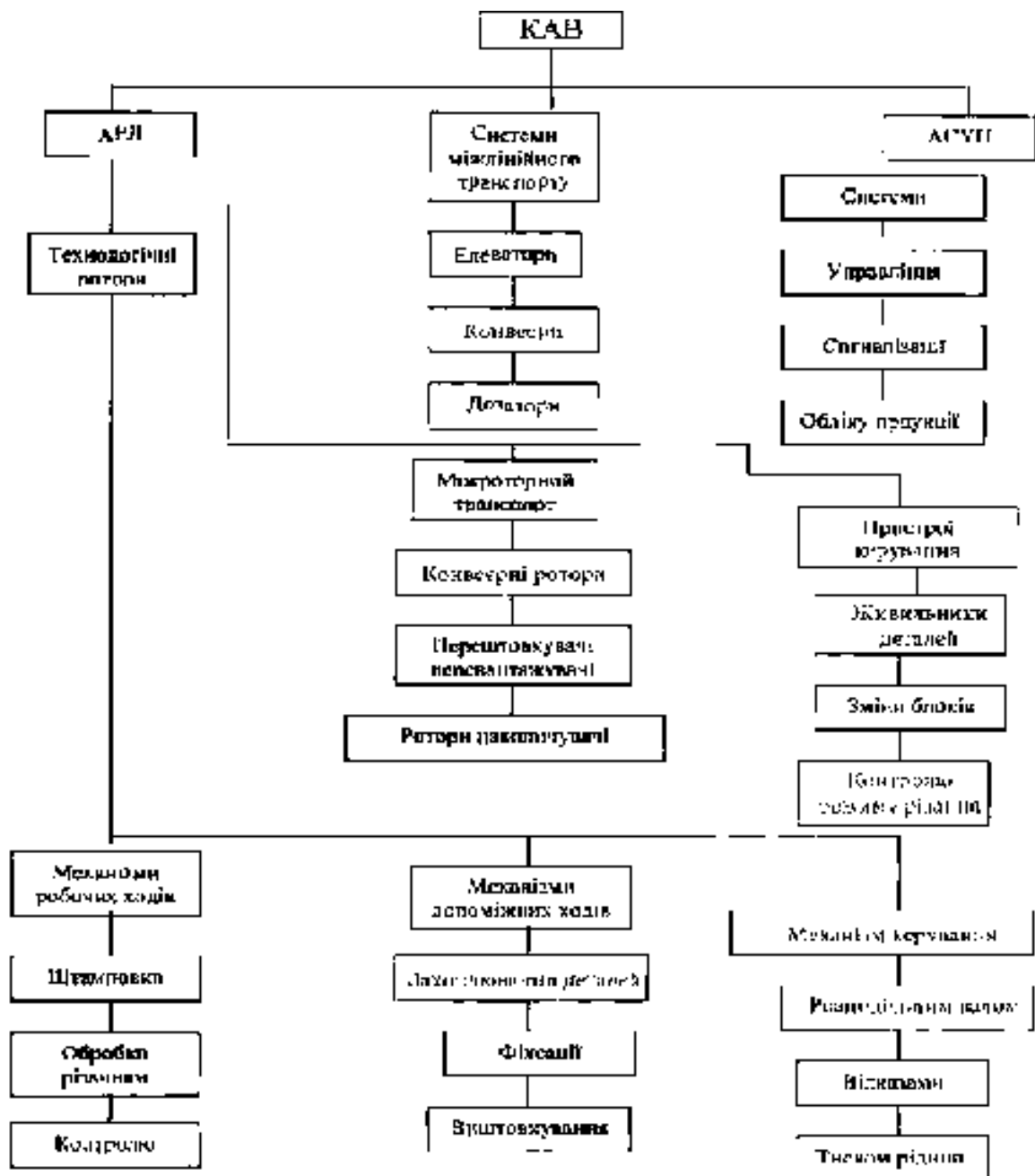
- механізми робочих ходів, виконавчі органи яких виконують операції обробки, контролю, складання. Механізми здійснюють функції обробки, тривалість їх визначається технологічною операцією і структурою приводних механізмів;

- механізми допоміжних ходів, призначені для орієнтування, подавання, затискування, міжлінійного транспортування, міжроторного переміщення та ін;

- механізми й системи керування, які включають системи переадресування потоків, автоматичного ввімкнення, реагування на відмови та ін. Схема функціонального призначення механізмів зображено на рис.3.20.

АРЛ є однією із вищих форм автоматизації ТП, тому що міжмашинне і внутрімашинне транспортування потоку оброблюваних деталей здійснюється безперервно з постійною швидкістю.

Рівні автоматизації відрізняються ступенем об'єднання основних і допоміжних операцій ТП і на першому рівні автоматизується одна технологічна операція, при цьому може бути створена роторна машина, в якій здійснюється спосіб паралельної концентрації однойменних елементів диференційованого ТП. Цей вид однороторних машин з безперервним обертанням основного вала і транспортуванням деталей відомий давно.



### Рисунок 3.20. Схема функціонального призначення механізмів

У РМ можна використовувати й принцип послідовної дії, коли різнойменні операції концентруються на роторі, а деталь передається з позиції на позицію. Можна використовувати й принцип мішаного агрегування. Всі способи дійсні тільки в масовому або крупносерійному виробництві.

Другий рівень автоматизації – це створення АРЛ, системи роторних автоматів, які розміщені в технологічній послідовності. Особливістю АРС є суміщення транспортних і технологічних функцій. Лінія може мати від 3 до 10 роторів з бункерами, накопичувачами. В лінії здійснюється жорсткий міжагрегатний зв'язок.

Третій рівень – це створення автоматизованих дільниць, цехів. Це – застосування АСУ, АСУ ТП.

Класифікація АРЛ:

- 1) за технології – з єдиною або подібними технологіями;
- 2) одно – або багатопотокові лінії;
- 3) з незалежними або залежними потоками;
- 4) з розгалуженими або нерозгалуженими потоками;
- 5) з синхронними або несинхронними потоками;
- 6) з постійною або змінною швидкостями;
- 7) роторні автомати або роторно-конвеєрні автомати;
- 8) з агрегованих, спеціалізованих або спеціальних автоматів;
- 9) одно- або багатопредметною обробкою;
- 10) переналагоджувальні або без переналагоджування;
- 11) з або без дільничого запасу деталей;
- 12) з П.Р. ,без них;
- 13) з програмним керуванням або без нього;
- 14) під'єднані до АСУ або не під'єднані.

У загальному випадку АРС призначена для виконання технологічних операцій ТП і складається із підсистем, які з'єднані бункерами міжлінійною запасу деталей.

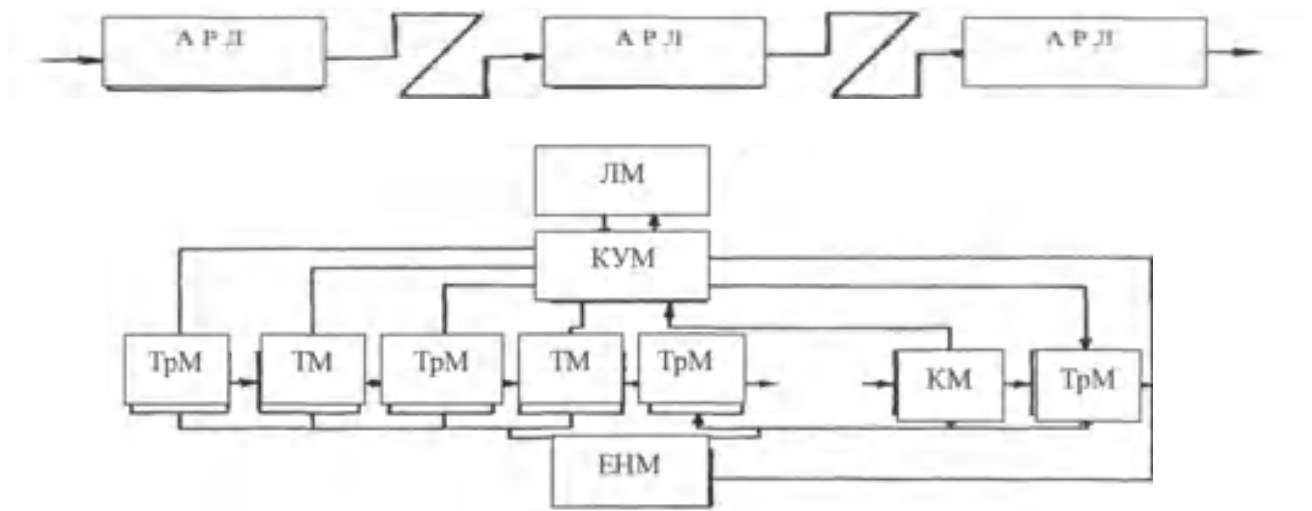


Рисунок 3.21 Система АРЛ

Технологічні ротори являють собою (рис.3.22) машини паралельної обробки.

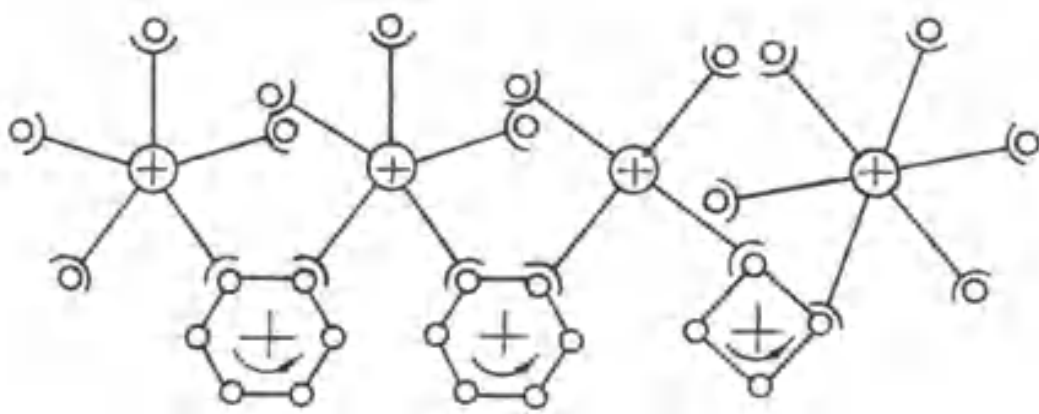


Рисунок 3.22. Технологічні ротори

У більшості випадків конструкцій технологічних роторів операції не суміщують (коефіцієнт суміщення  $\alpha = 1$ ), початок обробки кожного наступного ротора зміщено на 1 цикл. Якщо кількість гнізд у роторах неоднакова, то існують свої закономірності у виборі маршрутів деталей між гніздами сусідніх роторів.

Принципову різницю РМ від інших технологічних машин можна сформулювати так: суміщення в часі обробки деталей і їх транспортування разом з оброблювальним інструментом на основі розділення ПРР і ПТР. У

цьому разі можлива незалежна зміна в широкому діапазоні економічно необхідної швидкості транспортування потоку і технологічно допустимої швидкості обробки, що забезпечить досягнення високої (теоретично безмежної) продуктивності машини.

Гіпотетичну схему такої машини зображено на рис.3.23. Це нескінченна стрічка конвеєра, на якій розміщені виконавчі органи (ВО) з ПРР, яка переміщується з заданою швидкістю транспортування від ПТР.

Для забезпечення умов роботи потрібно, щоб ділянка  $L > L_{ps}$ , а час транспортування був більшим часу обробки,  $t_p > t_p$ .

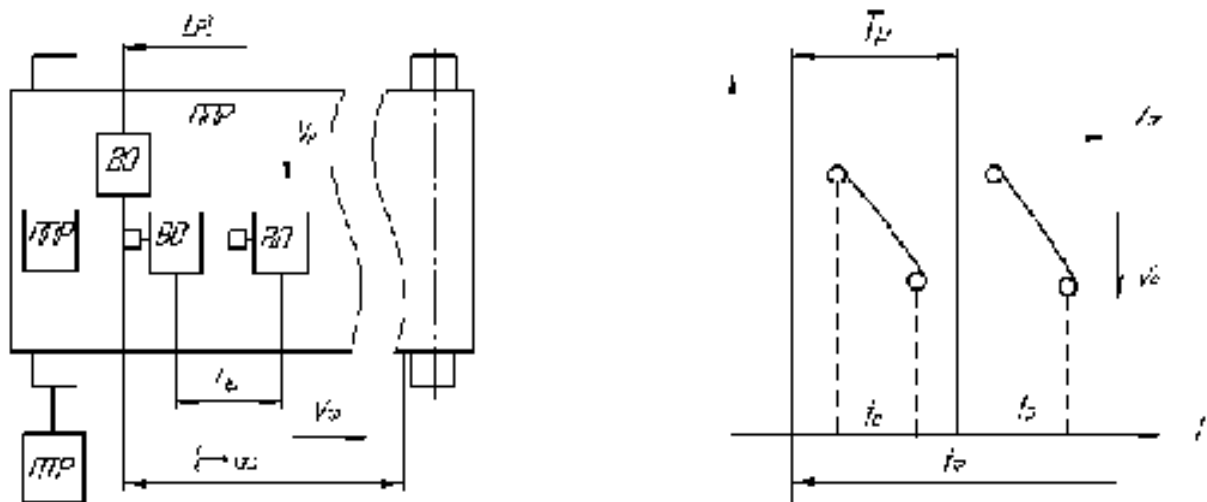


Рисунок 3.23. Гіпотетична схема роторної машини

Тоді теоретичну продуктивність  $\Pi_m$  визначає лише темп видаванням продукції  $T_p$ , тобто  $\Pi_m = T_p / n_p = T_p$ .

Але є негативні сторони:

- зростанням числа ПРР і низький коефіцієнт їх використання;
- зниження надійності системи;
- великі габарити та ін.

Реальні умови виробництва сприяли появі кількох конструкцій РМ, коли виконавчий орган відокремлений від ПРР. У цих умовах ПРР нерухомий і відносно нього з заданою швидкістю транспортування переміщуються ВО. При

цьому виникає умова обмеження  $V_{mp}$  механічного привода граничним кутом профілю (рис.3.24) кулачка  $V_p = V_{mp} = V_1$ , гідравлічного – граничною швидкістю потоку рідини, коли  $V_p = V_{p, \text{pid}}$ .

У цьому зв'язку виникає границя продуктивності

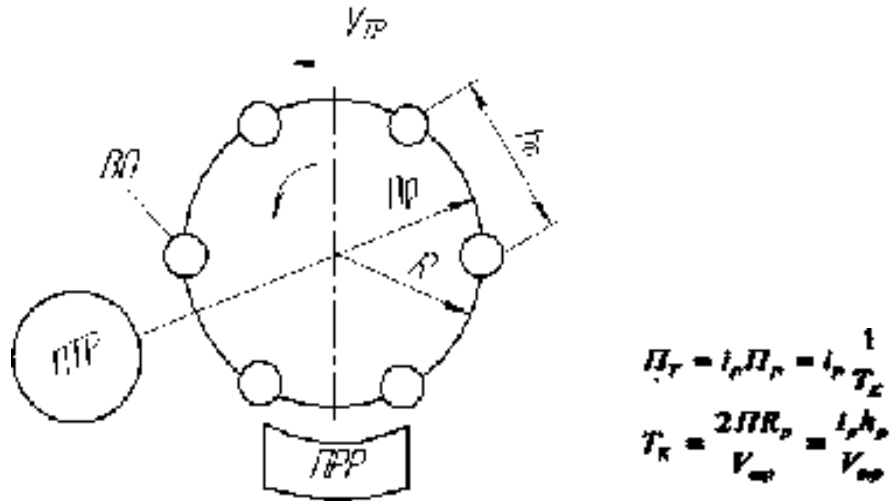


Рисунок 3.24. Схема механічного привода кулачок – граничний кут профілю:

$i_r$  – кількість інструментів;  $n_r$  – інструмент-блоків

Продуктивність РМ такої конструкції значно збільшується, відокремлення інструменту від ВО призводить до конструкції, в якій ВО розміщуються навколо ротора (рис.3.25), а інструмент встановлюється на конвейерному ланцюгу. Суміщаються вони тільки при виконанні технологічної операції. Кількість інструментів значно переважає кількість ВО.

В цьому випадку зростає коефіцієнт використання РМ  $\eta = \frac{P^3}{P_T \eta} P_g$

$\eta$  – коефіцієнт використання РНІ РКМ;

$n_r$  – продуктивність роторної і конвеєрної машин.



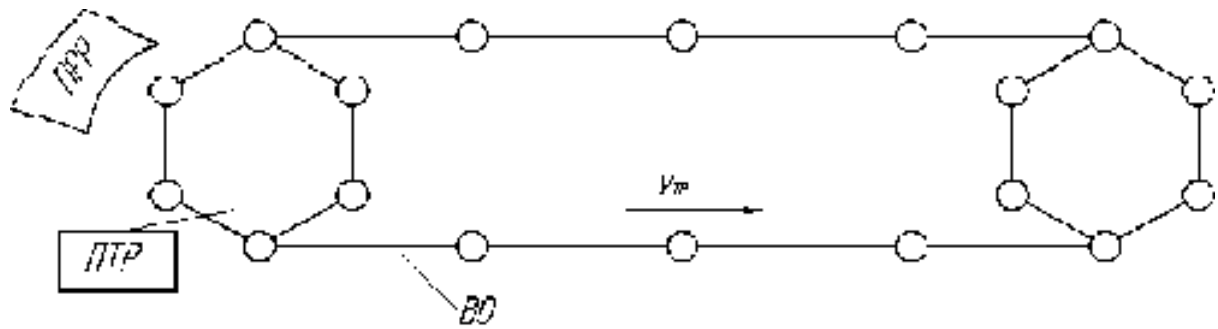


Рисунок 3.25. Роторна машина з розміщеними навколо ротора ВО

У цьому виконанні продуктивність ще збільшується, але досягається нерівномірність зношування інструменту в часі. На рис. 3.26 зображена роторна багатоконвеєрна лінія, в якій кожен інструмент розміщений на окремому лацюгу. В цьому випадку збільшується коефіцієнт використання РМ і продуктивність. Існує ряд інших схем, в яких час циклу ВО дорівнює довжині інтервалу окремого циклу.

$$T_{cy} = t_{nio} + t_{obr} + t_{nio} + t_{nio} \quad \Pi_T = \frac{J_p}{t_{obr}} \quad (3.37)$$

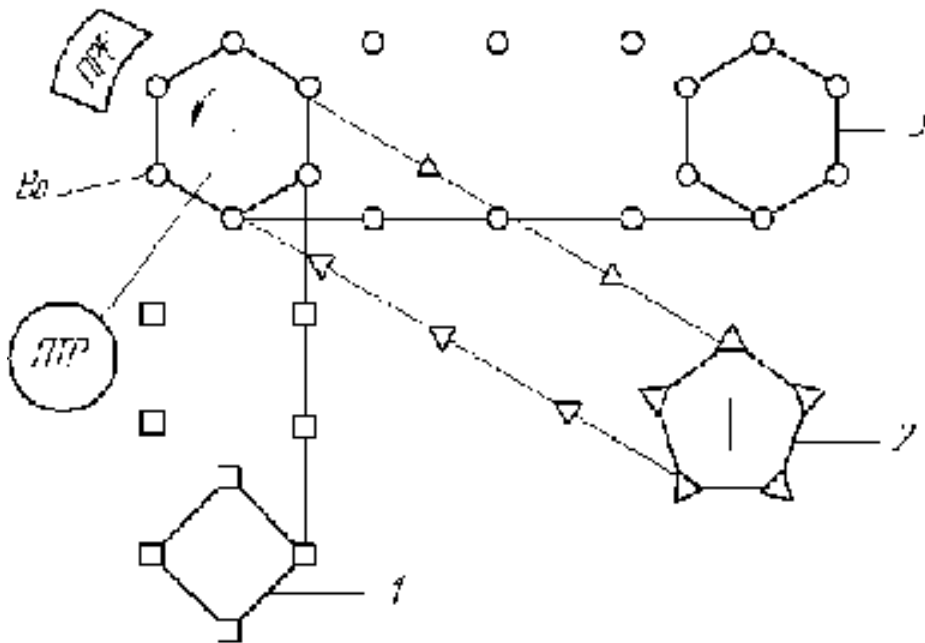


Рисунок 3.26. Роторна багатоконвеєрна лінія

У РМ деталі разом з інструментом рухаються навколо ротора. Інтервали технологічного циклу ВО характеризуються діями ВО з їх реалізації,

диференційовані за часом і в просторі. Кожному інтервалу відповідає своя зона ротора, тобто

$$T_r = t_{\text{пос}} - t_{\text{фріс}} = t_{\text{обр}} - t_{\text{розм}} - t_{\text{пос}} \quad (3.38)$$

Кожен ВО може виконувати свою роботу одночасно з іншим. Основний ВО після обробки повертається в своє основне положення і простоє при виконанні транспортних операцій. Цим РМ відрізняється від машини класичного стилю (штампа) (рис 3.27), де реалізація циклу проходить в одній зоні, всі цикли спрацьовують послідовно.

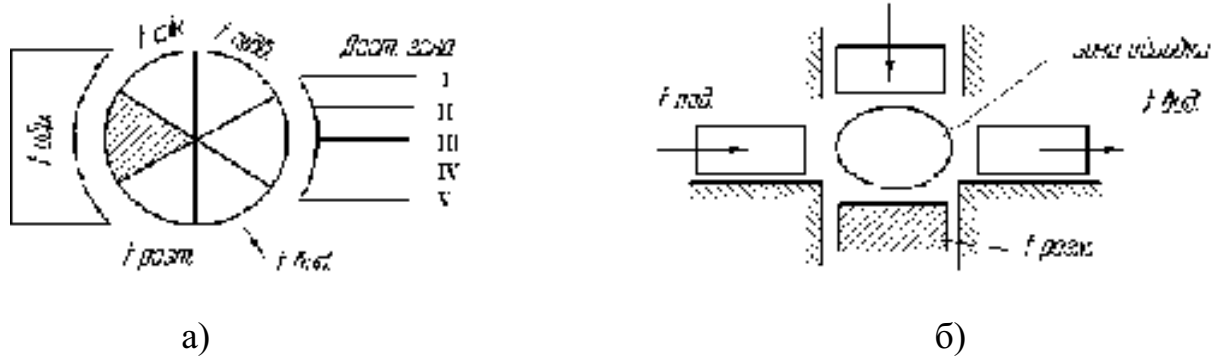


Рисунок 3.27. Схеми машин класичного стилю

Технологічна машина безперервної дії (МБД) характеризується постійним у часі завантаженням робочої зони корисною роботою, потоком енергії від привода до ВО та навантаженням привода машини. Розглянемо класи машин за характером транспортного руху в момент обробки (рис 3.28).

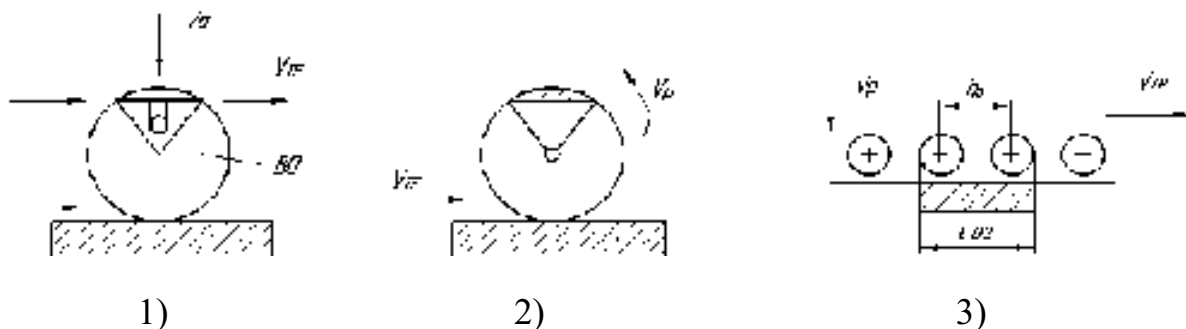


Рисунок 3.28. Схеми машин за характером транспортного руху в момент обробки

1. Транспортування деталей переривається процесом обробки, а в момент обробки транспортування – відсутнє. Цикл  $T_p = t_{\text{обп}} + t_{\text{мп}}$ . Продуктивність  $\Pi_T = 1/T_p$ . Довжина інтервалів визначається  $V_p$  і  $V_{\text{мп}}$ .

2. Транспортування деталей продовжується в процесі обробки зі швидкістю, яка не перевищує швидкості технологічного процесу. Основною технічною характеристикою є транспортний рух, а час циклу визначається інтервалом обробки  $T_p = t_{\text{обп}} + t_{\text{мп}}$ ; Продуктивність -  $\Pi_T = 1/T_p$ .

3. Транспортування деталі здійснюється разом з інструментом, тобто транспортний рух не залежить від швидкості обробки, а тривалість циклу не визначається інтервалом обробки  $T_T = 0$ . Продуктивність машини залежить від швидкості руху потоку і кроку розміщення ВО.

Продуктивність роторно-конвеєрних машин визначається не тривалістю циклу  $\Pi_T = 1/T_p$ , а швидкістю транспортування потоку і кроком розміщення ВО  $\Pi_T = V_{\text{мп}} / h_p$ .

Створення машин безперервної дії на основі різних класів ТП можна проводити за характером руху деталі, числом і послідовністю спрацювання ВО, але немає функціонального зв'язку ТП, рівня безперервності.

Структура технологічних РМ, які входять до складу АЛ, включає:

- систему ВО (виконавчих органів), які оснащені технологічними засобами, розміщеними на ділільному колі ротора (засоби переміщаються по колу);
- ротор, який має вал, магазин інструментальних блоків, систему повзунів, які є рухомими елементами ПРР виконавчих органів;
- нерухомі елементи повного або неповного привода;
- систему забезпечення транспортного руху (обертowego) ротора;
- систему керування рухами;
- систему контролю за роботою.

До складу лінії можуть входити роторні або роторно-конвеєрні автомати агрегатного або спеціального призначення для обробки однієї або групи деталей без переналагодження або з підналагодженням. Якщо ТП короткий (до

10 операцій), то лінія не розбивається на дільниці, якщо довгий (понад 10 операцій), то створюються міждільничі запаси. В лінії деталі можуть транспортуватися в супутниках або без них, завантажуватися з допомогою ПР. Управління роботою АРЛ і АРКЛ може здійснюватися за єдинією програмою або за кількома, коли задається кілька режимів обробки чи експлуатації.

Ротор з механічним приводом інструмента має робочий рух, пов'язаний з транспортним. Застосовується при штампуванні, витягуванні, збиранні. Недоліки – незадовільна жорсткість. Ротор із гідравлічним приводом – важкі холодно- і перештаповані операції. Ротори з гідромеханічним приводом, коли переміщення механічне, а зусилля створюється гідроприводом. Контрольно-керуючі РМ контролюють хід процесу, а контрольно-сортуючі ще й сортують за групами розмірів.

Міжроторні передавальні пристрої АРЛ служать для переміщення об'єктів і виконавчих органів.

Класифікація міжроторних передавальних пристроїв АРЛ представлена на рис. 3.30

Транспортні засоби АРЛ, які входять до комплексу АЛ, служать для переміщення деталей і виконавчих органів на визначеному циклі.

Кінематичний зв'язок роторів при міжопераційному передаванні деталей повинен забезпечити співпадання позицій одного ротора з позиціями другого в секторі приймання або передавання. При рівній продуктивності роторів у загальному випадку

$$\frac{U_{p1} n_1}{U_{TP} n_{TP}} = \frac{U_{p2} n_2}{U_{TP} n_{TP}} = 1, \text{ де} \quad (3.39)$$

$U_{p1}, U_{p2}$  – число позицій ТР;

$U_{TP}$  – число захоплювальних органів ТрР;

$n_1, n_2, n_{TP}$  – частота обертання.

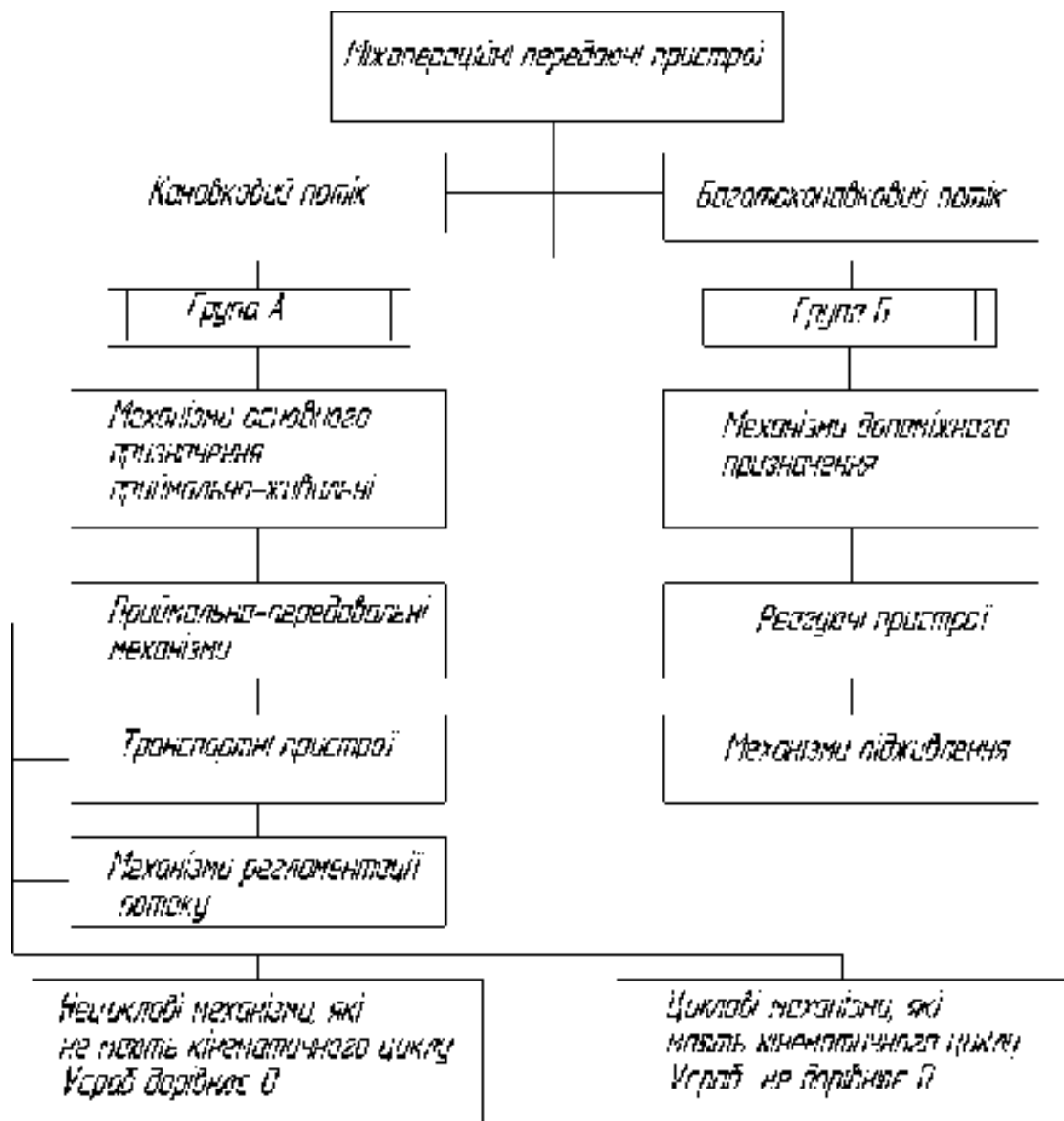


Рисунок 3.29. Класифікація міжроторних передаючих пристроїв АРЛ

Автоматичне завантаження АРЛ штучними заготовками здійснюється за допомогою стаціонарних або вмонтованих автоматичних бункерних захоплювальних орієнтувальних пристроїв, магазинів, механізмів поштучного видавання, живильників, переорієнтаторів, механізмів блокування. Здебільшого використовуються пристрої вібраційної дії.

Умови раціонального компоновання АРЛ вимагають вирішення комплексу питань, серед яких вибір оптимального числа ІБ у роторах і числа роторів у лінії, вибір способу передавання деталей між роторами і

конструкціями транспортних пристроїв, раціональне розміщення ТР і ТрР за умов обслуговування, технологічної сумісності, поділ ТП на ділянки, розміщення міжділяничних накопичувачів та ін.

При компонованні, ще на стадії проектування, оцінюють циклову і прогнозовану (очікувану) продуктивність. Категорії продуктивності, якщо взяти до уваги один інструмент, мають вигляд, що на рис.3.30.

Прогнозована або очікувана продуктивність, в якій потік перерваний і є допоміжним

$$\Pi_{II} = \Pi(t_p, t_x, t_n, U_p) = \frac{U_p}{(t_p + t_x + M(t_p))} \quad (3.41)$$

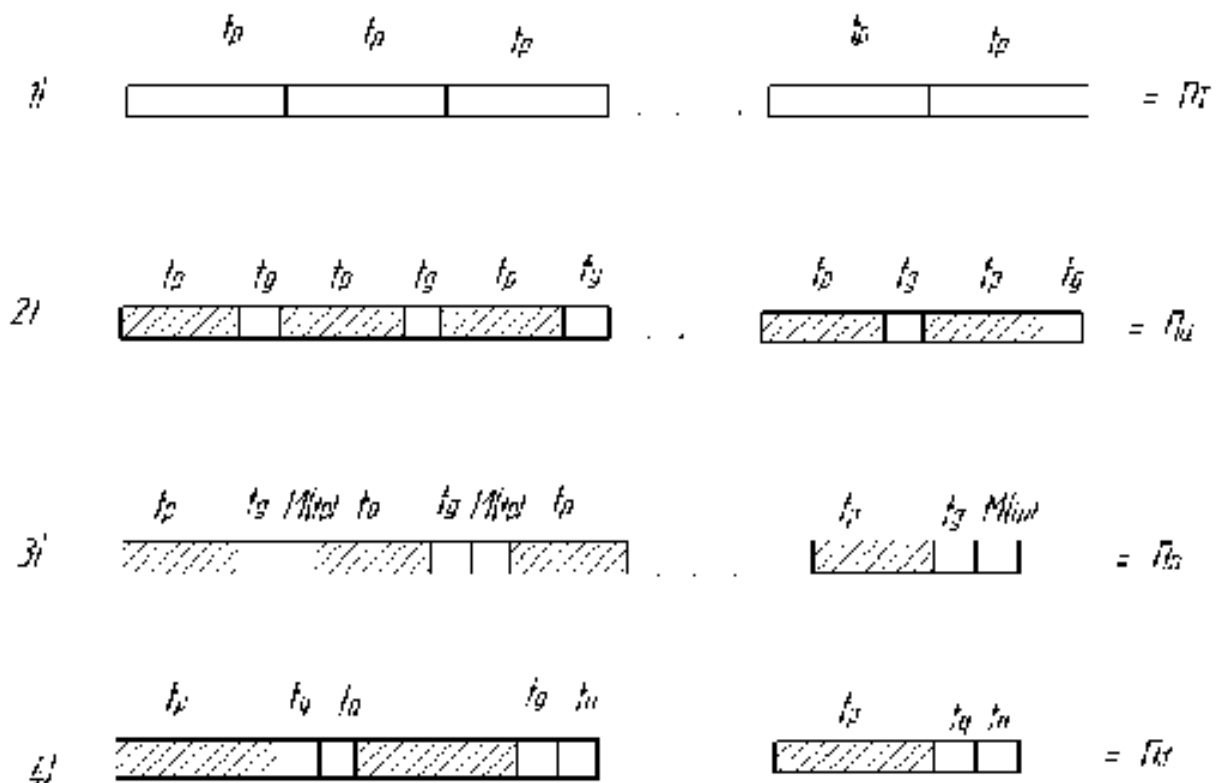


Рисунок 3.30. Категорії продуктивності

#### **4. ПРИЗНАЧЕННЯ І ВИДИ ТРАНСПОРТУЮЧИХ МЕХАНІЗМІВ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ**

Транспортуючі машини використовують переважно в кар'єрах та на виробничих підприємствах для переміщення сипучих та однорідних штучних вантажів безперервним потоком на порівняно невеликі відстані в межах однієї чи кількох зв'язаних між собою виробничих площадок.

За принципом дії транспортуючі машини класифікують на конвеєри (стрічкові, пластинчасті, ковшові, скребкові та ін.), в яких переміщуваному матеріалові рух надається механічним способом і пневмотранспортні установки, в яких переміщення матеріалу здійснюється в потокові рухомого повітря або з аерацією матеріалу повітрям.

Стрічкові конвеєри рис.4.1а призначені для транспортування сипучих, порошкових, а також однотипних штучних вантажів у горизонтальному й малонахиленому напрямку. Робочим органом, на якому розміщується матеріал, що транспортується, є гумотканинна стрічка, що складається з тканинних прокладок із гумовими прокладками, що їх зв'язують. Використовують також стрічки із завумоанізованими стальними канатами (тросами) малих діаметрів – так звані гумотросові стрічки.

Дуже рідко для транспортування гарячих матеріалів використовують стальні стрічки.

Пластинчасті конвеєри використовують для транспортування крупношматкових, абразивних та нагрітих матеріалів, а також великих штучних вантажів у горизонтальному чи ледь похилому напрямку.

Робочим органом є тяговий ланцюг із плоскими чи фасонними пластинами, на яких розміщується матеріал чи окремі штучні вантажі.

Для транспортування матеріалів у вертикальному та дуже похилому напрямку застосовують ковшові конвеєри – елеватори (рис.4.1г).

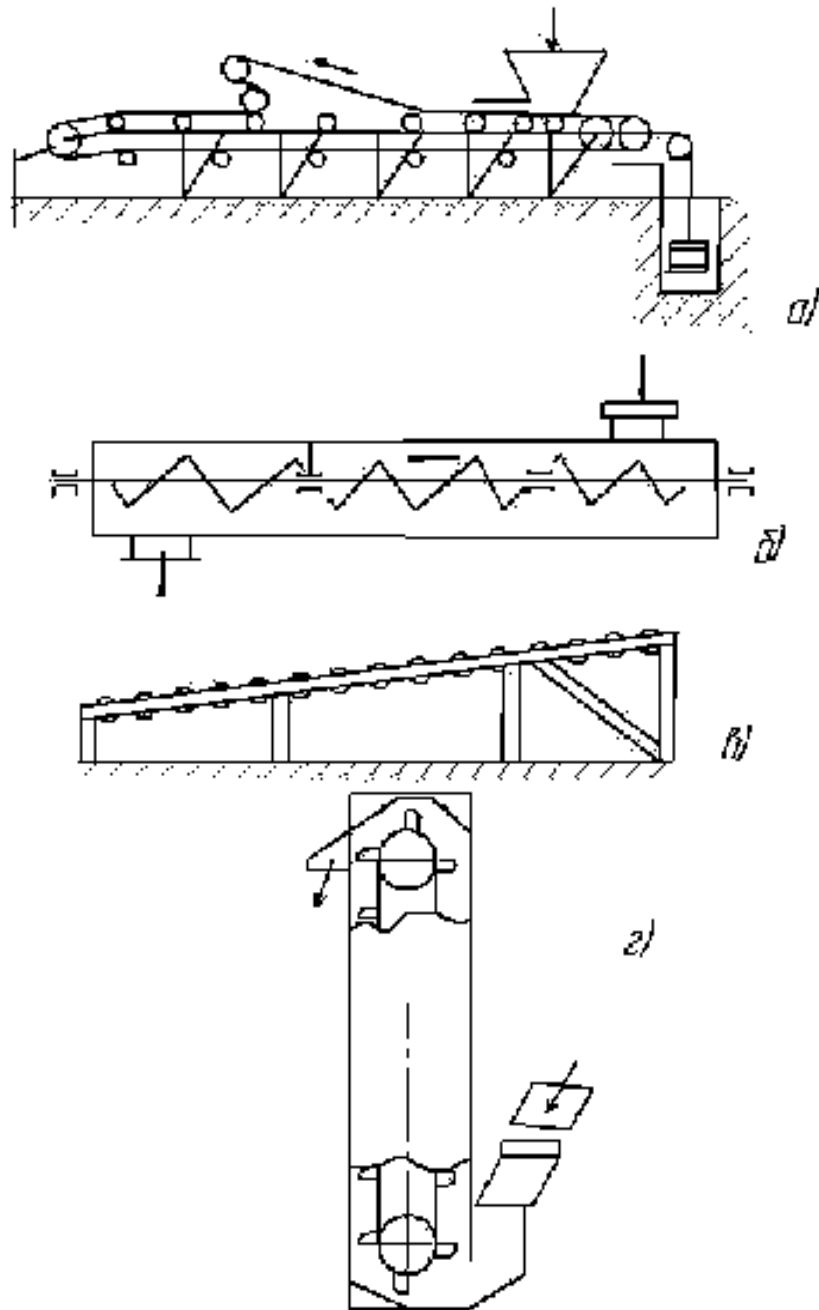


Рисунок 4.1. Схеми конвеєрів

а – стрічкові; б – гвинтові; в – роликові; г – елеватори

Скребкові конвеєри переміщують малоабразивний волосняний матеріал волокон по жолобу. Робочим органом їх є пластинчастий тяговий ланцюг і до його ланок прикріплюються скребки, між якими й розміщується матеріал.

Гвинтові конвеєри транспортують сипучі та в'язкі матеріали в горизонтальному та ледь похилому, а іноді й у вертикальному напрямках. Робочим органом є гвинт, що обертається в жолобі з напівкруглим днищем.



(рис.4.1б).

Роликові конвеєри використовують для переміщення однорідних, з розвиненою поверхнею, штучних вантажів. Робочим органом їх є непривідні чи привідні ролики, що обертаються, на яких розміщується транспортований вантаж. рис.4.1(в)

Тяговим-елементом стрічкових, пластинчатих і ковшових конвеєрів служить стрічка або ланцюг. На кінцях конвеєра вони мають привідні та натяжні барабани (при стрічках) чи зірочки (при ланцюгах), а на трасі спираються на ролики (при стрічках) чи колеса на направляючі (при ланцюгах). Опорою є несуча рама конвеєра.

Гвинтові чи роликові конвеєри не мають тягового елемента, матеріал переміщується робочим елементом машини.

Основними параметрами транспортуючих машин – конвеєрів є:

а) продуктивність  $Q$  (маса, вага чи об'єм транспортованого вантажу за одиницю часу);

б) параметри траси транспортування: довжина  $L$ ; довжина горизонтальної проекції  $L_z$ ; висота підйому вантажу  $H$ ; кут нахилу  $\alpha$ ;

в) маса машини.

$$K = \frac{Q_{\text{н}}}{Q_{\text{р}}} \quad (4.1)$$

Основними вихідними даними проектування конвеєрів є:

а) характеристика транспортованого вантажу; б) експлуатаційна продуктивність; в) режим і умови роботи; г) схема і параметри траси транспортування вантажів.

Розрахункова (конструктивна) часова продуктивність конвеєра

$$Q = \frac{Q_{\text{зм}} k}{T_{\text{зм}} k_{\text{rc}}} \quad (4.2)$$

де  $Q_{\text{зм}}$  – необхідна змінна продуктивність конвеєра;

$T_{\text{зм}}$  – тривалість зміни, год;

$k$  – коефіцієнт нерівномірності надходження вантажів на конвеєр  $k=1-1,5$ ;

$k_{\text{в}} -$  коефіцієнт використання конвеєра за часом  $k_{\text{в}} = 0,75 - 0,94$ .

Об'ємна продуктивність конвеєра

$$V = \frac{Q}{\gamma} \quad (4.3)$$

де  $\gamma$  – густина вантажу,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $Q$  – вагова продуктивність конвеєра,

$\frac{\text{кг}}{\text{год}}$ ;

де  $B$  – ширина настилу, для настилу з бортами – відстань між бортами.

Потужність двигуна транспортера використовується на подолання опору рухові елементів конвеєра і вантажу, що переміщується. Частина опору долається по всій довжині конвеєра і частина – в окремих його пунктах: на барабанах (зірочках), у місцях розміщення завантажувальних, розвантажувальних, очисних та інших пристроїв.

При розрахунках опорів користуються коефіцієнтом опору пересування вантажу, який показує долю спільного опору рухові, що припадає на одиницю маси вантажу. Коефіцієнт опору рухові вантажу (коефіцієнт опору)

$$w = W/G \quad (4.4)$$

де  $W$  – шкідливі опори при переміщенні вантажів;

$G$  – маса вантажу.

Опір на прямолінійній завантажувальній ділянці конвеєра

$$W_{bn} = (q + q_k)(wL_z + H), \quad (4.5)$$

де  $q$  – погонне вагове навантаження від рухомих частин конвеєра,  $(\text{н/м})$ ;

$q_k$  – погонне навантаження від криволінійності траси;

$w$  – коефіцієнт опору;

$L_z$  – довжина горизонтальної проекції ділянки  $L_z = L \cos \alpha$ ,

де  $L$  – довжина ділянки;  $\alpha$  – кут нахилу ділянки;  $H$  – висота підйому вантажу, м:

$H = L \sin \alpha$ , де Знак «+» приймається при рухові вантажу вверх, знак «-» – при рухові вантажу вниз.

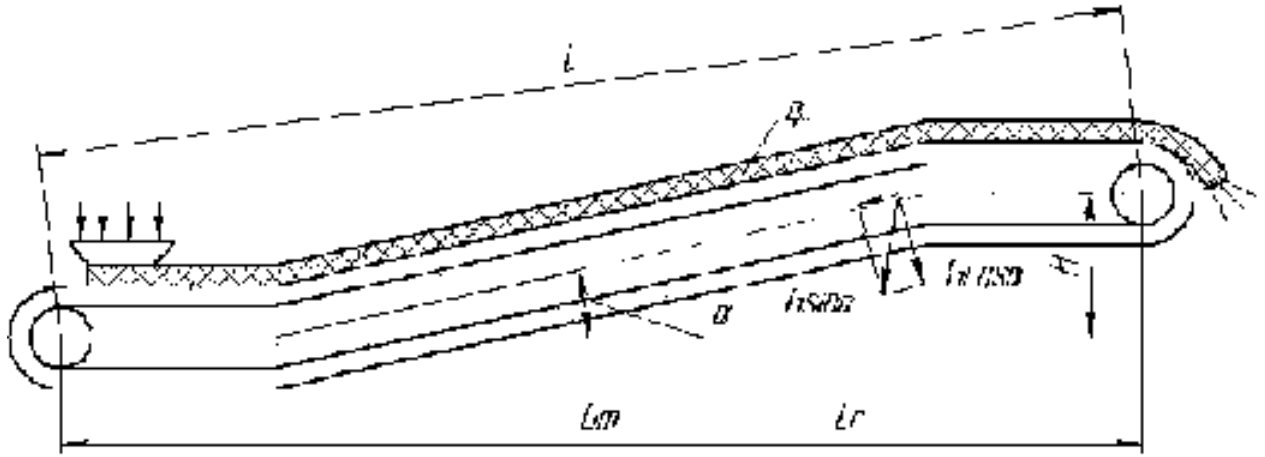


Рисунок 4.2. Схема для визначення потужності привода й тягового зусилля

Опір на прямолінійній порожній ділянці конвеєра

$$W_n = q_k L_c w. \quad (4.6)$$

Опір на криволінійній ділянці траси при огинанні стрічкою роlikоопор:

а) при випуклості стрічки

$$W_{kp} = S_{наб} (k-1), \quad (4.7)$$

де  $S_{наб}$  – натяг стрічки перед початком ділянки;

$k$  – коефіцієнт збільшення натягу стрічки від опору батареї роlikоопор:  $k = e^{\mu \alpha}$ ,

де  $w$  – коефіцієнт опору рухові стрічки по роlikових опорах;

$\alpha$  – центральний кут криволінійної ділянки в радіанах;

б) при увігнутості стрічки опір дорівнює нулю.

Необхідна потужність двигуна конвеєра

$$N_{дв} = \frac{W_o V}{102 \eta}, \quad (4.13)$$

де  $W_o$  – тягове зусилля, кгс (Н);

$V$  – швидкість тягового органа, м/с;

$\eta$  – ККД механізму привода тягового органа (включаючи втрати на приводному валу).

Гальмівний момент на приводному валу конвеєра

$$M_z = [qH - C_T(W_o - qH)] D_o / 2, \quad (4.14)$$

де  $C_T$  – ККД барабана (зірочки);

$q$  – погонне вагове навантаження від вантажу, (н/м);

$H$  – висота підйому вантажу;

$C_T$  – коефіцієнт можливого зменшення опору конвеєра;

$W_o$  – тягове зусилля конвеєра;

$D_o$  – діаметр приводного барабана (зірочки).

Проектний розрахунок конвеєрів виконують у такій послідовності:

1. Уточнюються основні вихідні дані для проектування (основні властивості транспортуючого матеріалу, експлуатаційна продуктивність конвеєра, довжина конвеєра, довжина проєкції траси на горизонтальну і вертикальну площини, довжини окремих ділянок конвеєра, що виміряні по точках перетину прямолінійних ділянок, спосіб розвантаження вантажу і т.п.).

2. Встановлюють нормативні величини (допустимий кут нахилу конвеєра, швидкість робочого органу, мінімальні розміри робочого органу, виходячи зі складу вантажу і т.п.).

3. Визначають необхідну розрахункову продуктивність конвеєра, виходячи із заданої експлуатаційної продуктивності.

4. Визначають попередні основні конструктивні параметри робочого органу.

5. Вибирають основні конструктивні елементи конвеєра (барабани, зірочки, роликоопори, натяжні та розвантажувальні пристрої, ін.).

6. Визначають наближено тягове зусилля і потужність двигуна привода конвеєра.

7. Вибирають двигун.

8. Уточнюють тяговий розрахунок.

9. Проводять розрахунок тягового органу на міцність і уточнюють його основні розміри.

10. Проводять кінематичний розрахунок і вибирають елементи передач.

11. Проводять розрахунок гальмівного моменту і вибирають гальмо чи зупинювальний пристрій.

#### **4.1. Пластинчасті конвеєри**

Пластинчаті конвеєри (рис. 4.3) використовують для транспортування в горизонтальному і похилому напрямках, різноманітних насипних та штучних вантажів у машинобудуванні, гірничій промисловості і т.д. Такими конвеєрами переміщують абразивні, порошкові матеріали, а також важкі штучні заготовки. Одночасно з транспортуванням, вантажі можуть проходити різноманітну обробку – гартування, відпускання, охолодження, фарбування, сушіння, контроль і т.д.

До переваг пластинчатих транспортерів слід віднести:

- використання металічного настилу необхідної міцності, що допускає транспортування важких, крупношматкових матеріалів, відливок, поковок, відходів штампувального виробництва та інших подібних вантажів;
- застосування високоміцних тягових ланцюгів дозволяє виконувати конвеєри із значними тяговими зусиллями, необхідними при великій довжині і висоті підйому;
- транспортування вантажів по різноманітних трасах з нахилом до горизонту до  $70^\circ$ , малим радіусом переходів;
- забезпечення безпосереднього завантаження лотків настилу з бункерів без застосування живильників.

Пластинчасті конвеєри класифікують за конструкцією настилу, конфігурацією траси, призначенням.

Пластинчасті конвеєри зазвичай розраховують у два етапи: перший – попередній (орієнтовний), другий – точний, детальний розрахунок.

Вихідними даними для розрахунку є:

- задана продуктивність конвеєра;
- схема траси;
- фізико-механічні властивості транспортованого вантажу;
- швидкість руху полотна конвеєра;
- режим роботи пластинчастого конвеєра.

У конвеєрах загального призначення у якості тягових елементів

застосовують переважно пластинчаті ланцюги за ГОСТом 588-81 – втулкові, втулково-роликові, втулково-коткові.

За заданою продуктивністю конвеєра визначають попередню ширину настилу. Для насипних вантажів ширину настилу обчислюють за формулою.

При настилі без бортів:

$$B = \sqrt{\frac{Q}{648V_p k_{\beta q} (0.4\varphi)}} \quad , \quad (4.15)$$

при настилі з бортами

$$B = \sqrt{\frac{Q}{900V_p k_{\beta q} (0.4\varphi)} + \left(\frac{2h_{\varepsilon}\psi}{k_{\beta q} (0.4\varphi)}\right)^2 - \frac{2h_{\varepsilon}\psi}{k_{\beta q} (0.4\varphi)}} \quad , \quad (4.16)$$

де  $Q$  – продуктивність конвеєра,  $T/год$ ;

$V$  – швидкість полотна,  $м/с$ ;

$\varphi$  – кут природного відходу вантажу в спокої;

$k_p$  – коефіцієнт кута нахилу конвеєра;

$h$  – висота борту;

Максимальний натяг ланцюгів визначають за наближеною формулою

$$S_{max} = 1.1 \{ S_o + w[(q_z - q_o) L_B + q_o L_H] + (q_z + q_o) H \}, \quad (4.17)$$

де  $S_o$  – початковий натяг ланцюгів,  $S_o = (100 \div 200) H$ ;

$L_B$  – горизонтальна проекція повної довжини звуженої вітки конвеєра,  $м$ ;

$L_H$  – теж для ненавантаженої вітки,  $м$ ;

$q_o$  – лінійне завантаження від ходової частини конвеєра,  $н/м$ ;

$q_z$  – лінійне завантаження від насипного вантажу,  $н/м$ ;

$w$  – коефіцієнт опору рухові ходової частини на прямолінійних ділянках.

Відстань між сусідніми вантажами  $a = l_z + (100 \div 150)$

де  $l_z$  – довжина опорної поверхні вантажу, розміщеного на настилі.

При вдалій продуктивності і швидкості  $a = 3.6mV/Q$ .

Опір на прямолінійних горизонтальних ділянках:

- для завантаженої вітки  $W_{z6} = (q_z + q_o) L_B w$ ;
- для ненавантаженої вітки;  $W_{zH} = q_o L_H w$ .

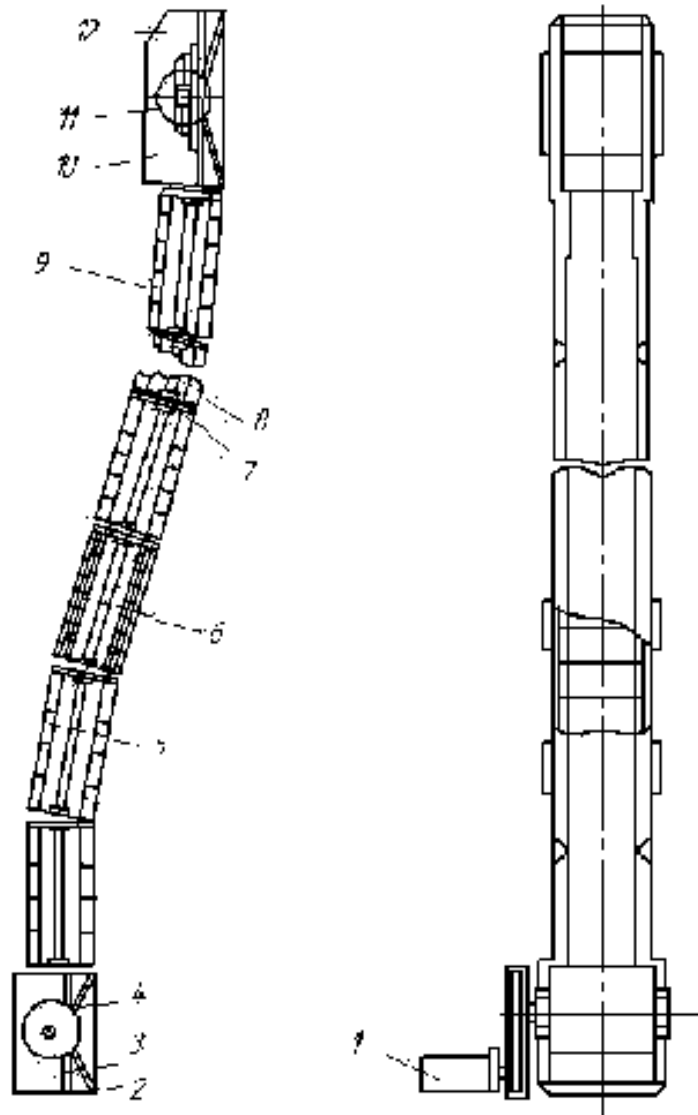


Рисунок 4.3. Загальний вигляд пластинчастого конвейєра

1 – електродвигун; 2 – рама приводу; 3 – розвантажувальна лійка; 4 – приводна зубчатка 5 – верхній загороджувальний борт; 6 – вантажонесуче полотно; 7 – рама конвеєра; 8 – нижній загороджувальний борт; 9 – перехідна секція; 10 – загородження натяжного пристрою; 11 – пристрій натягу; 12 – загорожа

Опір на прямолінійних нахилених ділянках:

- для завантаженої вітки  $W_{нв} = (q_z + q_o)(L_w + H)$ ;
- для незавантаженої вітки  $W_{нн} = q_o(L_n w + H)$ .

Опір рухові на криволінійних ділянках:

- для завантаженої вітки  $W_{кв} = S_{n-1} (-1) + (q_z + q_o)(w L_s' + H')$ ;

- для ненавантаженої вітки  $W_{кн} = S'_{n-1} (\dots -1) + q_o(w L_n' \dots H')$ ,

де  $\dots$  – коефіцієнт опору при описуванні тяговим ланцюгом криволінійної направляючої шини (рейки).

$S_{n-1}, S'_{n-1}$  – натяг у точці набігання ланцюга на зубчасте колесо відповідно на завантажених і не завантажених вітках,  $H$ ;

$L_e', L_n'$  – довжина горизонтальних проекцій криволінійної ділянки відповідно на завантажених і не завантажених вітках,  $m$ ;

$H'$  – довжина вертикальної проекції криволінійної ділянки.

Опір на зубчастих колесах визначають за формулою:

$$W_{зв} = S_{зв} (\dots -1), \quad (4.18)$$

де  $S_{зв}$  – натяг у точці набігання ланцюга на колесо,  $H$ ;

$\dots$  – коефіцієнт опору на зубчатих колесах.

У пластинчатих конвеєрах з нерухомим бортом, ще має місце опір від тертя вантажу до нерухомих бортів

$$W = 1000 p h^2 L f' g, \quad (4.19)$$

де  $h$  – висота нерухомих бортів,  $m$ ;

$L$  – довжина бортів,  $m$ ;

$f'$  – коефіцієнт тертя вантажу до борту.

Після розрахунку всіх перелічених вище опорів, при послідовному сумуванні отримують величину тягового зусилля

$$P_{зт} \dots W = W_{зв} + W_{зп} + W_{нп} + W_{нв} + W_{кв} + W_{кн} + W_{зв} + W \dots. \quad (4.20)$$

Значення найбільшого статичного натягу тягових ланцюгів  $S_{ст} = (S_o + \sum \dots) 1,05$ .

У тягових ланцюгах конвеєрів, які приводяться в рух від зубчастих коліс, унаслідок нерівномірного руху ланцюгів виникають динамічні навантаження, які наближено можна визначити за формулою:  $S_{дин} = 3j_{max}(q_e + q_o k_n) l / g$ , де  $j_{max}$  – максимальне прискорення рухомих ходової частини і вантажу, що виникають внаслідок нерівномірності руху вантажу,  $m/c$ .

Максимальний натяг тягових ланцюгів  $S_{max} = S_{ст} + S_{дин}$ .

Розрахункове зусилля одного ланцюга  $S_{розр1} = S_{max}$ .



Розрахункове зусилля двох ланцюгів  $S_{розр2} = 1.5 S_{max} / 2$ .

За величиною  $S_{max}$  перевіряють прийняті ланцюги за умовою  $S_{руйн} \geq S_{розр} k$ , де  $S_{руйн}$  – руйнівна сила (навантаження) одного ланцюга;  $k$  – коефіцієнт запасу міцності ланцюга.

Колове зусилля на зубчастому колесі  $P = \sum V = S_m - S_o$ , де  $S_o$  – натяг ланцюга в точці збігання з ведучим зубчастим колесом.

За обчисленою потужністю вибирають електродвигун, за каталогом визначають передаточне число і передаточний механізм і за каталогом вибирають редуктор.

Визначають фактичну швидкість руху ходової частини конвеєра

$$V_{cp} = z t_u n_{дв} / 60 i, \quad (4.21)$$

де  $z$  – число зубів зубчастого колеса,  $t_u$  – відстань між ними.

Фактичне передаточне число передаточного механізму:  $i = n_{дв} / n_{пз}$ , де  $n_{пз}$  – частота обертання валу шестерні.

За фактичною швидкістю руху уточнюють продуктивність конвеєра за формулами

для насипних вантажів  $Q_{шф_n} = 3600 B h \sqrt{V_{ф}}$ ;

для штучних вантажів  $Q_{шф_{шт}} = 3,6 t V_{ф} \sqrt{a}$ , де

$\sqrt{a}$  – коефіцієнт захоплення для насипних вантажів;

$\sqrt{a}$  – коефіцієнт захоплення для штучних вантажів.

Для похилих конвеєрів визначають статичний гальмівний момент при самовільному зворотному ході ходової частини при вимкненні електро-двигуна:

$$M_{me} = [q_z H C_m (P - q_z h)] \frac{D_{зв}}{2} \eta, \quad (4.22)$$

де  $P$  – колове зусилля, Н;  $H$  – висота накиненої ділянки, м;  $D_{зв}$  – діаметр початкової колової зубчатки, м;  $C_m$  – коефіцієнт можливого зменшення опору рухові;  $\eta$  – ККД привода.

Розрахунковий гальмівний момент  $M_{тр} = \kappa_m M_{мс}$ ,

де  $\kappa_m$  – коефіцієнт запасу гальмування.

## 4.2. Скребкові конвеєри

Скребкові конвеєри складають значну групу машин безперервного транспортування, що базуються на принципі волочіння транспортованого вантажу по жолобу, плоскому настилу за допомогою скребків, прикріплених до тягового органу (рис. 4.4 ).

Скребкові конвеєри класифікують як стаціонарні, пересувні, колісні, переносні, розбірні підвісні, поворотні, вмонтовані в машини. В якості гнучких тягових органів у них в основному використовують ланцюги (рідше канати і стрічки).

За напрямом переміщення вантажу скребкові конвеєри поділяють на горизонтальні, похилені, вертикальні, комбіновані, їх виконують з однією і двома (верхньою і нижньою) робочими вітками, односторонньої дії, і реверсивні.

За числом ланцюгів в тяговому органі скребкові конвеєри бувають одно-, дво- і триланцюгові.

За універсальністю застосування скребкові конвеєри займають перше місце серед машин неперервного транспортування. Скребкові конвеєри використовують для транспортування найрізноманітніших вантажів як легкосипучих, так і в'язких.

Широке застосування мають конвеєри суцільного волочіння з низькими скребками. Вони використовуються в харчовій промисловості, хімічній, целюлозно-паперовій, деревообробній, металургійній та ін.

Ще ширше застосовуються конвеєри з широкими скребками і відкритими жолобами. В гірничій промисловості їх застосовують для транспортування руди в лавах.

У сільському господарстві широко застосовують пересувні колісні скребкові конвеєри для завантаження овочів. Рідко застосовують скребкові конвеєри для відведення стружки в машинобудуванні.

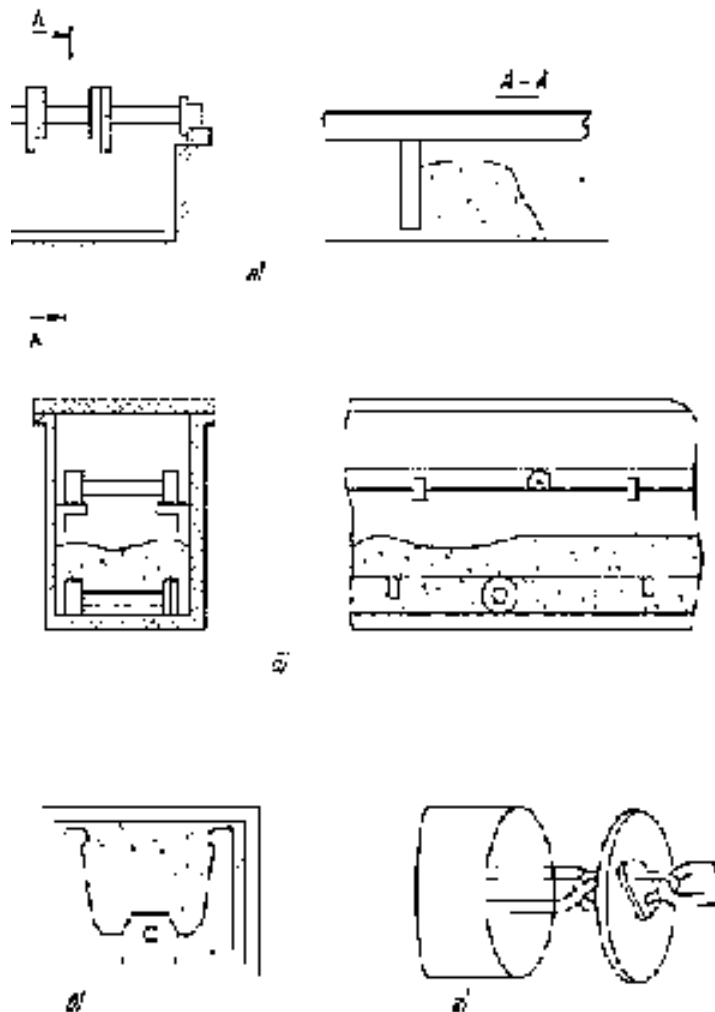


Рисунок 4.4. Схеми скребкових конвеєрів:

- а – з високим суцільним скрепком; б – зі скребком з боковими стінками;  
в – з контурними скребками; г – ланцюг зі скребком

Перевагами скребкових конвеєрів є простота конструкції, універсальність застосування, можливість транспортування різних вантажів по складних трасах без перевантажень, герметичність, відсутність пилу пожежо- і вибухобезпечність, відсутність втрат і забруднення вантажу, простота завантаження і розвантаження в багатьох точках траси.

До недоліків можна віднести подрібнення вантажу, значна витрата енергії, швидке спрацювання рухомих частин і жолобів, кут, що створюються тертям вантажу й елементів конвеєра до жолоба і направляючих. Вони не придатні для транспортування крихких, вологих, липких вантажів.

Скребкові конвеєри мають різні конструктивні типи залежно від форми і

висоти скребка – з високими і низькими суцільними; з контурними фігурними і з круглими суцільними скребками.

Продуктивність скребкових конвеєрів досягає  $5000 \text{ кг/год}$ , а конвеєрів з високими скребками – до  $7000 \text{ кг/год}$ , швидкість ходової частини –  $0,16 \div 0,4 \text{ м/сек}$ , вугільних конвеєрів –  $0,5 \div 1,0 \text{ м/с}$ .

Основною характеристикою скребкового конвеєра є схема його траси із позначенням розмірів довжини і висоти по ділянках, продуктивності, ширини скребка.

Скребкові конвеєри з високими суцільними скребками зазвичай конструюють вертикально-замкненими з переміщенням вантажу по горизонталі, під кутом  $0,525 \div 0,7 \text{ рад}$ . до горизонту, у похило-горизонтальному і горизонтально-похилому напрямках. У двох останніх схемах слід передбачити два або один тяговий ланцюг, які мають опорні котли для напрямлення ходової частини на зворотних ділянках траси.

При транспортуванні великокускових, штучних вантажів віддають перевагу ящиковим скребкам, бо в цьому випадку немає тертя між вантажем і стінками нерухомого жолоба й заклинювання частин вантажу між ними і скребками. Це зменшує опір переміщенню ходової частини. Швидкості можна брати  $V = 0,1 \div 1,0 \text{ м/сек}$  при ширині скребків  $B = 200 \div 320 \text{ мм}$ ;  $V = 0,5 \div 0,63 \text{ м/сек}$  при  $B = 400 \div 1200 \text{ мм}$ .

Тяговим елементом є ланцюг пластинчастий втулково-котковий за ГОСТом 588-64 при ширині скребків  $B = 300 \div 400 \text{ мм}$  або два ланцюги -при  $B > 300 \div 400 \text{ мм}$ . У дволанцюгових конвеєрах ланцюги слід розміщувати на боках скребків, ланцюги своїми котками повинні спиратися на бічні напрямні. В одноланцюговому конвеєрі ланцюг розміщують посередині ширини скребка, над ним, або під ним.

Форма скребків може бути трапецевидальною, півкруглою чи прямокутною. Виготовляти скребки потрібно зі сталених листів завтовшки  $3 \div 8 \text{ мм}$  і, в разі потреби встановлювати ребра жорсткості. Жолоб конвеєра звичайно

зварний, з листової сталі  $4 \div 6$  мм, з формою поперечного перерізу, яка відповідає формі скребків. Застосовують штамповані і дерев'яні жолоби при малоабразивних вантажах. Жолоб повинен складатися з секцій завдовжки  $3 \div 6$  м і між скребками і стінками жолобу передбачається зазор  $5 \div 15$  мм в кожний бік.

Привід – редукторний і його встановлюють біля кінцевої зірочки. В передавальних механізмах середнього і важкого типів доцільно встановлювати запобіжну муфту граничного моменту чи зрізний штифт.

Натяжний пристрій – гвинтовий чи пружинно-гвинтовий; хід натяжки – не менше 1,6 кроку ланцюга.

### 4.3 Вагонеткові конвеєри

Вагонетковими називають вантажунесучі конвеєри, що переміщують вантажі на вагонетках, які рухаються по замкнутих направляючих (рис.4.5).

У горизонтальних замкнених конвеєрах вантаж може знаходитись на вагонетці при її русі по всій трасі конвеєра.

Вертикально-замкнених конвеєри, в яких одна вітка розміщена під другою, компактніші.

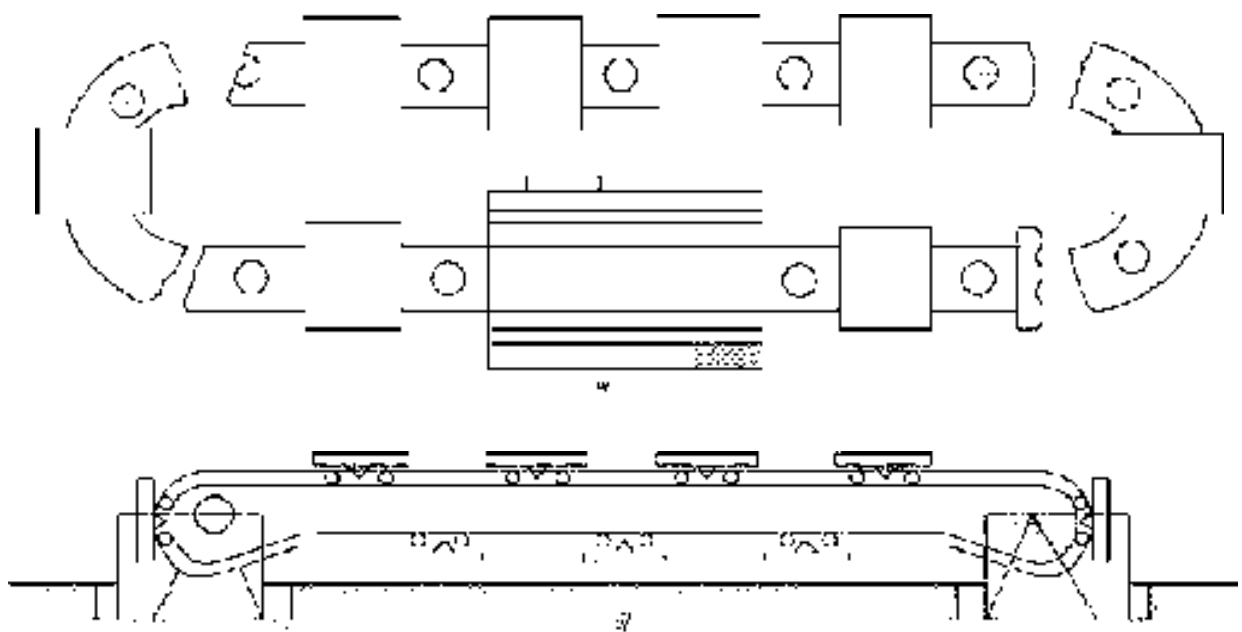


Рисунок 4.5. Вагонеткові конвеєри:

а) – горизонтально замкнені; б) – вертикально замкнені

Вагонеткові конвеєри застосовують переважно для міжопераційного транспортування штучних вантажів у поточному виробництві; горизонтально-замкнені важкого типу – для переміщення ливарних форм у процесі складання, заливання, охолодження, вибивання й повернення порожніх очок; вертикально-замкнені з вагонетками, що перекидаються – для перенесення виробів у процесі складання; з перекидними вагонетками – в ливарному виробництві.

Переваги: можливість транспортування різноманітних штучних вантажів, включаючи гарячі, важкі і крупногабаритні; суміщення процесу переміщення з технологічними операціями (нагрівання, охолодження, сушіння, складання і т.п.).

Недоліки: складність конструкції, значна вартість виготовлення, монтажу і експлуатації в порівнянні з пластинчастими і підвісними вантажонесучими конвеєрами. Значною мірою це зумовлено тим, що вагонеткові конвеєри максимально індивідуального призначення, їх виготовляють малими партіями.

Розрахунок починають з точки мінімального натягу ланцюга  $S_{min} = l \div 3$  кН. При розрахунку опорів масу  $l_m$  рухомих частин  $q_o$  визначають підсумовуванням маси  $l_m$  ланцюга і вагонеток. Коефіцієнт опору  $w$  визначають за формулою:

$$w = \frac{\mu_1 d + 2k_r}{d_1} l_1, \quad (4.23)$$

де  $\mu_1$  – коефіцієнт тертя в цапфах;

$k_k$  – коефіцієнт тертя кочення котків по направляючих;

$d$  – діаметр цапфи чи втулки;

$d_1$  – діаметр ходового котка;

$c_l$  – коефіцієнт опору в ребордах котків.

Опір  $w_l$  у ребордах котків

$$w_l = \frac{\mu_c \left( \frac{k_g}{k} + k_o \right) \sqrt{(D_H^2 + D_K^2)}}{B_K D_K}, \quad (4.24)$$

де  $k_u$  – довжина по центрах котків;

$k_o$  – відстань від осі котка до осі тягового ланцюга;

$B_k$  – ширина бази котків;

$D_k$  – діаметр ходового котка;

$\mu_r$  – коефіцієнт тертя реборди до рейок;

$D_r$  – діаметр реборди.

Опір тертя вагонетки до платформи при переході з прямолінійної ділянки на криволінійну і зворотні

$$W_{MT} = \frac{(ql_{ml} + G_{ml})\mu_n r_o}{k}, \quad (4.25)$$

де  $l_{ml}$  – крок платформи;

$G_{ml}$  – вага платформи;

$\mu_n$  – коефіцієнт тертя платформи до вагонетки;

$R$  – радіус повороту;

$r_o$  – радіус тертя.

$$r_o = \frac{1}{F_T} \int r dS, \quad (4.26)$$

де  $r$  – відстань від центру обертання до елементарної поверхні тертя;

$F_T$  – площа поверхні тертя однієї вагонетки.

Опір підшипників котків вагонеток по ділянці повороту визначаються за формулою  $W = (q + q_o)qL_z w$ ,

де  $L_z$  – довжина дуги кола повороту.

При переході вагонеток з прямолінійної ділянки шляху на зубчатку і зворотньо проходить осьове зміщення опорних котків по рейках унаслідок горизонтальних зміщень ланцюга:

$$W_o = 3(q_o + q)\mu_k(R_o - \sqrt{R_o^2 - \frac{l_o^2}{4}}), \quad (4.27)$$

де  $\mu_k$  – коефіцієнт тертя лотків по рейках;

$R$  – радіус початкового кола зубчатки.

#### **4.4. Вантажоведучі конвеєри**

Вантажоведучі конвеєри призначені для переміщення об'єктів досить значних габаритів на колісному ході, або вагонеток з вантажами за допомогою гнучкого тягового органу, оснащеного захватами чи тягами для приєднання переміщуваного об'єкта.

За видом траси вантажоведучі конвеєри поділяють на прямолінійні, горизонтальні й нахилені, комбіновані з прямолінійними і криволінійними ділянками, і просторові.

Вантажоведучі конвеєри застосовують у складальних машинобудівних цехах, на складах для сортування круглих штучних заготовок, вантажів. Крім того, їх можна використовувати в будівництві.

Переваги вантажоведучих конвеєрів компактність конструкції. За їх допомогою можна механізувати транспортні процеси в цехах, не займаючи великої площі приміщення.

Переваги: простота конструкції, надійність в експлуатації, тривалий час роботи.

Недоліки: необхідність повернення порожніх вагонеток іншими транспортними засобами.

Основні елементи – гнучкі тягові органи, привод, натяжний пристрій, вагонетка, направляючі для ланцюгів, шляхи для вагонеток або вантажів.

Допоміжними елементами систем просторових вантажоведучих конвеєрів є засоби автоматичного адресування, сигналізації, безпеки і зворотного зв'язку.

В якості гнучких тягових органів застосовують переважно пластичні ланцюги, а також і канати, привод яких здійснюється з допомогою барабанних тягових пристроїв.

У сучасних вантажоведучих конвеєрах використовують редукторний привод з увімкненим варіатором швидкості. Натяжні пристрої – гвинтові або пружинно-гвинтові.



Зазвичай у завданні на розрахунок вантажоведучих конвеєрів вказують потрібну штучну продуктивність  $z$  ( $шт/год$ ) і розміри переміщуваних вантажів.

При розрахунку багатовагонеткових конвеєрів крок  $a$  тяг (рис.4.6) має бути більшим, ніж сума довжин переміщуваного вантажу і тяги. Крім того, крок  $a$  повинен бути кратним подвоєному крокові ланцюга, що забезпечує уніфікацію вузла кріплення тяг до ланцюга. Необхідна швидкість руху  $V=za/3600$ .

При розрахунку вантажоведучих вагонеткових конвеєрів швидкість  $V=za/3600z_0$ ,

де  $z_0$  – число штук вантажу на одній вагонетці.

Потужність приведенного двигуна визначають за формулою:

$$N = \frac{k_3 N_B}{\eta_o} = \frac{k_3 N_o}{\eta_o \eta_n}, \quad (4.28)$$

де  $N_o, N_B$  – розрахункова потужність відповідно на приводному органі й на валу привідного органу; – ККД приводного органу і передавального механізму.

Тягове зусилля  $W = (q + q_o)gH$ ;

«+» – коли робочий орган рухається вгору; «-» – коли робочий орган рухається вниз.

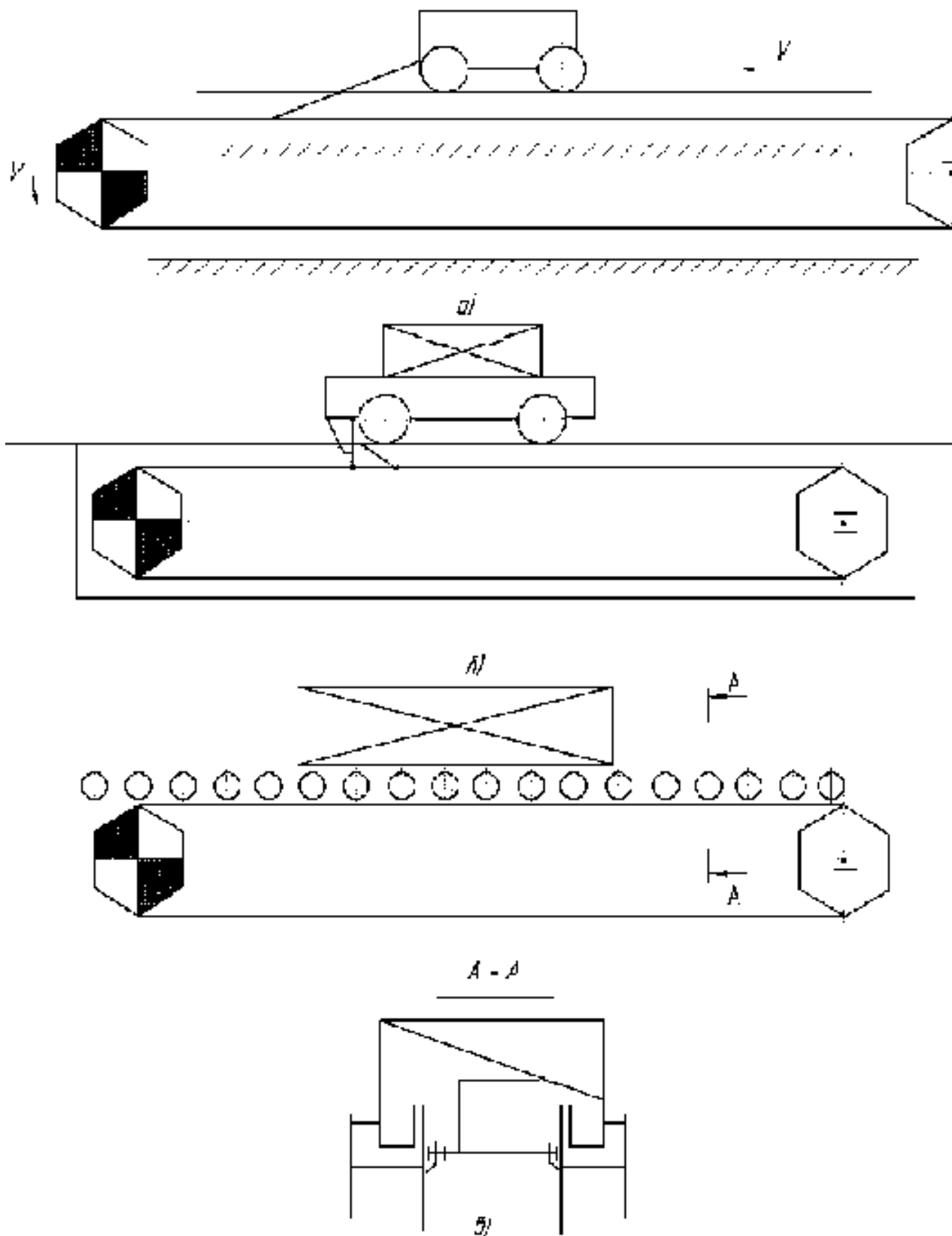


Рисунок 4.6. Вантажоведучі конвеєри:  
а) з тягами; б) з вагонетками; в) з опорними роликами

За принципом дії інерційні конвеєри поділяють на вібраційні й коливні конвеєри та металеві машини. Переміщення вантажу в них відбувається під дією сил інерції.

У вібраційному конвеєрі жолоб здійснює коливання з високою частотою ( $450 \div 3000$  кол/хв.) і вантаж переміщується стрибками величиною  $0,5 \div 15$  мм. У коливному конвеєрі амплітуда значно більша за ( $19 \div 150$  мм), а частота менша від  $40 \div 400$  кол/хв. Відмінність між вібраційними і коливними конвеєрами – в характерові переміщення вантажу: в першому вантаж відривається від дна жолобу і здійснює мікрополіт, у другому – ковзає по жолоба. Коливні конвеєри мають значні недоліки. Швидке зношування жолоба та інших деталей через тертя вантажу і недостатня надійність, бо виникають великі незрівноважені динамічні навантаження; велика метало- і енергомісткість. У багатьох випадках їх замінюють іншими типами конвеєрів.

Вібраційні конвеєри знаходять все більше застосування в багатьох галузях виробництва внаслідок малого зношування, невеликих витрат енергії, можливості створення зрівноважених конвеєрів, що не передають коливання на фундамент. Їх застосовують у хімічній, металургійній промисловості, машинобудуванні, промисловості будівельних матеріалів.

У герметично закритих жолобах можна транспортувати вантажі з високою температурою  $500 \div 700^\circ \text{C}$  (до  $1000^\circ \text{C}$ ), а також хімічно агресивні.

За напрямом транспортування конвеєри бувають горизонтальні, похилі, вертикальні.

Продуктивність – до  $400 \text{ м}^3/\text{год}$  (для живильників – до  $3000 \text{ м}^3/\text{год}$ ). Максимальна довжина конвеєра до  $100$  м. Максимальна швидкість транспортування  $0,6 \text{ м/с}$  – для намоткових,  $0,2 \text{ м/с}$  – для пилоподібних вантажів.

Схеми підвісних вібраційних конвеєрів зображено на рис. 4.7.

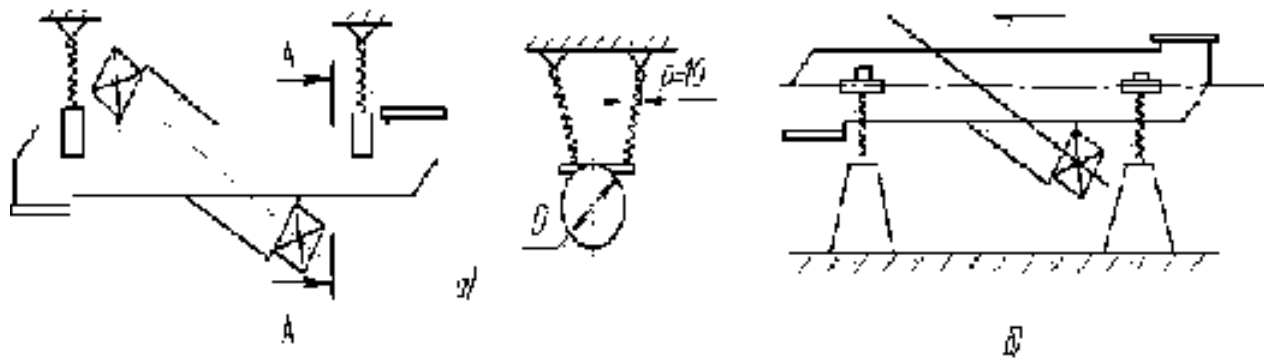


Рисунок 4.7. Схеми підвісних вібраційних конвеєрів:

а) з електромеханічним приводом на підвісних; б) на опорах

Особливістю вібраційного конвеєра є наявність пружних елементів (ресор, пружин, гумових амортизаторів), що здійснюють спрямований рух жолоба.

Віброконвеєри стабільно працюють при завантаженні їх рівномірним потоком вантажу. Окрему групу конвеєрів складають вібраційні живильники.

В якості приводів вібраційних конвеєрів застосовують інерційні, ексцентрикові, електромагнітні, поршневі (гідравлічні й пневматичні) вібратори (рис.4.8).

Він складається з якоря 1, електромагніту, що прикріплений до жолоба 2 і з'єднаний із сердечником 5 пружними зв'язками 3. Котушка 4 намотана на сердечник і живиться від мережі змінного струму через однопівперіодний випрямляч 6.

Збуджуюча сила, що приводить систему в коливний рух, з'являється в результаті виникнення змінного магнітного потоку в повітряному зазорі електромагніту. Жолоб коливається з частотою *3000 кол/хв*. Застосовують ці вібратори для невеликих конвеєрів і в живильниках.

Для конвеєрів високої продуктивності застосовують двоконтактні електромагнітні вібратори (рис. 4.8б).

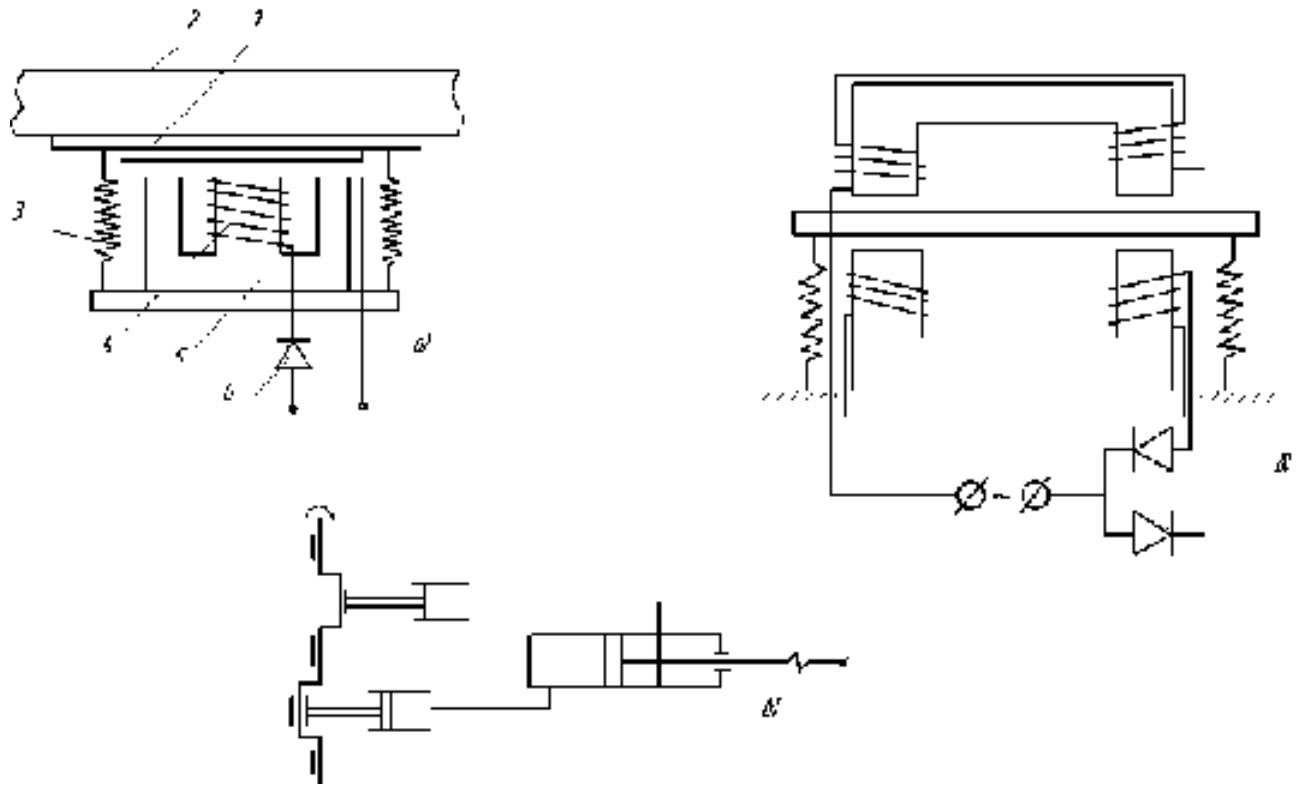


Рисунок 4.8. Схеми електромагнітних вібраторів:  
 а)однотактного електромагнітного; б)двох контактного  
 електромагнітного; в)поршневого

Наявність напівпровідникових елементів в електромагнітному контурі дає змогу почергового подавання струму на протилежні реактори, що приводить опір у зворотно-поступальний рух.

Подвійна система живлення вібропривода підвищує коефіцієнт потужності й дозволяє регулювати в широких межах величину збуджуючої сили.

Пружні зв'язки виконані у вигляді пакета ресор, що служить пружним елементом між вібратором і жолобом конвеєра. Двотактні вібратори застосовують для конвеєрів продуктивністю  $50 \div 650 \text{ т/год}$  при потужності вібраторів  $0,5 \div 8,0 \text{ кВт}$ , амплітуді коливань  $0,625 \div 1,25 \text{ мм}$  і частоті коливань  $3000 \text{ кол/хв}$ .

У поршневих вібраторах (рис.4.8в) збуджуюча сила (пульсація)

створюється тиском рідини чи повітря на поршень. Частіше застосовують вібратори, в яких рідина подається на поршень то з одного боку, то з протилежного.

У вібраційному конвеєрі закон руху повинен бути таким, щоб вантаж переміщувався вперед не тільки при прямому, але й при зворотному ходу жолоба. Жолоб починає зворотний хід зі зростаючим сповільненням. Швидкість вантажу зростає, тиск на жолоб зменшується і в певний момент часу тиск дорівнює 0, частина відривається від жолоба і здійснює послідовні мікроскачки без ковзання по жолобу (рис. 4.9).

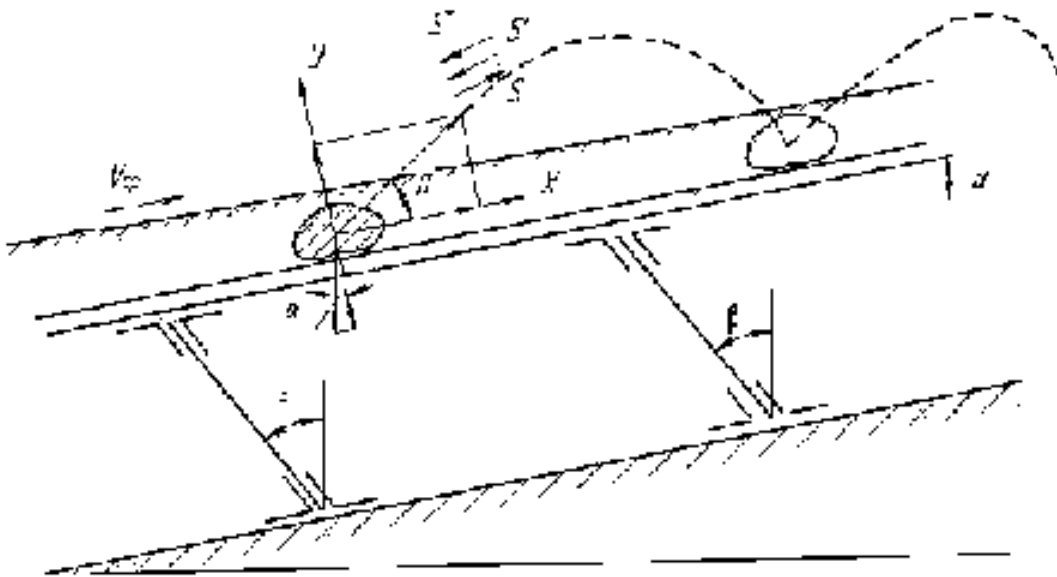


Рисунок 4.9. Схема руху вантажу по жолобу вібраційного конвеєра

Коливання жолоба гармонічне і можна записати формули для переміщення, швидкості і прискорення  $S$ :  $S = a \sin \omega t$ ,  $S = a \omega \cos \omega t$ ,  $S = -a \omega^2 \sin \omega t$ , де  $a, a \omega, a \omega^2$  – амплітуди переміщень, швидкості й прискорення;  $\omega$  – кутова частота коливань чи кутова швидкість обертання кривошипу.

Резонансний режим вібраційного конвеєра при рівних частотах вимушених і власних коливань конвеєра  $\omega = \nu$ . Потужність приводного двигуна з підвищеним пусковим моментом наближено можна визначити:

- для конвеєрів довжиною  $L \leq 10 \text{ м}$ ; - для конвеєрів довжиною  $L > 10 \text{ м}$ ,  
де  $\kappa_T$  – коефіцієнт транспортабельності вантажу (для зернистих і шматкових

вантажів  $\kappa_T = 1$ , для пилоподібних  $\kappa_T = 1,5 \div 2,0$ ;

$\kappa_1, \kappa_2$  – коефіцієнти питомих затрат потужності при транспортуванні  $1m$  вантажу на відстань  $1m$ . Залежно від типу вібраційного конвеєра і його продуктивності приймають  $\kappa_1 = 4 \div 12$ ,  $\kappa_2 = 3,5 \div 10$ .

У вертикальному вібраційному конвеєрі транспортування вантажу проходить по коливній гвинтовій поверхні вгору. Висота підйому вантажу до  $12m$ , продуктивність – до  $20 m/год$ , кут підйому спіралі –  $\alpha = 4 \div 10^\circ$ .

#### 4.6 Крокові конвеєри

Ці машини відносяться до найефективніших транспортних засобів циклічної дії. Конвеєр переміщує штучні вантажі на один крок уперед через рівні проміжки часу вздовж лінії технологічного процесу виробництва.

Вони обслуговують ливарні, складальні, механічні й технічні цехи машинобудівної, суднобудівної, авіаційної та інших галузей промисловості. Крокові конвеєри встановлюють на рівні підлоги цеху і легко вмикають їх в автоматичні лінії в умовах дрібносерійного й одиничного виробництва.

У крокових конвеєрах вантаж пересувається у двох площинах: горизонтальній – зворотно-поступальний рух робочого органу, і вертикальний підйом і опускання. Цикл руху складається з чотирьох етапів: підйом рами з вантажем, робочий хід, опускання рами з вантажем і зворотний хід рами без вантажу.

Кроковий конвеєр зазвичай виконують із гідравлічним підйомом або електромеханічним приводом переміщення.

На рис.4.10 зображено конвеєр з гідравлічними механізмами підйому 13 і переміщенням рами 2 з допомогою важеля 7. При рухові поршня циліндра 11 рейка 10, що закріплена зі штоком 9, приводить в обертання шестерню 8, на валу якої посаджені шестерні 6, що входять у зачеплення з рейками 5 і піднімають раму 2 одночасно з горизонтальним переміщенням по опорних роликах 4. При цьому виріб 1 знімається з нерухомої рами 3 і переміщується на

один крок вперед. Від кінцевих вимикачів ходу поршня циліндра штокова порожнина підйомних циліндрів 13 перемикається від зливу на нагнітання рідини і поршні, стискаючи пружини 12, опускають раму 2, з виробом 1 на нерухому раму 3. У кінцевому нижньому положенні рама 2 вмикає кінцевий вимикач механізму переміщення і робоча рідина знову надходить у безштокову порожнину циліндра 11. Цикл повторюється. Пружини 12 служать для підйому рами при знятті тиску в циліндрі.

Завантаження й розвантаження крокуючих конвеєрів здійснюється кранами, завантажувачами чи роликовими конвеєрами. Довжина конвеєрів сягає до 100 м, маса одиничного вантажу до 8 кг, швидкість переміщуваного вантажу – до 0,1 м/с.

Крокові конвеєри мають ряд переваг перед іншими типами конвеєрів. Наприклад, використання їх у ливарному і складальному цехах замість вагонеткових сприяє підвищенню продуктивності на 15÷20 % при меншій (в 1,6 ÷ 2 рази) металомісткості, різкому скороченню виробничих площ.

Приводи механізмів крокового конвеєра працюють у важких динамічних режимах пуску і гальмування. Тому, крім силових розрахунків, необхідно перевіряти його на швидкодію, бо тривалість кожного етапу роботи має вплив на продуктивність конвеєра.

Перший етап – підняття рами. Визначають ефективну піднімальну силу

$$F_e = k(m_1g + m_2g), \quad (4.29)$$

де  $k = 1,2 \div 1,5$ ;

$m_1, m_2$  - маса відповідно вантажу і рухомої рами.

Величина прискорення  $a_1 = \frac{F_e}{m_2} = kg \frac{m_1 + m_2}{m_2}$  .

Час руху рами  $t_1$  до дотику з вантажем при висоті  $t_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{a_1}} = \sqrt{\frac{2h_1m_2}{kg(m_1 + m_2)}}$  .

До кінця дотику з вантажем швидкість рами дорівнює:



$$V_1 = a_1 t_1 = \sqrt{2kgh_1 \left( \frac{m_1 + m_2}{m_2} \right)} .$$

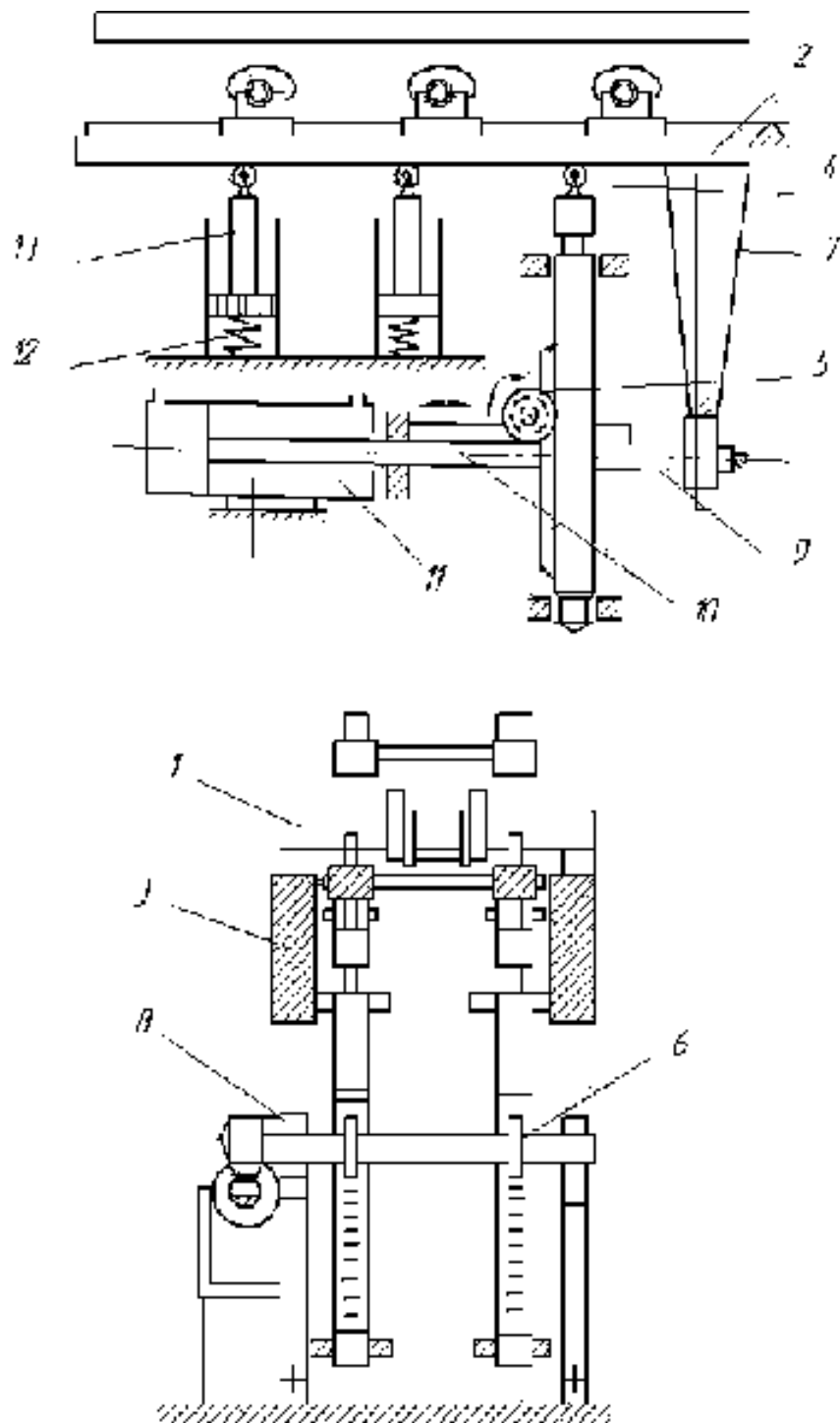


Рисунок 4.10. Конвеєр з гідравлічними механізмами підйому

При дотику рами з вантажем відбуваються удари.

Початкова швидкість  $V_2 = V_1 \sqrt{\frac{m_2}{m_1 + m_2}} = \sqrt{2kgh_1}$  .

Кінцева швидкість  $V_3$  підйому рами з вантажем  $V_3 = \sqrt{V_2^2 + (k-1)gh_2}$  ,

де  $h_2$  – висота підйому рами разом з вантажем.

Час руху рами з вантажем  $t_1' = \frac{2h_2}{V_2 + V_3}$  .

На другому етапі мінімальний час робочого ходу визначається

граничними прискореннями при розгоні та гальмуванні  $t_p = \sqrt{\frac{2l}{a_p(1 + \frac{a_p}{a_r})}}$

при однакових умовах розгону і гальмування  $t_2 = 2\sqrt{\frac{l}{a}}$  .

Третій етап – опускання рами при рівносповільненому рухові. Прискорення повинно бути менше прискорення вільного падіння.

Час опускання  $t_3 = \sqrt{\frac{2h}{a_o}}$  , де  $h$  – висота підйому.

Четвертий етап – зворотний хід рами при рівномірному і рівносповільненому рухові  $t_4 = 2\sqrt{\frac{l}{ng}}$  , де  $n$  – допустимий коефіцієнт інерційних перевантажень.

Час циклу:  $T_u = t_1 + t_1' + t_2 + t_3 + t_4$  не повинен бути більше часу, що заданий технологічними умовами.

#### 4.7. Стрічкові конвеєри

Стрічкові конвеєри є найпоширенішим засобом неперервного транспортування різноманітних насипних і штучних вантажів у промисловості, будівництві, сільському господарстві й інших галузях народного господарства.

Стаціонарні стрічкові конвеєри загального призначення ділять на легкий, нормальний, важкий, надто важкий типи.

За типом тягового органу розрізняють конвеєри зі сталлюю і дротяною

стрічками, стрічково-канатні та стрічково-ланцюгові.

Режими роботи конвеєра характеризуються навантаженням і довготривалістю дії, зумовлюються класами використання конвеєра за часом, випуском продукції і натягуванням тягового елемента, визначають умови розрахунку елементів конвеєра на міцність і довготривалість, а також служать показниками фактичного експлуатаційного використання машин.

Використання конвеєра за часом характеризується коефіцієнтами відносно часу планової роботи конвеєра за добу  $K_{\text{цм}}$  і рік  $K_{\text{год}}$ :

$$K_{\text{цм}} = t_{\text{цм}}/t_{\text{цм}}' \quad K_{\text{год}} = t_{\text{год}}/t_{\text{год}}',$$

де  $t_{\text{цм}}, t_{\text{год}}$  – плановий час роботи конвеєра за добу і рік відповідно;

$t_{\text{цм}}', t_{\text{год}}'$  – календарний час роботи конвеєра за добу і рік відповідно.

За продуктивністю конвеєри характеризуються коефіцієнтом  $K_n$

$$K_n = Q_{\text{мсп}}/Q_{\text{мmax}} = Q_{\text{зсп}}/Q_{\text{зmax}}, \quad (4.30)$$

де  $Q_{\text{мсп}}, Q_{\text{мmax}}$  – середня і максимальна масові продуктивності конвеєра відповідно;  
 $Q_{\text{зсп}}, Q_{\text{зmax}}$  – середня і максимальна масові продуктивності конвеєра відповідно, *шт./год*.

Розрахункова масова продуктивність конвеєра для визначення відносних навантажень на стрічку і тягового зусилля двигуна

$$Q_m = \frac{Q_m' k_H}{k_n k_{\epsilon}}, \quad (4.31)$$

де  $Q_m'$  – згадана в умові максимальна масова продуктивність конвеєра;  $k_H$  – коефіцієнт нерівномірного завантаження конвеєра залежить від способу і характеру завантаження.

Необхідну повну ширину стрічки визначаються за формулою:

$$B = 1.1 \left( \sqrt{\frac{Q_m k_{\beta}}{k_n V B}} + 0.05 \right), \quad (4.32)$$

де  $k_n$  – коефіцієнт типу роликоопор;  $k_{\beta}$  – коефіцієнт кута нахилу конвеєра.

Потрібну кількість прокладок (*шт.*) тягового каркасу в матеріало-гумовій стрічці, виходячи з умови міцності її на розрив, визначають за формулою:

$$i = \frac{S_{\max} \Pi_n}{\sigma_p B}, \quad (4.33)$$

де  $S_{\max}$  – найбільший натяг стрічки, який визначається тяговим розрахунком,  $H$ ;

$\sigma_p$  – границя міцності на розрив  $1 \text{ см}$  ширини однієї прокладки,  $H/\text{см}$ ;

$B$  – ширина стрічки,  $\text{см}$ ;  $\Pi_n$  – коефіцієнт запасу міцності стрічки.

## **5. СПОСОБИ АВТОМАТИЧНОГО ЖИВЛЕННЯ Й ОРІЄНТУВАННЯ ПРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА**

Особливе значення має питання орієнтування й завантаження деталей при автоматизації процесів складання, тому що форма готових деталей, які подаються на складання, складніші форми заготовок, призначених для обробки.

В автоматичних завантажувальних пристроях велику увагу приділяють також транспортним операціям, тому що при автоматизації завантажувальних операцій деталі варто не тільки орієнтувати, але й подати на робочу позицію автоматичного верстата чи іншої робочої машини в необхідному положенні. Тобто в процесі завантаження необхідно переміщувати деталь, не порушуючи наданої їй орієнтації (або змінювати одне орієнтоване положення на інше). При цьому для переміщення виробів використовують три типи сил: сила ваги, зовнішня прикладена сила і сила інерції.

Залежно від застосування тієї чи іншої сили або їх комбінації розрізняють три види транспортування виробів:

- самоплинне, під дією сили ваги;
- примусове, під дією прикладеної зовнішньої сили;
- вібраційне, під дією інерційних сил.

Самоплинне транспортування не вимагає ні джерела енергії, ні двигуна, ні спеціальних механізмів і тому знаходить велике застосування. Однак застосування його обмежується тим, що переміщення виробів відбувається з прискоренням і часто швидкості бувають настільки великі, що виявляються небезпечними для виробів. Крім того, самоплинний транспорт можна використовувати тільки у випадку переміщень згору вниз.

Самоплинний спосіб транспортування можна змінити при коливаннях, перпендикулярних напрямку руху. Швидкість ковзання при цьому можна регулювати частотою коливань, а сам рух може здійснюватися при нахилах значно менших кута тертя.

Примусовий транспорт дозволяє переміщувати об'єкти в будь-якому напрямку рівномірно, прискорено, уповільнено і т.д.

Вібраційний транспорт є деякою мірою проміжним між самоплинним і примусовим. Вироби можна переміщувати під дуже невеликим кутом вниз, горизонтально і навіть під невеликим кутом вгору, тобто так, як це дозволяє примусове транспортування. Крім того, на вібраційному транспорті дуже зручно здійснювати орієнтування виробів складної форми.

Завантажувальні пристосування можуть складатися з одних лотків, у яких вироби переміщуються самоплинним безпосередньо в зону обробки, але при деякому ускладненні до лоткових магазинів ЛМ (рис.5.1а) додають живильник П, що діє синхронно з іншими виконавчими органами.

Для збільшення ємності лотку надають форми зигзагу, спіралі і т.п. У результаті прагнення ще більше збільшити ємність виникли так звані магазинні завантажувальні пристосування, що складаються з магазину М та лотка Л (рис.5.1б).

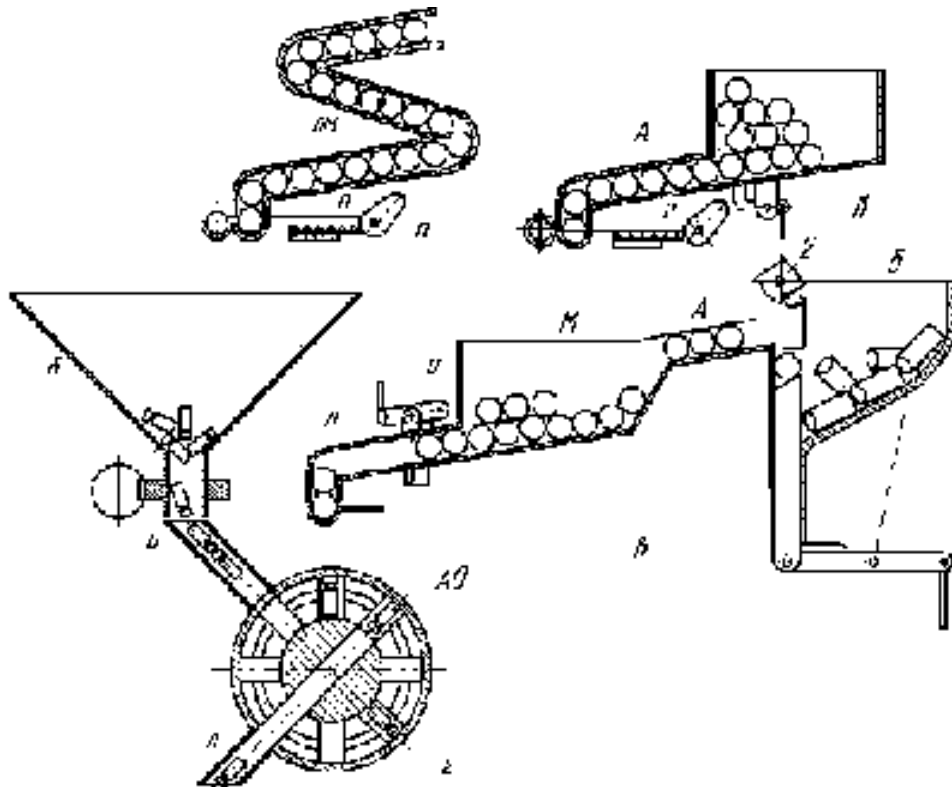


Рисунок 5.1. Різновиди завантажувальних пристроїв

У бункерні завантажувальні пристрої вироби завантажуються неорієнтованим насипом (рис. 5.1в). Ємність цих пристосувань прийнято називати бункером Б, звідки й виникла назва пристроїв.

Бункерні завантажувально-орієнтуючі пристрої (БЗОП) виконують значно складніші функції. Вони мають захоплювальні і орієнтуючі механізми, що вибирають із загального насипу вироби і видають їх в одному чи кількох визначених положеннях на транспортний пристрій, що являє собою здебільшого лоток. Тому бункерні завантажувальні пристрої на відміну від магазинних несуть функції орієнтування. У пристрої, зображеному на рис. 5.1 в, ножовий штовхач 1 вибирає із насипу і піднімає деталі в орієнтованому положенні, а скидач 2 зіштовхує зі штовхача зайві чи неправильно орієнтовані вироби.

Автоматичне орієнтування деталей складних форм цілком здійснити в бункері зазвичай не вдається. Наприклад, деталі у вигляді валиків з

несиметрично розташованою проточною можуть виходити з бункера проточною вперед чи проточною назад, тобто у двох можливих положеннях. У бункері тільки зменшується кількість можливих положень, або, як кажуть, деталям надається первинне орієнтування. У таких випадках необхідно додатково зробити в спеціальних пристроях вторинне орієнтування, після якого деталі рухаються до робочої зони тільки в одному, визначеному положенні. У зображеному на рис.5.1г пристрої є спеціальний механізм автоматичної орієнтації АО, що остаточно орієнтує всі деталі проточною вперед.

Отже, БЗОП являє собою групу механізмів, що приймають деталі насипом і подають їх до робочої зони машини чітко орієнтованими в просторі.

Незважаючи на те що БЗОП є найдосконалішими пристроями і мають найвищий ступінь автоматизації, вони все-таки не можуть застосовуватися в усіх випадках. Часто завадою до їхнього застосування є громіздкість пристрою, крихкість виробів і схильність їх до склеювання чи зчеплення.

Завантажувальні пристрої складаються з таких цільових механізмів: бункерів, лотків, магазинів, відсікачів, живильників і автоматичних орієнтуючих пристроїв (для вторинного орієнтування).

Своєрідність роботи бункера полягає в тому, що майже усі деталі засипаються насипом і займають у ньому довільні положення. Призначення бункера — вибрати з насипу по одній деталі і здійснити первинну орієнтацію. Бункер видає деталі неритмічно, через різні проміжки часу. Однак у визначені відрізки часу продуктивність бункера можна вважати приблизно постійною, тобто бункер має деяку середню продуктивність. Для деталей порівняно простих форм первинна орієнтація в бункері є достатньою, усі деталі виходять з бункера в одному визначеному положенні і не вимагають вторинного орієнтування в спеціальних пристроях.

Винесення деталей з навалу може здійснюватися примусово спеціальними механізмами по одній чи по кілька штук з одночасним доданням їм первинної орієнтації (табл. 5.1). Застосування тих чи інших пристроїв для

винесення деталей з насипу визначає тип бункера.

Таблиця 5.1. Способи винесення деталей з насипу

| Спосіб<br>винесен<br>ня | Примусово спеціальними механізмами |                                             |                                    |                                       | Параметрично         |                 |                  |
|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------|------------------|
|                         | Поштучно                           |                                             | Партіями                           |                                       | Безперервним потоком |                 |                  |
|                         | Кишень-<br>кою                     | Гачком                                      | Лотком                             | Лопатою                               | Власною<br>вагою     | Силою<br>тертя  | Силою<br>інерції |
| Тип<br>бункера          | Кишень-<br>ковий                   | Гачковий,<br>штирьовий,<br>пальчико-<br>вий | Секторний,<br>ножовий,<br>дисковий | Лопатовий,<br>щільовий,<br>барабанний | Трубчас-<br>тий      | Фрик-<br>ційний | Вібра-<br>ційний |

Параметрично, тобто без допомоги спеціальних примусово діючих механізмів, винесення і первинне орієнтування деталей у бункерах можна здійснювати, використовуючи власну вагу деталей, сили тертя між деталями і робочими поверхнями бункера або за допомогою сил інерції, що виникають у результаті надання робочим поверхням бункера коливального (вібраційного) руху.

Магазини накопичують і зберігають деталі в орієнтованому положенні. Лотки здійснюють в основному транспортні операції з переміщення деталей між цільовими механізмами БЗОП чи до робочих органів машин. У деяких випадках вони одночасно відіграють роль магазину, а іноді використовуються також для вторинного орієнтування.

Відсікачі й живильні пристрої працюють синхронно з робочими органами машин, подаючи деталі до робочих органів у визначені періоди робочого циклу, тобто орієнтують деталі в часі.

Бункери з поштучним видаванням деталей є дуже розповсюдженими; до їх числа відносяться такі широко відомі в практиці конструкції, як кишенькові, гачкові й дискові.

Продуктивність усіх типів бункерів з поштучним видаванням можна визначити за однотипною формулою

$$Q_{cp} = kzn \quad (шт/хв.), \quad (5.1)$$



де  $z$  – число захоплюючих пристроїв (кишень, гачків, штирів і т.п.), що беруть участь в одному циклі роботи (одному оберті, одному подвійному ході);  $n$  – число циклів роботи за хвилину;  $k$  – коефіцієнт заповнення захоплювальних пристроїв деталями.

Величина коефіцієнта заповнення залежить від цілого ряду факторів: від конструктивного вирішення елементів бункера (кута нахилу диска, форми захоплювальних пристроїв, приймальної частини лотка і т.д.), форми деталей, коефіцієнта тертя деталей та захоплювальних елементів і т.п. Величину коефіцієнта заповнення в кожному окремому випадку визначають дослідним шляхом. Останнім часом робляться спроби й теоретичного визначення коефіцієнта заповнення за допомогою теорії ймовірностей.

Формулу продуктивності для кишенькового бункера можна представити й в іншому вигляді. Оскільки

$$n = v / \pi D \quad ; \quad z = \frac{\pi D}{(l + a)} \quad (5.2)$$

де  $D$  – діаметр обертового диска;  $v$  – колова швидкість руху деталей;  $l$  – довжина деталі (кишені);  $a$  – величина перемички між кишенями, то, підставивши ці значення у формулу продуктивності, отримаємо:

$$Q_{cp} = k \frac{(\pi D v)}{(l + a \pi D)} \quad \text{звідки} \quad Q_{cp} = k \frac{v}{(l + a)} \quad (5.3)$$

З цієї формули можна зробити цікавий висновок, що продуктивність не залежить від розміру бункера, а тільки від швидкості руху деталей.

На рис. 5.2 зображено основний тип кишенькового бункера, який складається з кожуха 2, диска 1 з кишенями, відвідного лотка 3 і привода — черв'ячної передачі 4. При обертанні диска 1 у розташовані внизу кишені западають заготовки, що піднімаються вгору і випадають через отвір у корпусі в приймальний лоток 3.

Кишені на диску можна розташовувати у різні способи. Спосіб розташування деталей значно впливає на продуктивність кишенькового бункера, тому що впливає на величину коефіцієнта заповнення, а також на припустиму величину швидкості обертання диска. При розташуванні кишень

Привод дискових кишенькових бункерів здійснюється через запобіжний пристрій. Зірочка 7, що сидить на привідному валу, обертається з постійною кутовою швидкістю  $i$ , зачіпаючи за виступи важелів 5 і 8, надає обертання диску з кишнями 1. Важелі 5 і 8 сидять на осях, закріплених на диску 4, і пружинами 6 і 9 притискаються до зірочки 7.

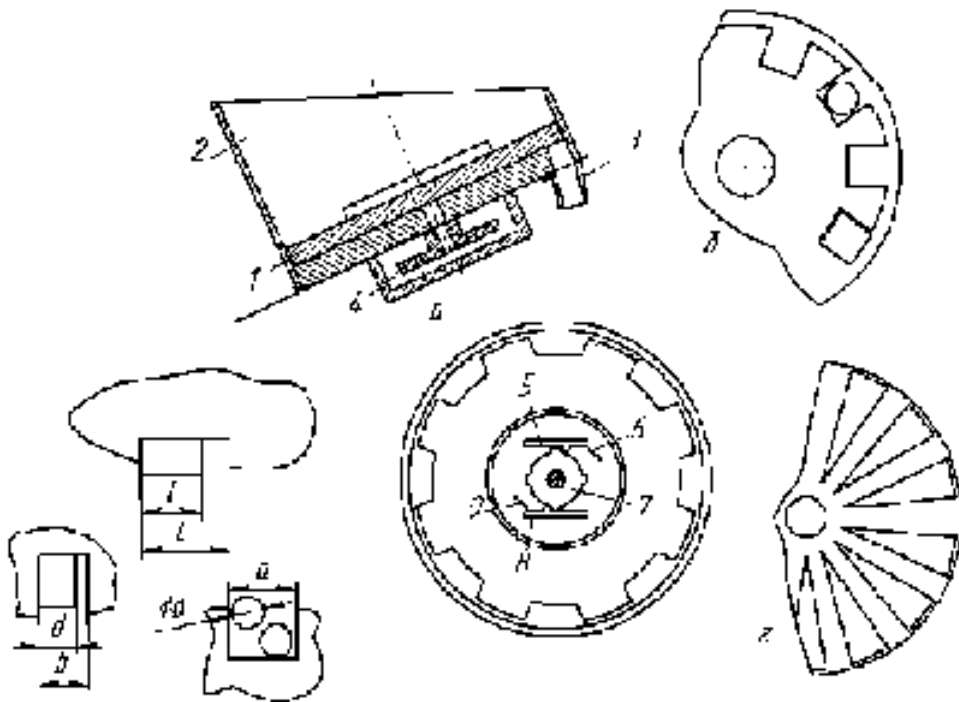


Рисунок 5.2. Кишеньковий бункер

Визначення розмірів кишень виконується в такий спосіб. Для дисків з кишнями, розташованими по хорді і радіально (рис.5.2в) розміри кишень рекомендується визначати за формулами

$$1 < L < 1 + d ; \quad (5.4)$$

$$b = (1, 4 \dots 1, 6) \cdot d . \quad (5.5)$$

Для дисків з кишнями по торці заготовки (рис. 5.2б) розмір кишені визначається з умови неможливості влучення в кишеню одночасно двох деталей. Ця умова з деяким запасом виражається формулою

$$a = 1,7d - (1 \dots 2)d. \quad (5.6)$$

При проектуванні бункерів варто також визначити кут нахилу бункера до горизонту. Цей кут варто вибирати таким, щоб було забезпечено скочування заготовок по диску бункера вниз. Для цього кут  $\alpha$  нахилу до горизонту повинен у 2-4 рази перевищувати кут тертя.

Швидкість  $V$  захоплюючого органу – диска – повинна бути такою, щоб деталі випадали у відповідний лоток за час проходження над лотком; орієнтовно її визначають за формулою

$$v = \sqrt{\left(g \frac{a \sin(\alpha)}{h}\right)} . \quad (5.7)$$

Механізм, що припиняє видавання деталей закриттям вікон приймальних пристроїв у дисковому кишеньковому бункері, зображено на рис. 5.3. Деталі, які запали в кишені диска 12, виносяться до прийомного вікна в днищі 1, що закривається заслінкою 11. Диск 12 приводиться в обертовий рух черв'ячною передачею 4 – 6.

Передаточне число черв'ячної пари дорівнює числу кишень в обертовому диску. Завдяки цьому проходження кожної кишені над вікном у днищі 1 відбувається у визначений період оберту кулачка 3, що дає можливість забезпечити відкриття заслінки 11 при визначеному положенні деталі над вікном у днищі 1.

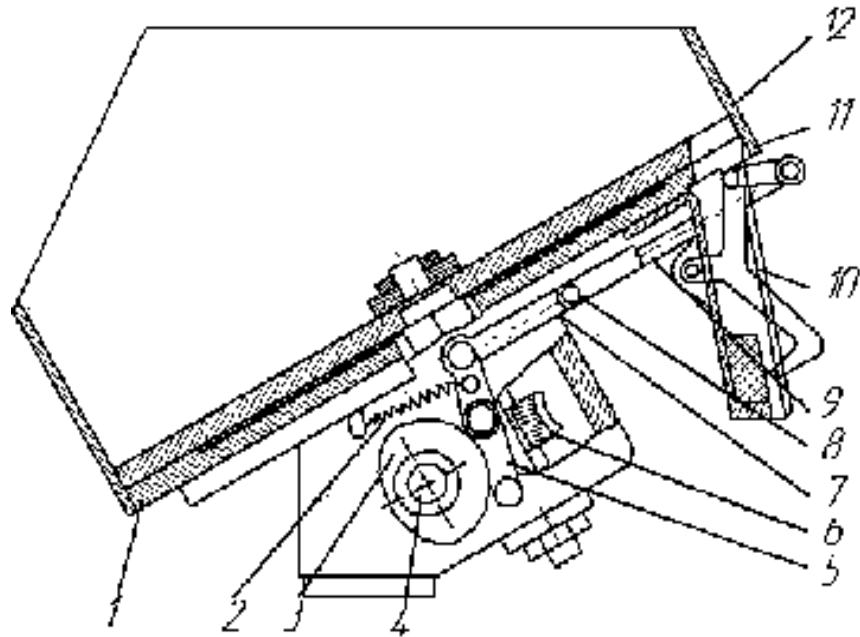


Рисунок 5.3. Кишеньковий бункер з механізмом, що припиняє видавання деталей закриттям вікон приймальних пристроїв

Основний тип бункера з гачками на периферії зображено на рис.5.4а. На обертовому диску 3 закріплені гачки 4, які в нижньому положенні забирають деталі із завантажувального простору кожуха бункера б і піднімають їх вгору. При переході через верхнє положення, з лівого боку бункера, деталі попадають у приймач 2 у вигляді трубчастого лотка з розрізом, крізь який вільно проходить діаметр стержня гачка 4. У приймачі деталь сковзує з гачка, випереджає його і випадає в трубчастий лоток 1.

При переповненні приймача гачок з черговою деталлю впирається в деталі, що знаходяться в приймачі, і завдяки обов'язковій наявності запобіжного механізму у вигляді описаної вище (див. рис. 5.2а) просковзуючої муфти диск зупиняється до спорожнювання приймача. Надходження деталей із передбункера в бункер регулюється заслінкою 5.

Величина кроку і гачків (рис. 5.4б) визначають за формулою

$$t = t + l + l_{кр} + \partial_c,$$

де  $t$  — зазор по кроку, мм;  $l_{кр}$  — довжина загнутого кінця гачка, мм;

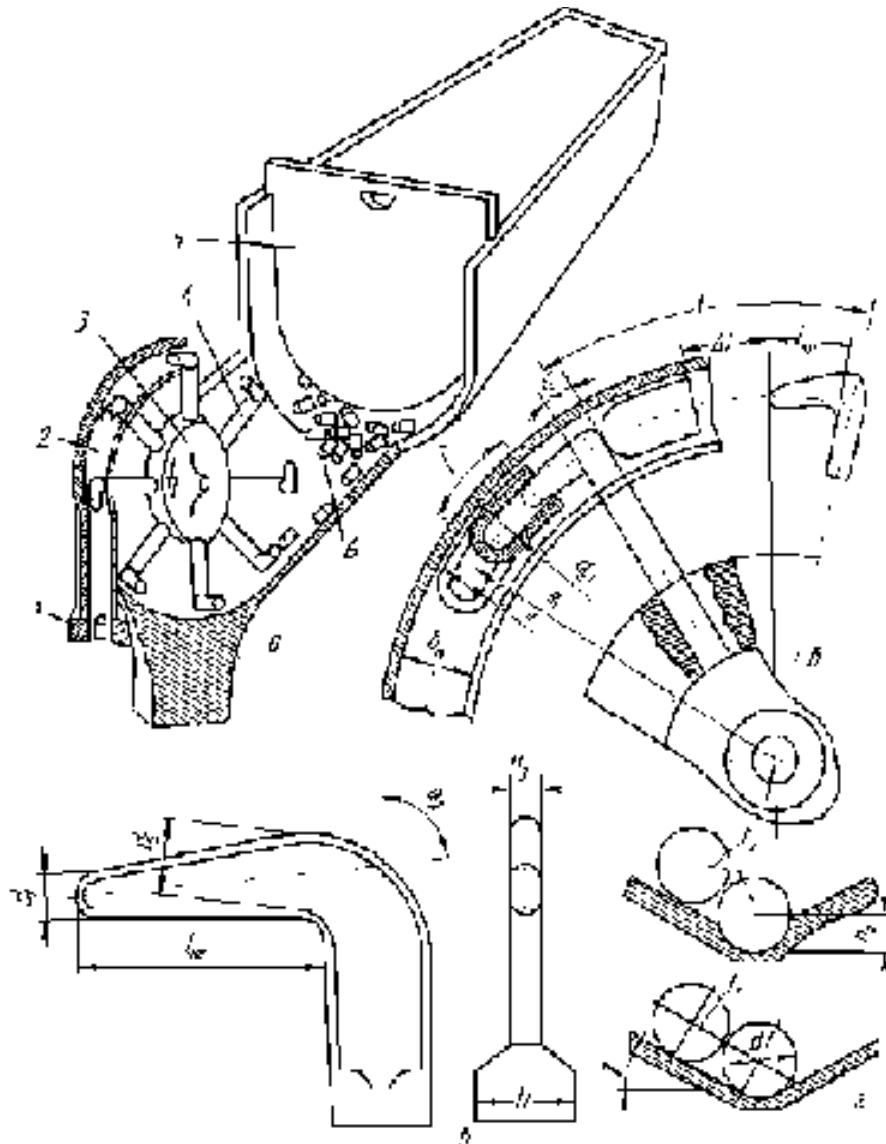
$\partial_c$  — товщина стержня.

Для уникнення заклинювання деталей між гачками крок вибирається так, щоб у ньому не укладалося ціле число деталей по довжині.

Зазор по кроку необхідний для переміщення деталей між гачками в зоні захоплення за час повороту диска на один крок. Чим більша колова швидкість, тим більшим повинен бути зазор по кроку:

$$t \geq v \sqrt{\frac{2l_{\sigma}}{g \left( \sin(y) - \frac{2k}{d} \cos(y) \right)}} \quad , \quad (5.8)$$

де  $l_{\sigma}$  – довжина шляху центра ваги чергової деталі при її переміщенні в зоні захоплення (рис.5.4г), мм;  $y=15-20^{\circ}$  – кут нахилу днища бункера до горизонту;  $k$  – коефіцієнт тертя кочення.



#### Рисунок 5.4. Гачковий бункер.

Радіус диска по осі відігнутої частини гачків  $R_1$  можна орієнтовно вибирати за формулою

$$R_1 = (5...10)l_{кр} . \quad (5.9)$$

Розміри гачка визначають за такими емпіричними формулами (рис. 5.4а):

$$\begin{aligned} l_{кр} &= (1,2...1,3)l \\ d_2 &= (0,45...0,6)d_{вз} , \end{aligned} \quad (5.10)$$

де  $d_{вз}$  – внутрішній діаметр заготовки.

Відігнуту частина гачка варто заточувати на конус, а кут відгину гачка робити, аби він дорівнював  $80—85^\circ$ . Ширина (діаметр) приймача (рис. 5.4б)

$$b_{в} \geq \frac{4d^2 + 8R_1 + 4d}{8R_1 + 4d} . \quad (5.11)$$

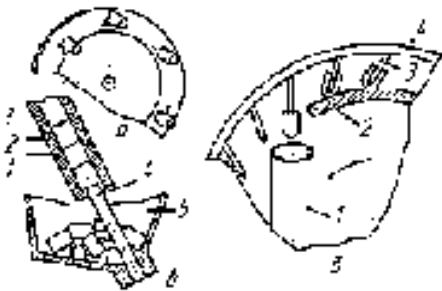


Рисунок 5.5. Способи розташування гачків і штирів

Гачки можуть розташовуватися і на торці обертового диска, як це зображено на рис. 5.5а. Крім того, гачки чи штирі 3 можуть бути і на внутрішній поверхні обертового кільця 4 (рис. 5.5б). Для того щоб деталі не зіскакували зі штирів раніше, ніж потрібно, вони підтримуються планкою 2. Як тільки деталі минають планку, вони зісковзують зі штирів і попадають у розташований нижче відвідний лоток 1.

При переповненні лотка деталі випадають назад у завантажувальний простір бункера. Зустрічаються бункери і з одним штирем, що рухається зворотно-поступально (рис. 5.5б). При русі вгору штир 4 нанизує на себе деталь з числа розташованих у кожусі бункера 5 і, піднімаючи, заводить її у відвідний лоток 3. На кінці відвідного лотка 3 на пружинах 2 укріплені собачки 1, що перешкоджають випаданню деталей з лотка назад у бункер.

У бункерах, що видають деталі порціями, тобто по кілька штук за один робочий цикл, винос деталей з насипу здійснюється лотками (секторні, ножові, дискові) чи лопатами (лопатеві, щілинні, барабанні).

Продуктивність бункерів з видачею заготовок порціями:

$$Q_{cp} = k z m n \quad \text{шт/хв}, \quad (5.12)$$

де  $z$  – число захоплювальних пристроїв (секторів, повзунів, пазів у диску і т.п.). У звичайних секторних чи ножових пристроях це число дорівнює 1;  $m$  – число деталей, що може бути захоплено одним пристроєм;  $n$  – число робочих циклів (чи оборотів подвійних ходів) за хвилину;  $k$  – коефіцієнт заповнення захоплюючих пристроїв деталями.

Аналіз стану сучасного листоштампувального виробництва показує, що в багатьох випадках продуктивність пресового устаткування лімітується не швидкістю обробки, а тривалістю операцій транспортування, завантаження й розвантаження, які визначаються ступенем автоматизації і ступенем досконалості конструкції завантажувально-розвантажувальних пристроїв.

До групи механізмів для завантаження листових штучних заготовок входить велика кількість різноманітних механізмів і пристроїв, що відрізняються характером переміщуваних заготовок, способом їхнього транспортування й інших конструктивно-технологічних ознак. Ці механізми можна поділити на такі підгрупи: живильники; завантажувачі листових заготовок; стрічкоподавачі; автооператори; механічні рухи роботів.

Живильники – це механізми для подавання штучних заготовок і деталей безпосередньо на робочу позицію технологічної машини в орієнтованому положенні відповідно до циклограми роботи машини. Живильник може мати привод від робочої машини, або індивідуальний.

Цикл роботи живильника складається із захвату заготовки, подавання її в робочу зону й холостий хід, повернення захватного органу у вихідне положення. Залежно від виду оброблюваних деталей і типу живильника створюється також попередня орієнтація заготовок, відділення штучної заготовки від загальної маси або стопи, її піднесення (після захвату) й укладання на робочу позицію.

Зовсім відсутні у відомих класифікаціях струминні, струминно-фрикційні та інші живильники, які використовують у якості механізмів захвату й

транспортування.

Шибєрні живильники використовують для поштучного видавання з магазина в зону обробки плоских листових заготовок. Застосовують шибєрні живильники і для об'ємних заготовок циліндричної або прямокутної форми при їхній висоті до 100 мм.

Шибєр подає заготовку в робочу зону при зворотно-поступальному русі (рис 5.6) за один хід, що дорівнює довжині переміщення заготовки з магазина до робочої позиції, або послідовними ходами, коли одна заготовка переміщується наступною за нею заготовкою (подавання доріжкою), або із зсувом заготовки у вертикальній площині (подавання каскадом).

Робочий хід шибєра визначають залежно від розмірів заготовки в напрямку подавання і способу її переміщення:

- при поштучному подаванні заготовки  $l_{ш} = l_z + \Delta l$ , де  $\Delta l$  – відстань між торцями заготовок і;
- при подаванні заготовок доріжкою  $l_{ш} = l_c$  ;
- при подаванні каскадом  $l_{ш} = l_z + l_{пер}$ , де  $l_{пер}$  – величина перебігу шибєра, що встановлюється конструктивно.



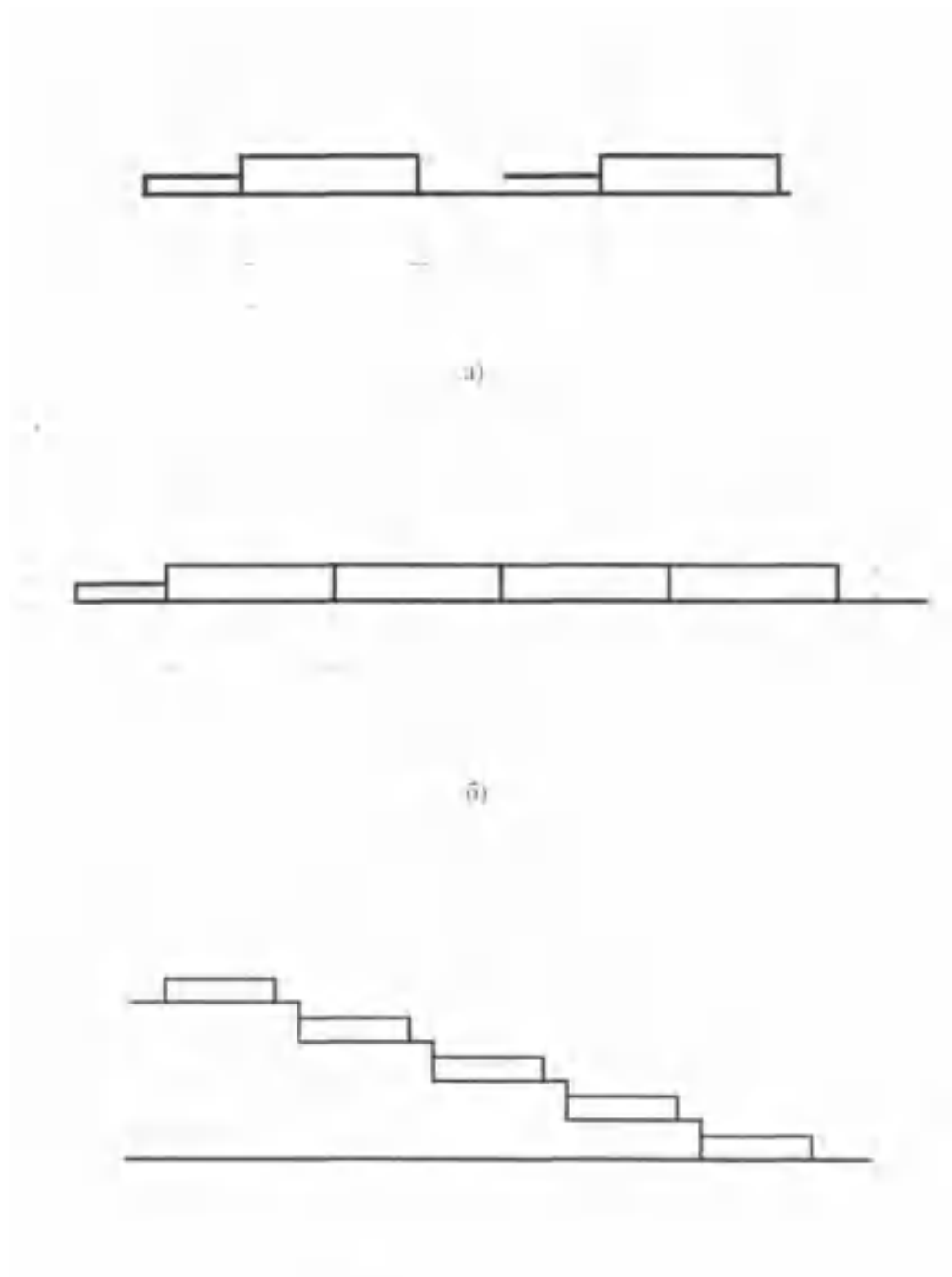


Рисунок 5.6. Схеми подавання заготовок шибєрним живильником

Питання про використання того чи іншого методу завантаження в кожному конкретному випадку вирішується залежно від його можливостей, місцевих умов і економічної доцільності.

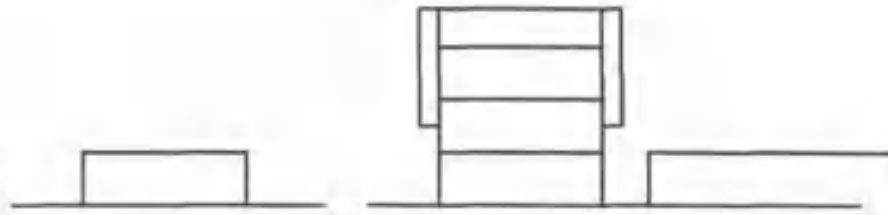
Револьверні живильники найефективніше використовують при виконанні на одній операції двох і більше переходів для подавання плоских ПО товщиною

більше 0,5 мм і об'ємних діаметром до 60 мм. Вихідними технологічними даними, що визначають конструкцію живильника, є: характеристика ПО – конфігурація, розміри, точність виготовлення, серійність випуску, вид технологічної операції і переходів; характеристика технологічної машини – число ходів або кількість обертів за хвилину, закрита висота (між повзуном або шпинделем і столом), величина ходу повзуна або шпинделя; дійсна продуктивність (необхідна), що дорівнює числу ПО, яке обробляється за одиницю часу при реальних умовах експлуатації.

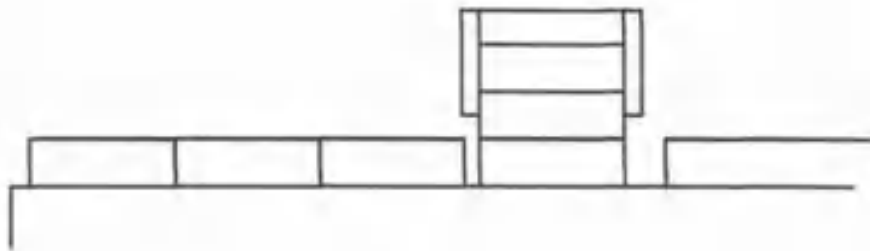
Необхідно встановлювати раціональний закон руху, щоб на початку руху шибера мав найменшу швидкість і плавне інтенсивне підвищення швидкості після взаємодії з ПО та отримував найбільший позитивний приріст прискорення.

Нормальними критеріями для вибору раціонального закону руху шибера є: мінімальне значення величини максимальної швидкості шибера, найбільша величина його позитивного прискорення, найменша величина його негативного прискорення, плавна зміна швидкостей та прискорення, нульове значення швидкостей і прискорень на границях інтервалу робочого переміщення.

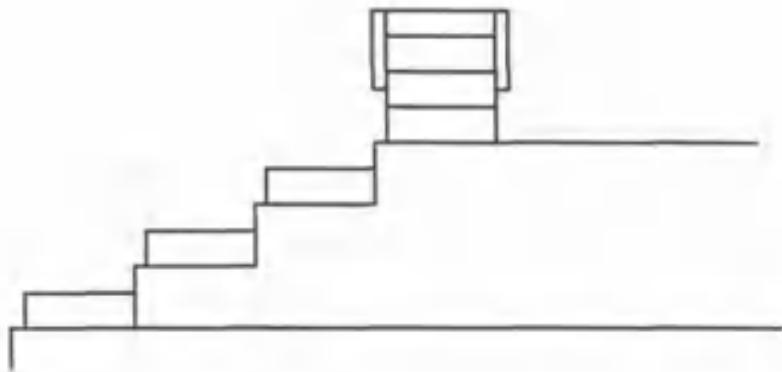
Подавання ПО шибера може відбуватися трьома способами: поштучно (рис.5.7а), доріжкою (рис.5.7б), ступінчасто (рис.5.7в)



а)



б)



в)

Рисунок 5.7. Схеми способів подавання ПО: 1–шибер; 2– ПОЗ; 3–магазин

Грейферні живильники використовуються в масовому і крупносерійному виробництвах, в основному при штампуванні для подавання в орієнтованому положенні плоских й пустотілих ПО при багатоперехідній обробці в

послідовному штампі або багатопозиційному пресавтоматі й при багатоопераційній обробці на кількох, в один ряд розміщених, технологічних апаратах.

В останньому випадку може бути використане обладнання для різноманітних видів обробки: штампування, обробки різанням, зварки, складання та ін.

Робочий орган живильника – грейферні лінійки – можуть створювати рух трьох видів: однокоординатний (зворотно-поступальний в одній площині); двокоординатний (в одній або двох взаємно перпендикулярних площинах); трикоординатний (по трьох площинах).

Для отримання будь-якої продукції необхідна наявність трьох компонентів: потоку матеріалів, потоку енергії і потоку інформації. При взаємопов'язаному функціонуванні цих трьох потоків стає можливим закінченість технологічних операцій, виконуваних на одному робочому місці, внаслідок яких змінюються розміри предметів обробки, їх якісні характеристики, координати розміщення в просторі і т.д. [1].

Проте в дискретних технологічних процесах невід'ємним є повторення технологічних операцій через деякий проміжок часу, внаслідок чого виникає необхідність у так званих допоміжних переходах – закінченій частині технологічних операцій, які виконує людина або обладнання, які не супроводжуються зміною властивостей предмета обробки, проте без яких неможливе виконання технологічного переходу. Серед допоміжних переходів під час подачі заготовки в робочу зону можна виділити 2 етапи:

1. Періодичне завантаження, коли здійснюється відокремлення однієї заготовки від стопи з наступним переведенням предмета обробки з хаотичного положення в орієнтоване;
2. Живлення, під час якого відбувається переміщення предмета обробки на робочу позицію, кінцева орієнтація та укладка заготовки в робочу зону.

Крім того, при автоматизації подачі штучних заготовок, особливо

тонколистових, потрібне вирішення ряду завдань, пов'язаних з розпушенням листів у стопі, ліквідацією подачі здвоєних заготовок і т.п. Аналіз стану сучасного виробництва показує, що в багатьох випадках продуктивність обладнання обробки тонких листів лімітується не швидкістю їх перетворення в готові вироби, а тривалістю операцій транспортування, завантаження і розвантаження, які визначаються ступенем автоматизації та досконалістю конструкцій завантажувально-розвантажувальних пристроїв.

Автоматизація завантаження технологічного обладнання листовими заготовками займає особливе місце в загальному комплексі завдань із автоматизації виробничих процесів і є однією із найскладніших. Висока продуктивність автоматизованого робочого обладнання досягається тільки в тому випадку, якщо живильники з високою надійністю забезпечують подачу необхідної кількості заготовок. При великій різноманітності застосовуваних у транспортних пристроях захоплюючих пристроїв, найефективнішим є поєднання в них таких якостей, як відділення й транспортування. З подальшим розробленням нових конструкцій, доцільним було б зберегти ці можливості технологічних машин, підвищити їх універсальність.

Характер силової взаємодії потоку повітря й твердого тіла проявляються у виникненні реактивної та притягуючої сил, в'язкого тертя, що дозволяє створювати нові ефективні пневматичні завантажувальні пристрої для здійснення поштучного завантаження й орієнтації деталей.

Пневматичні живильники складальних машин при роботі з тонколистовими заготовками, в тому числі з гофрованими та з заготовками, що містять отвори, відрізняються універсальністю, безперервністю процесу завантаження, надійністю, а також продуктивністю, що перевищує 3 шт/сек. Основні захоплювальні елементи цих живильників побудовані на використанні як основного робочого середовища – стисненого повітря, що витікає із сопла з розвиненою поверхнею торця у вигляді струменя повітря, що й створює притягуючу дію у струменевих захоплювачах. Метою розрахунку струменевих захоплювачів, зокрема й живильників, є визначення залежності

між властивостями витікаючого із сопла й сформованого ним струменя повітря та зовнішніх сил, які протидіють притягуванню заготовок.

Струменевий елемент сопло – отвір у порівнянні з вакуумним має ряд переваг, таких як відділення заготовки від стопи на певній відстані (8-15 мм), що виключає контакт деталь – захоплювач і, як наслідок, наявність ущільнення цього контакту, а також силові характеристики до 30-40Н. Видалення заготовки із зони притягування здійснюється на повітряній подушці шляхом нахилу захоплювача на певний кут, або із застосуванням неперервних обертів фрикційних роликів, периферія яких перебуває над площиною захоплювача вище товщини повітряної подушки. Надійність відділення заготовок зверху стопи при нерухомо встановлених захоплювальних елементах забезпечується за допомогою сигналу дискретної подачі столу з високою частотою і малим кроком переміщень, при якій заготовці в момент знімання забезпечується максимальна швидкість.

Струменеві елементи з конічною кільцевою щілиною на власному торці використовуються для відділення і транспортування тонколистових заготовок у широкому діапазоні конструктивних розмірів, маси, товщини й інших параметрів, і від елементів сопло – отвір відрізняються вантажопідйомністю до 150 Н і більше та максимальною зоною протягування до 0,045 м.

Пневматичні струменеві живильники для тонколистових заготовок (рис. 5.8) містять струменеві елементи 1 із розташуванням у першому випадку перпендикулярно одного отвору сопла (рис. 5.8а), у другому випадку – перпендикулярно площини заготовки кількох сопел 3 (рис. 5.8в).

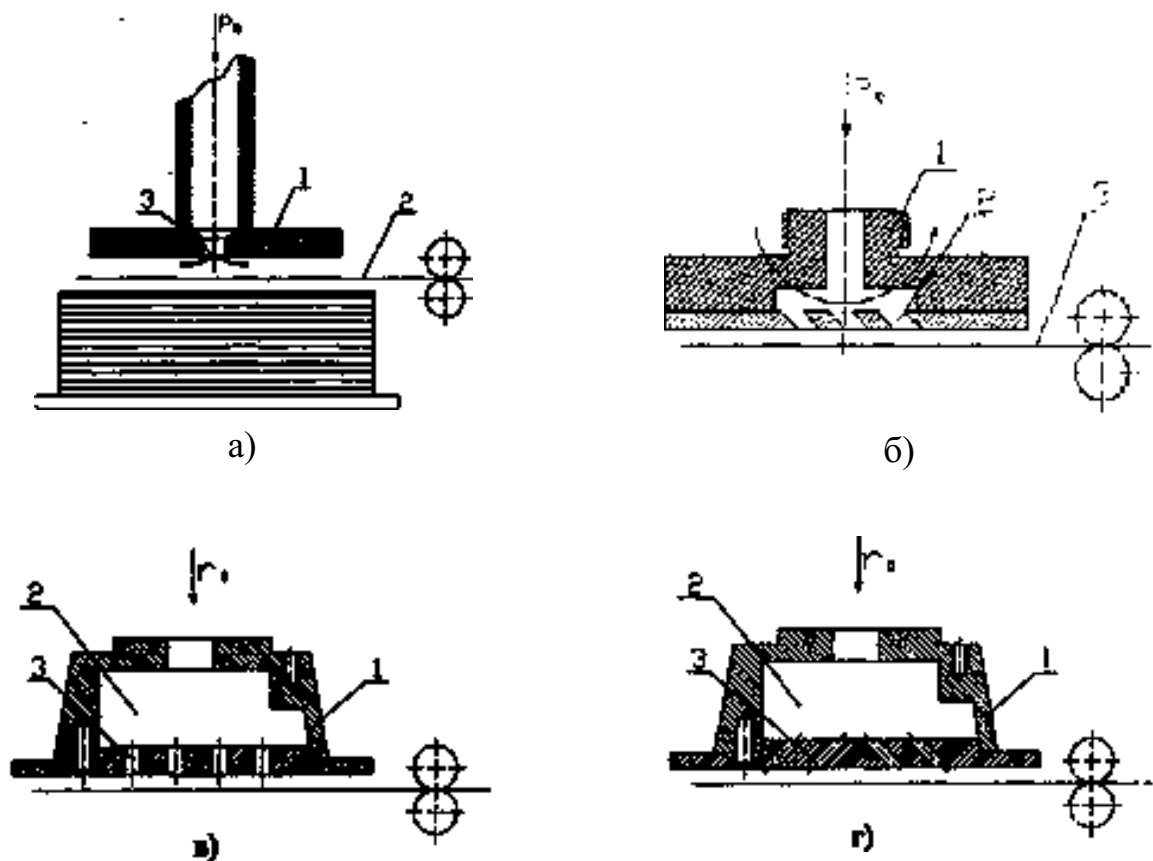


Рисунок 5.8. Конструктивні схеми пневматичних струменевих живильників:

- а – перпендикулярне розташування до площини заготовки одного отвору сопла;
- б – розташування до площини заготовки кількох направлених під кутом отворів-сопел;
- в – перпендикулярне розташування до площини заготовки кількох сопел;
- г – розташування до площини заготовки декількох отворів-сопел, направлених під різними кутами

Струменеві захоплювальні елементи притягують заготовку 2 з певної відстані й утримують її (рис 5.8а). У площині притягування вона плаває на повітряній подушці, а її переміщення вбік приймальних роликів може досягатися або силами тертя повітряного потоку шляхом нахилу елемента на кут  $\alpha$ , або за допомогою механічних пристроїв (штовхача, фрикційних роликів).

На рис. 5.8б зображено живильник 1, на торці якого виконано кілька направлених під кутом  $\alpha$  отворів-сопел 2, за допомогою яких заготовка під дією

аеродинамічного ефекту відділяється від стопи й силами тертя повітряної подушки подається в бік приймальних роликів. Повертаючи елемент навколо власної осі, можна змінювати напрямки транспортування заготовки.

Схематичне відображення поштучного відділення плоских заготовок струменевими присосами як згори, так і знизу стопи з подальшою орієнтацією і транспортуванням на робочу позицію, зображено на рис. 5.9.

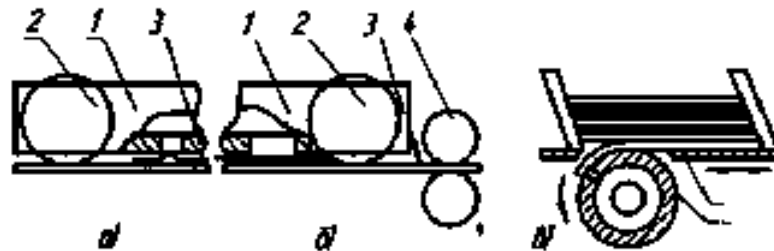


Рисунок 5.9. Схеми струменевих механізмів поштучного відділення листових заготовок: а) вертикальним; б) горизонтальним; в) відносно торця напрямком виходу струменя

Заготовка до торця присоса притягується з певної відстані від нього за допомогою нерухомого струменевого елемента з вертикальним (рис.5.9а) або горизонтальним (рис.5.9б) відносно торця напрямком виходу струменя. Струменевий присос 1 (рис.5.9а,б) утримує заготовку 3 на власному торці в нормальному до її площини напрямку. Видалення заготовки із зони присмоктування виконується фрикційними, безперервно обертовими роликами 2 з периферією над площиною присоса вище від товщини повітряної подушки. Подавання стопи в зону дії присмоктувальної сили при нерухомо встановлених присосах забезпечується за допомогою дискретного подавання стола з високою частотою і малим кроком переміщення, при якій заготовці на момент зняття забезпечується максимальна початкова швидкість.

При відділенні заготовки знизу стопи пристрій відділення листів може працювати за схемою (рис. 5.9в). Дно магазину 1 спільно з обертовим циліндром 2 виконує зворотно-поступовий рух. У циліндрах зроблено отвори-



сопла, до яких через пневматичну систему подається стиснене повітря. Притягнута до обертового живильника на момент виходу струменя заготовка вилучається з-під стопи і виноситься на робочу позицію.

У живильнику (рис.5.10а) над горизонтальним стапельним столом 1 жорстко встановлено пустотілий циліндричний золотник 3 із радіальними отворами-соплами 4, під'єднаними до джерела стисненого повітря. Отвори 4 спрямовані перпендикулярно до стопи 2 і з'єднують з атмосферою внутрішню порожнину 5. Золотник 3 вільно охоплюється обертово-рухомим циліндричним корпусом 6, у тілі якого виконані наскрізні секторні вікна 7. Корпус 6 кінематично пов'язаний із приводом робочої машини. На зовнішньому контурі корпусу 6 нерухомо встановлені фрикційні кільця 8.

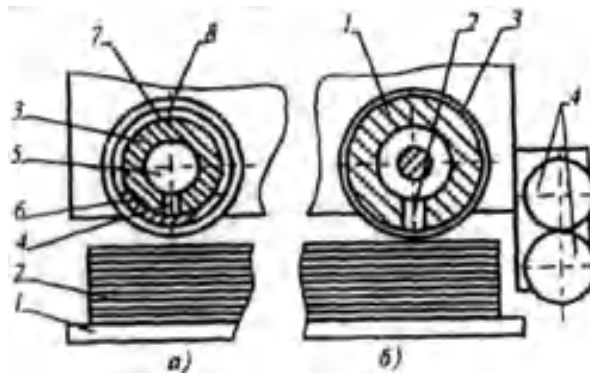


Рисунок 5.10. Струменево-фрикційні пристрої відділення тонких листів від пачки

В якості струменевих елементів живильників можна використати постійно обертовий золотник 1 (рис.5.10б) з радіальними отворами, який для транспортування у власній площині охоплений фрикційними роликами.

У напрямку подавання листів встановлено приймальні безперервно обертові ролики 4. Живильники працюють так. Стиснене повітря від мережі подається до внутрішньої порожнини 5 золотників. Стапельному столу 1 з підготовленою пачкою заготовок 2 надається вертикальне переміщення, а корпусові 6 (рис.5.10а) встановленими на ньому фрикційними кільцями 8 та рухомому золотникові 1 (рис.5.10,б) надається обертовий рух, синхронний із продуктивністю робочої машини. При обертанні рухомих частин живильника

(рис.5.10а) секторні вікна 7 збігаються з отворами-соплами 4 золотника 3, струмені повітря виходять із отворів 4 у простір між твірною поверхні корпуса 6 і горішньою заготовкою стопи 2, створюючи при цьому зону розрідження над її верхньою площиною.

Швидкодія такого механізму також визначається часом підняття заготовки до контакту з фрикційними кільцями 8 і часом транспортування у власній площині, залежно від швидкості обертання рухомих елементів.

Живильники, що втримують заготовку на торці (рис. 5.11а-д). На рис. 5.11а, зображено живильник 1 з перпендикулярним отвором-соплом 2 щодо площини заготовки 3 у поєднанні з нерухомими фрикційними елементами 4, що втримують заготовку на торці елемента. На рис. 5.11б і 5.11в показані живильники з вертикальною віссю розташування струменевого елемента щодо власного торця й постійно або періодично обертовими фрикційними дисками, периферія яких виступає нижче торців елементів на величину  $h > 0,3$  мм. У площині притягування заготовка плаває на повітряній подушці, а відділення заготовки з торця захвату (рис. 5.11в) здійснюється силами тертя обертових передніх фрикційних роликів 4; задні ролики 5 виконані рухомими й тільки підтримують заготовки у відносній рівновазі, забезпечуючи їхнє поштучне видавання. Кількість передніх і задніх роликів вибирається з умов теорії базування й може бути дорівнювати  $n > 3$ .

На рис. 5.11г – конструкція живильника аналогічна, але розташування струменевого елемента в сполученні із фрикційними роликами дозволяє подавати заготовку в зону притягування транспортним засобом у горизонтальному напрямку, а відділення заготовки з торця вертикально вгору або вниз проходить залежно від розташування робочого органу машини, способу орієнтації або іншої дії. З метою покращення аеродинамічних характеристик струменевого елемента, його торцеву поверхню можна виконувати з поліпшенням, наприклад, сферичної форми (рис. 5.11д), у зоні якої при витіканні струменя повітря з отвору з'являється розрідження  $P_v$ , що сприяє підвищенню аеродинамічного ефекту.

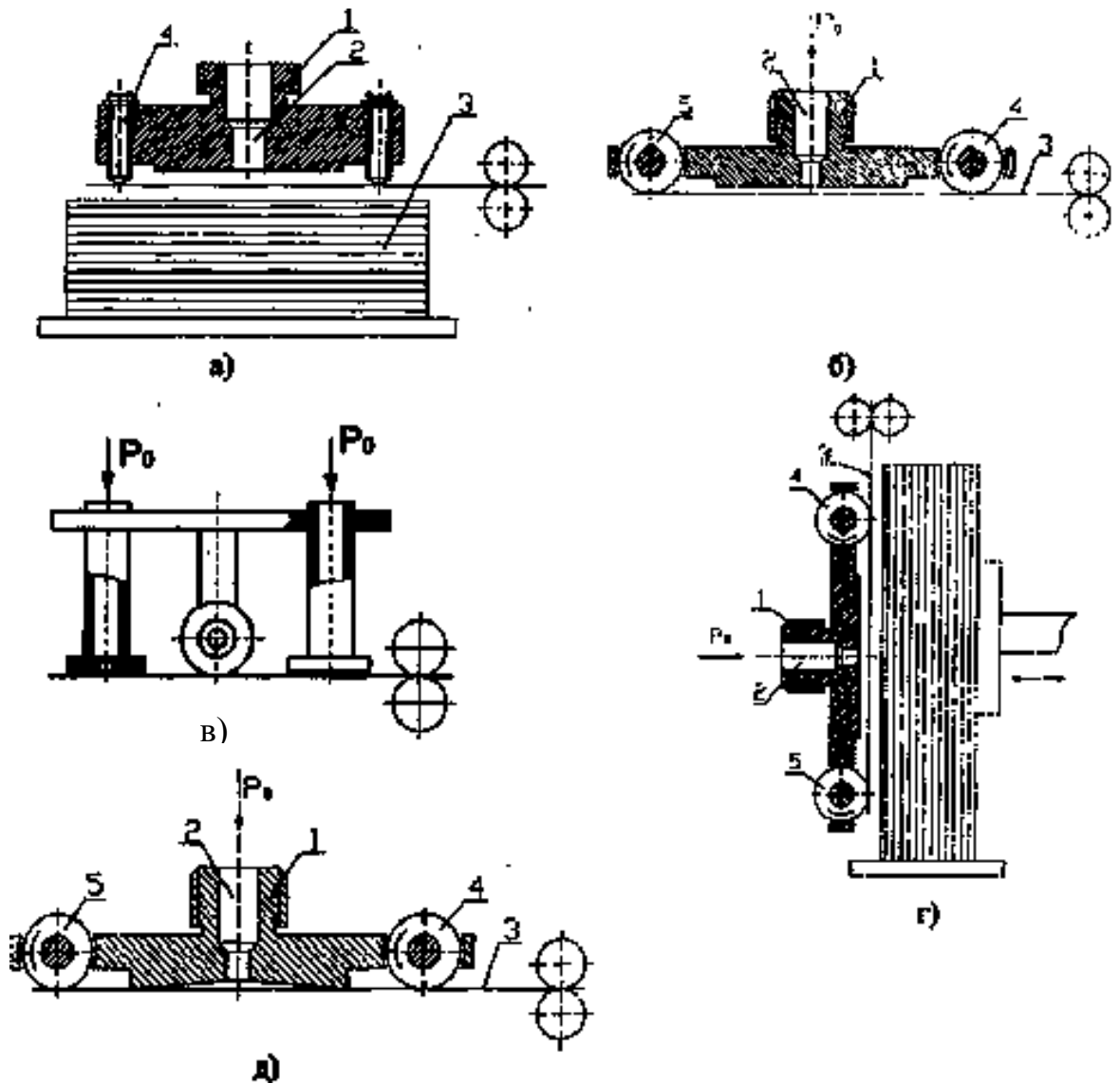


Рисунок 5.11. Конструктивні схеми живильників, що втримують заготовку на торці

Збільшенню сили притягування також сприяє горизонтальне розташування отворів-сопел (рис. 5.12а). При такому витіканні газових потоків із сопел відсутня реактивна сила струменя, що значно впливає на аеродинамічні властивості елемента живильника.

Важливим є синхронізація швидкості піднімання пачки й продуктивності поштучного відділення, досягти яку можна шляхом виконання струменевого захоплювача на рухомому плунжері золотника, постійно взаємодіючому з відокремлюваною заготовкою й керованому цією

заготовкою, що забезпечує незмінність сили притягування заготовки поза залежністю від положення стопи заготовок. Конструктивна схема такого живильника зображена на рис. 5.12б.

Струменево-фрикційний живильник для відділення заготовок масою більше 10Н зображений на рис. 5.12в. Конструкція цього пристрою базується на стаціонарно встановленому над стопою заготовок струменевому захоплювачі 1 зі струменевим елементом у вигляді кільцевої конічної щілини 2 на власному торці в сполученні з безпосередньо обертовими передніми 3 і задніми рухомими 4 роликami.

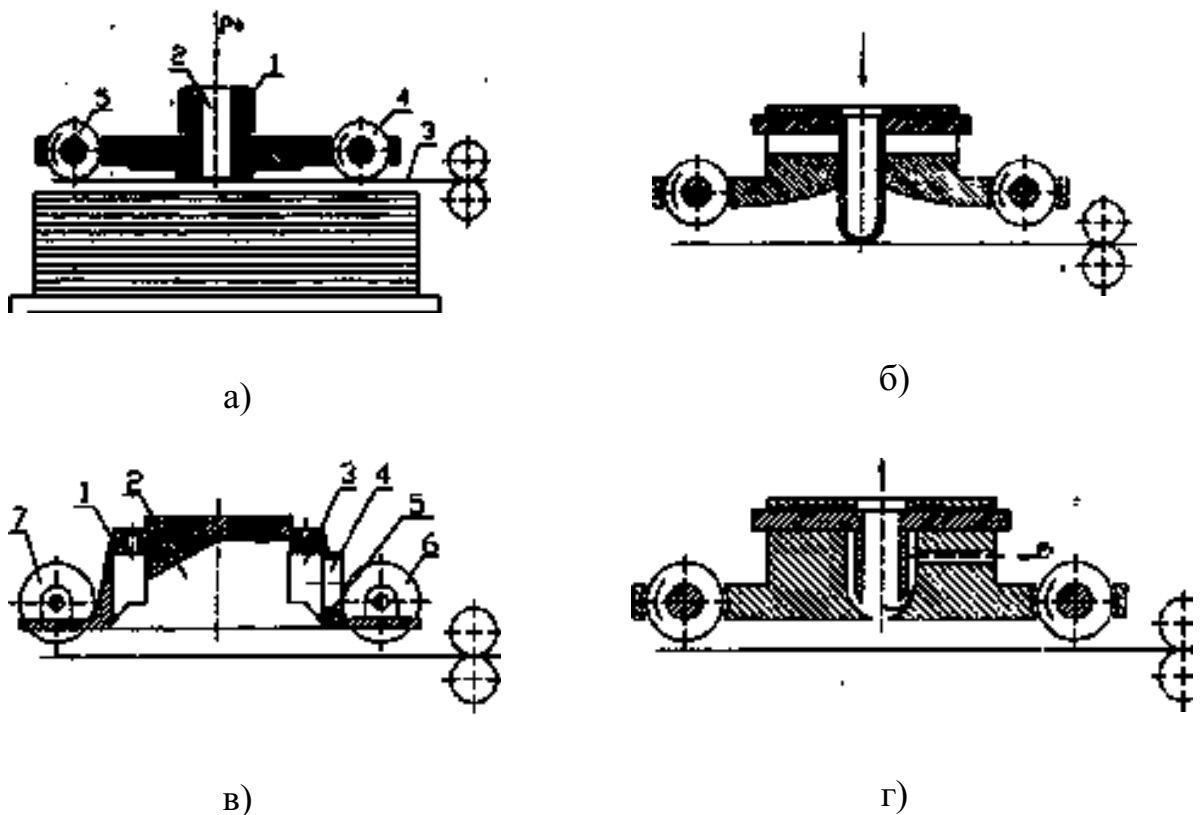


Рисунок 5.12. Конструктивні схеми живильників з горизонтальним розташування отворів-сопел

Для транспортування крихких і тонких заготовок призначено живильник, який зображено на рис. 5.13. Тут струменевий захоплювач 3 охоплений двома стрічками 1 і 2 з накладками, що рухаються назустріч одна одній, та періодично з певною швидкістю відкривають або закривають зону дії захоплювача над стопою, регулюючи в такий спосіб швидкість поштучного відділення.

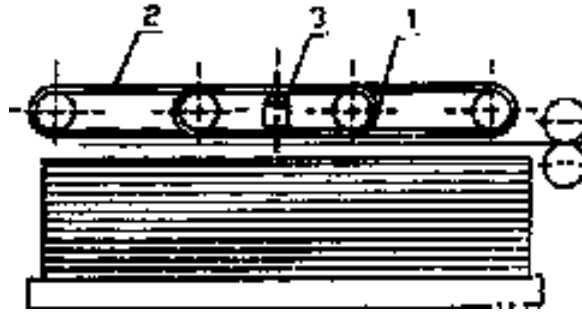


Рисунок 5.13. Конструктивна схема живильника для крихких заготовок

### **Вібраційні живильники.**

На рис. 5.14а зображено захоплювач, у якому видалення заготовки знизу стопи відбувається за допомогою повзуна 2 та захоплювачів 4, забезпечуючи можливість завантаження стопи 3 заготовками зверху без зупинки пристрою. З метою поліпшення процесу відділення заготовки з-під стопи повзун 2 оснащений пневматичним віброзбудувачем горизонтальних коливань 5.

Живильник (рис. 5.14б) відрізняється тим, що стопа заготовок 2 розміщена над обертовим столом 1 із секторним розташуванням на його торці струменевих елементів, що періодично під'єднується до джерела тиску. Подана до площини стола заготовка витягується з-під стопи при повороті стола.

На рис. 5.14в зображено струменево-вібраційний живильник, корпус 1 якого розміщений на вібраційному приводі 2, а отвори-сопла 3 кінематично пов'язані з камерою 4 привода через пневмоклапан 5. Утримання й видалення притягнутої до торця корпусу 1 заготовки 6 вбік приймальних роликів 7 відбувається в момент руху корпусу 1 вниз під дією пружини в той момент, коли повітря з камери 4 через клапан 5 надходить до сопел 3. Видалення проводиться силами тертя стікаючих з похилих сопел 3 струменів повітря або за допомогою обертових фрикційних роликів 8.

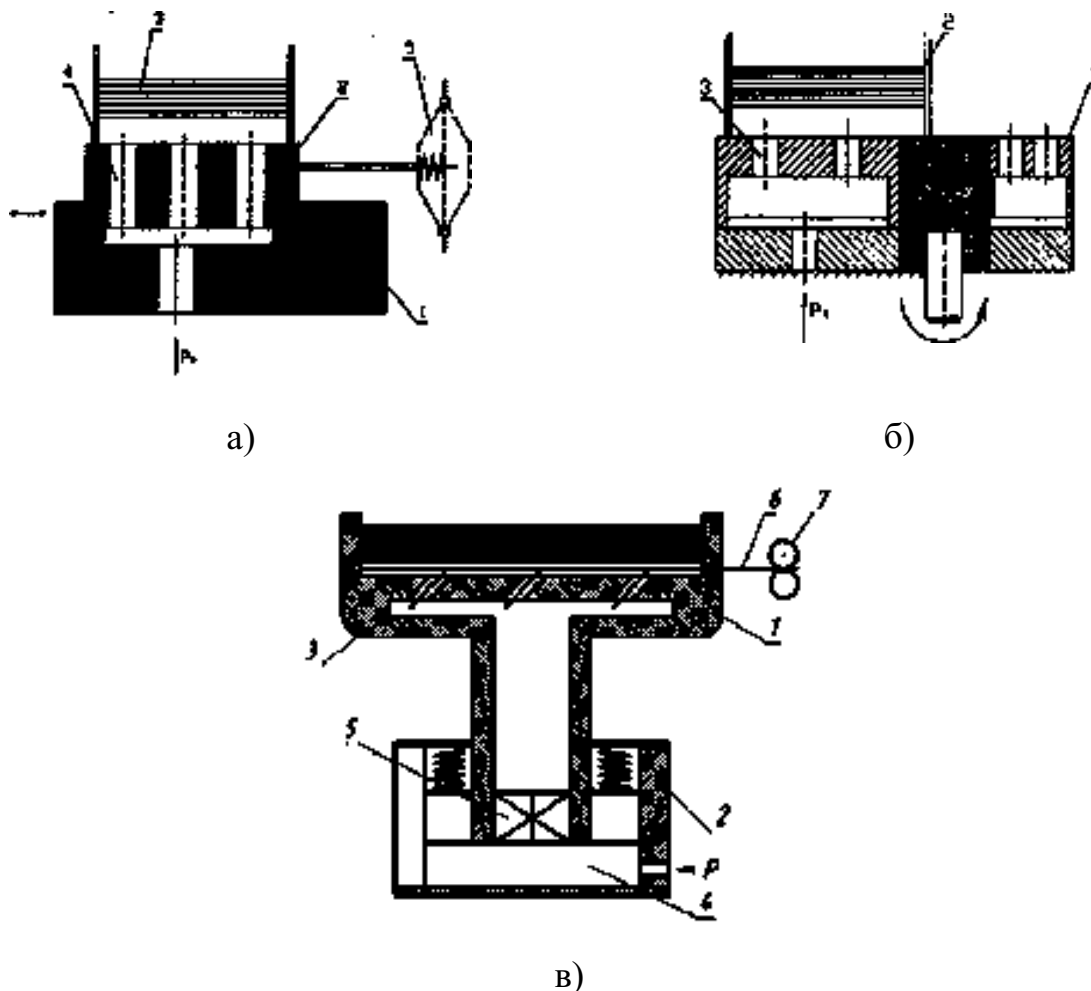


Рисунок 5.14. Конструктивні схеми вібраційних живильників

Проблему транспортування заготовок більших форматів у широкому діапазоні розмірів можна вирішити за допомогою пневматичного живильника, зображеного на рис 5.15а.

Живильник оснащений центральним 1 і кількома периферійними захоплювачами 2 (рис. 5.15б), що мають центральний механізм провороту й власні приводи радіального переміщення. Притягнена до торців захоплювачів заготовка транспортується у власній площині силами тертя виступаючих на торцеструменевому елементі штирів того захоплювача, у напрямку якого здійснюється робочий цикл виробничої машини. Інші захоплювачі здійснюють функцію підтримування заготовки у площині притягування під час транспортування.

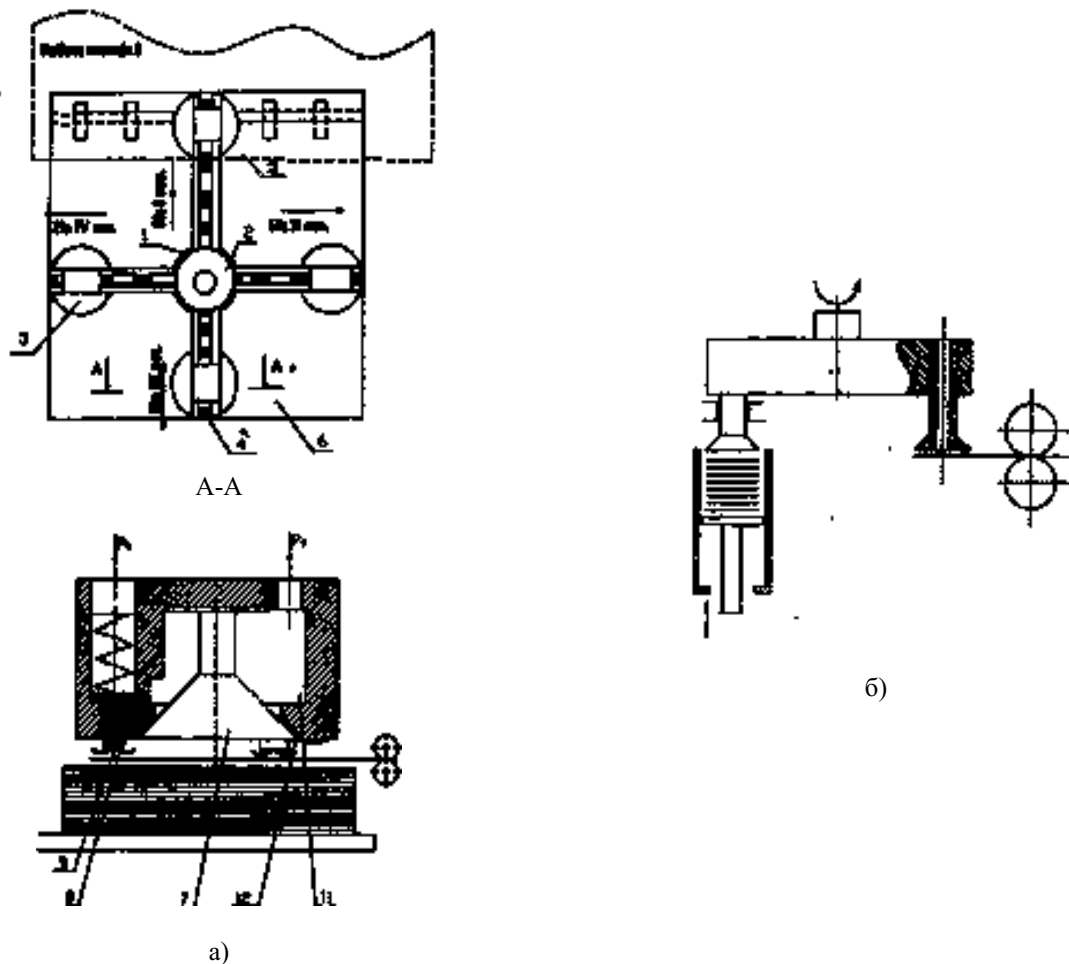


Рисунок 5.15. Конструктивні схеми пневматичних живильників:

- а) центральний механізм провороту;
- б) струменеві елементи якого розміщені на обертовому коромислі

Для поштучного видавання тонких пластин (наприклад, конденсаторної слюди) може використовуватися живильник (рис. 5.15б), струменеві елементи якого розміщені на обертовому коромислі. Знімання деталей відбувається з вертикальної стопи, що має постійний підйом пакета деталей за рахунок покрокового переміщення поршня.

Для поштучного видавання мініатюрних плоских деталей типу напівпровідникових кристалів можна використати спеціальний живильник, що заснований на явищі електризації робочого органу тертям. На рис. 5.16 транспортуючий орган живильника представляє диск 1, що при обертанні електризується шляхом тертя через індентор. Деталі з ємності захоплюються

обертотим дискот, фіксуються з певним кроком за рахунок електричного заряду й знімаються з диска струминним елементом 3 з певної відстані.

Надійне утримання кристалів має місце при напруженості електричного поля  $E > 4 \cdot 10^3$  В/м, що досягається при терті диска через металевий індентор із швидкістю не менше 0,075 об/с, причому знак заряду диска ніяк не впливає на роботу струменевого пристрою.

Поштучне видавання тонких пластин з немагнітних матеріалів можна виконувати за допомогою вібропневматичного пристрою, що складається з вібробункера і лінійного транспортуючого віброконвеєра, орган якого являє собою камеру з кришкою з мікропористого матеріалу. Деталі, що надходять із вібробункера на вхід віброконвеєра, притискаються до кришки камери й за рахунок спрямованих коливань лотка переміщуються в один шар до верхньої позиції розвантаження, звідки знімаються пневматичним захоплювачем маніпулятора. Нашаровування деталей при транспортуванні вгору неможливе через великий кут нахилу віброконвеєра (до  $60^\circ$ ), унаслідок чого пластинки верхнього шару зісковзують вниз під дією власної сили ваги. Вібротранспортування пластинок з великим нахилом забезпечується за рахунок дії виникаючого повітря, що створює додаткову силу підтискання деталі до поверхні лотка, яку можна регулювати залежно від маси транспортуючих деталей.

Упровадження нових автоматизованих методів для захоплення, орієнтації, транспортування заготовок із використанням пристроїв струменевої техніки, принцип роботи яких полягає у використанні ефекту виникнення підіймаючої сили при обтіканні струменем повітря, сформованим сопловими елементами, плоскої, циліндричної або сферичної поверхонь, перспективне при маніпулюванні нагрітими, крихкими, гнучкими, пофарбованими та іншим заготовками.



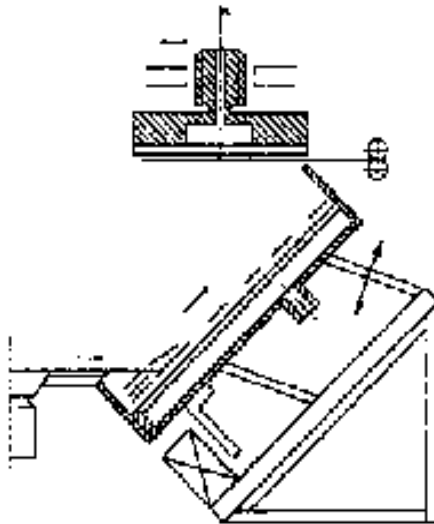


Рисунок 5.16. Конструктивна схема вібропневматичного пристрою

Перевагами струменевих захоплювальних пристроїв є забезпечення високої точності базування та орієнтації заготовок; наявність кращих динамічних характеристик в порівнянні з відомими захоплювачами; значно простіша та довговічніша конструкція.

## **6. ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ**

### **6.1. Терміни, визначення та класифікація промислових робіт**

Промислові роботи (ПР) відносяться до великого класу машин, які використовуються для автоматизації виробництва. Складовою їх є маніпулятор, призначений для імітації рухів та робочих функцій руки людини і який керується оператором або діє автоматично. Маніпулятори бувають біотехнічні та автоматичні, до їх структурної схеми входять задаючий, виконавчий, зв'язковий та робочий органи. Окрема частина робочого органу, що виконана у вигляді захоплювачів різного типу, інструментів, давачів та ін., призначена для виконання технологічних завдань маніпулятора. До числа автоматичних маніпуляторів (АМ) можна віднести автооператори (А), промислові роботи (ПР) та маніпулятори з інтерактивним керуванням. До структурної схеми АМ входить:

- система програмного керування (СПК), що має функції програмування, збереження керуючої програми, її відображення та відпрацювання;
- інформаційна система (ІС), яка забезпечує збір, первинну обробку і передавання в систему керування даних про функціональний стан вузлів і механізмів АМ;
- механічна система (МС), яка забезпечує виконання рухових функцій та реалізацію технологічного призначення маніпулятора. Конструктивно ця система складається з основної несучої конструкції приводу, передавальних і виконавчих механізмів, захоплюючих пристроїв.

Промисловий робот ПР є не що інше, як перепрограмовуваний автоматичний маніпулятор промислового призначення, який дає можливість автоматизувати не тільки основні, але й допоміжні технологічні операції. Основне призначення ПР – це переміщення в просторі об'єктів маніпулювання, до яких відносяться заготовки, деталі, захоплювальні пристрої, допоміжний,

вимірювальний або оброблювальний інструмент. Структурна схема ПР, основні елементи конструкції та види рухів робочих органів зображено на рис.6.1.

Залежно від конструктивної схеми МС рука ПР і М може знаходитися в робочому об'ємі, що має ту чи іншу форму, а її рухи здійснюються в різноманітних системах координат.

*Система координатних переміщень* (система координат) ПР визначає кінематику основних рухів і форму робочої зони. До основних рухів належать усі рухи МС без врахування рухів захвату (затиску) деталі, що орієнтують рухи і додаткові переміщення основи ПР.

*Системи координат* (рис.6.2) бувають двох видів: прямокутні й криволінійні.

В прямокутній системі координат (плоска і просторова) об'єкт маніпулювання вміщається в певну точку простору Р шляхом прямолінійних переміщень ланок механічної системи ПР по трьох (або двох) взаємно перпендикулярних осях.

У криволінійній системі координат найпоширеніші координати: плоскі полярні (переміщення об'єкта відбувається в одній координатній площині в напрямку радіус-вектора  $r$  і кута  $\varphi$ ); циліндричні, що характеризуються переміщенням об'єкта в основній координатній площині в напрямках  $r$  і  $\varphi$ , а також по нормалі до неї  $z$ ; сферичні (полярні), де переміщення об'єкта маніпулювання в просторі здійснюється за рахунок лінійного переміщення руки ПР на величину  $r$  і її кутових переміщень  $\varphi$  і  $\theta$  у двох взаємно перпендикулярних площинах.

Різновидністю криволінійної системи є ангулярна (кутова) плоска чи просторова (циліндрична і сферична) система координат, яка характерна для рухів багатоланкових шарнірних рук ПР і М.

В ангулярній плоскій системі координат об'єкт маніпулювання переміщається в координатній площині завдяки відносним поворотам ланок руки, які мають постійну довжину. Ангулярна циліндрична система характеризується додатковим зміщенням відносно основної координатної

площини в напрямку перпендикулярної до неї координати  $z$ . В ангулярній сферичній системі координат переміщення об'єкта у просторі відбувається тільки за рахунок відносних кутових поворотів ланок руки, при цьому хоча б одна ланка має можливість повороту на кути  $\varphi$  і  $\theta$  у двох взаємно перпендикулярних площинах.

Систем координат і приклади відповідних до них структурних кінематичних схем ПР зображено на рис.6.2.

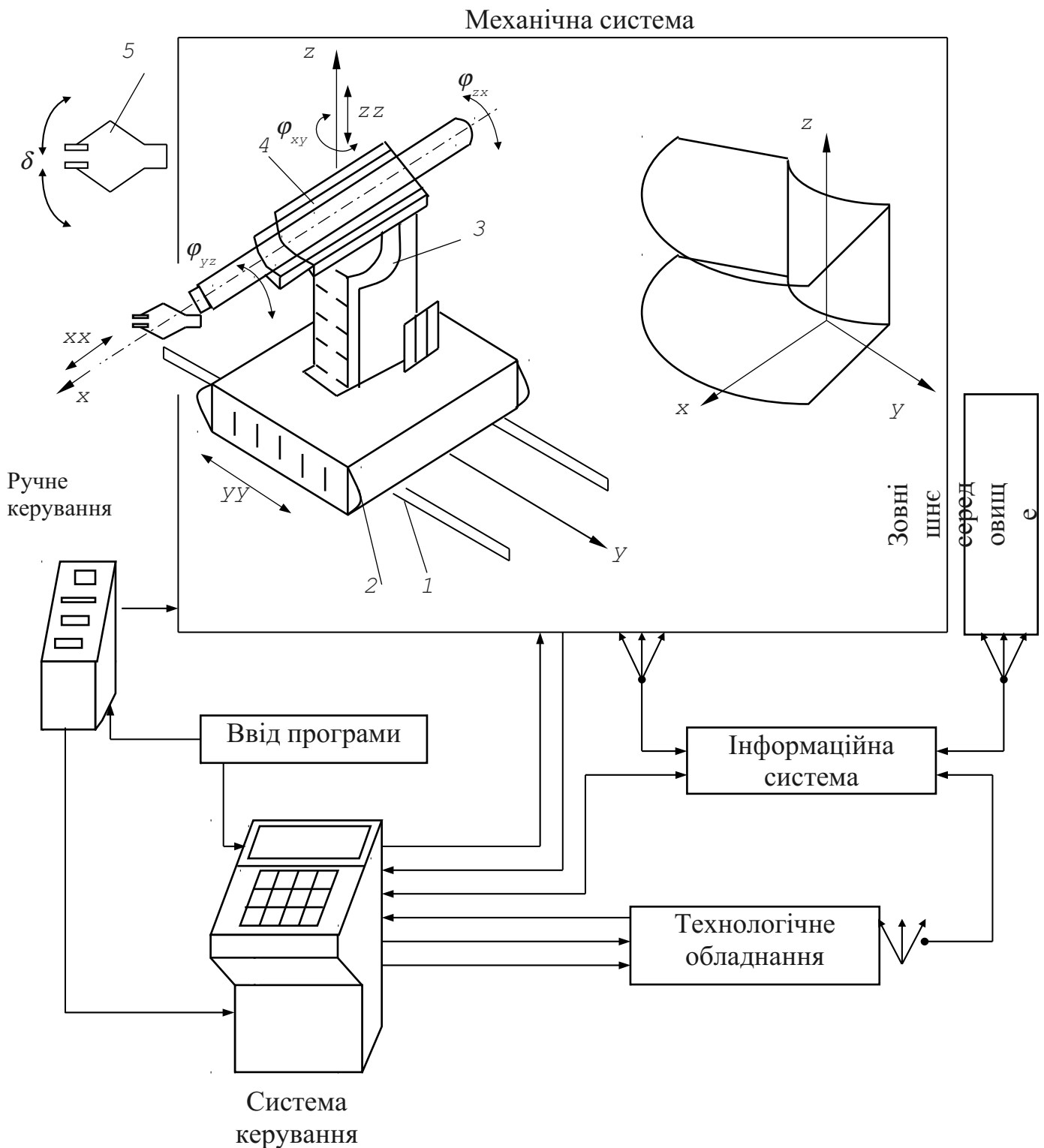
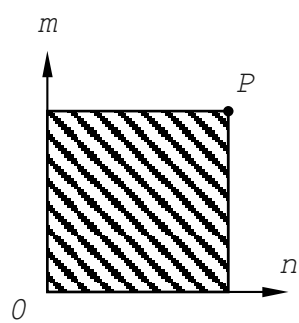
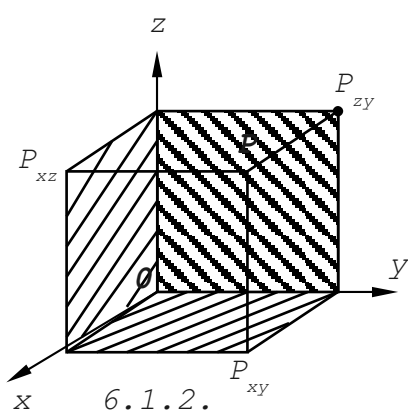


Рисунок 6.1: Структурна схема автоматичного маніпулятора:

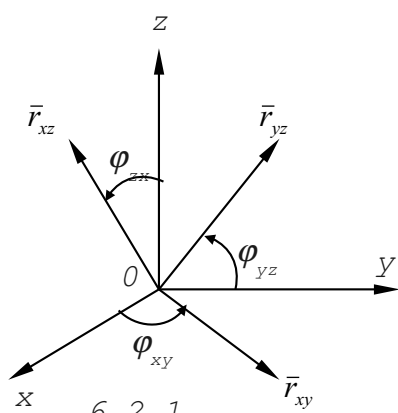
1 – шляхопровід; 2 – основа; 3 – корпус; 4 – рука; 5 – захоплювальний пристрій; 6 – робоча зона та система координат основних рухів ПР;  $xx$  – напрям руху руки за поздовжньою віссю;  $yy$  – напрям руху робота по шляховому проводу;  $zz$  – напрям руху руки вгору – вниз;  $\varphi_{xy}$  – кут повороту ПР навколо вертикальної осі  $zz$ ;  $\varphi_{xz}$  – кут повороту руки у вертикальній площині;  $\varphi_{yz}$  – кут повороту захоплювача відносно осі  $xx$ ;  $\delta$  – напрям затиску заготовки;  $xx, zz$  – напрям транспортуючих рухів;  $yy$  – координатний рух



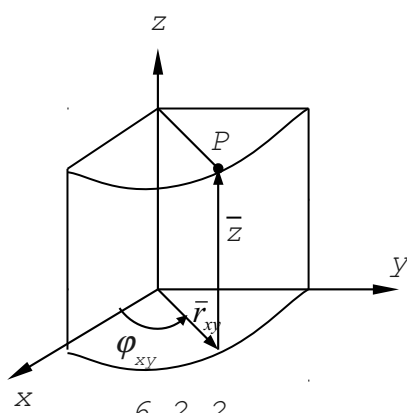
6.1.1.1.



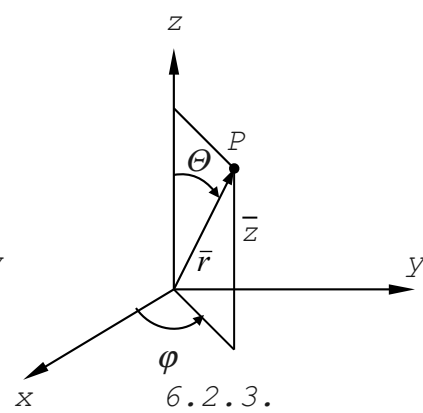
6.1.1.2.



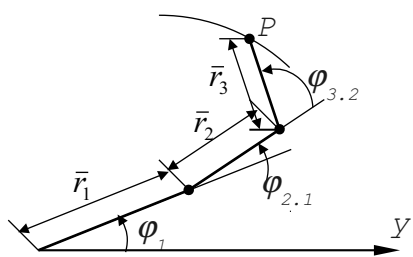
6.2.1.1.



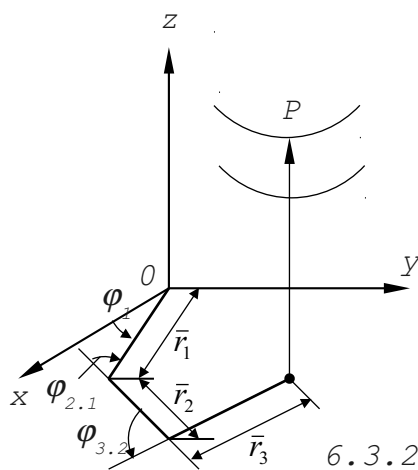
6.2.1.2.



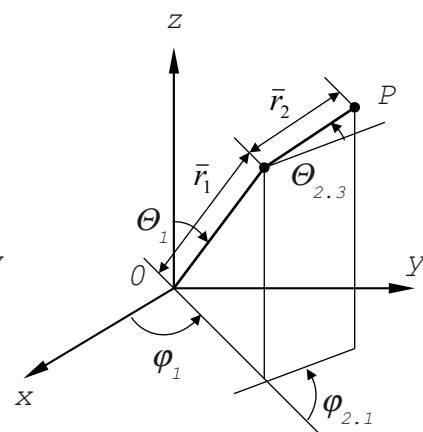
6.2.1.3.



6.3.1.1.



6.3.1.2.



6.3.1.3.

a)

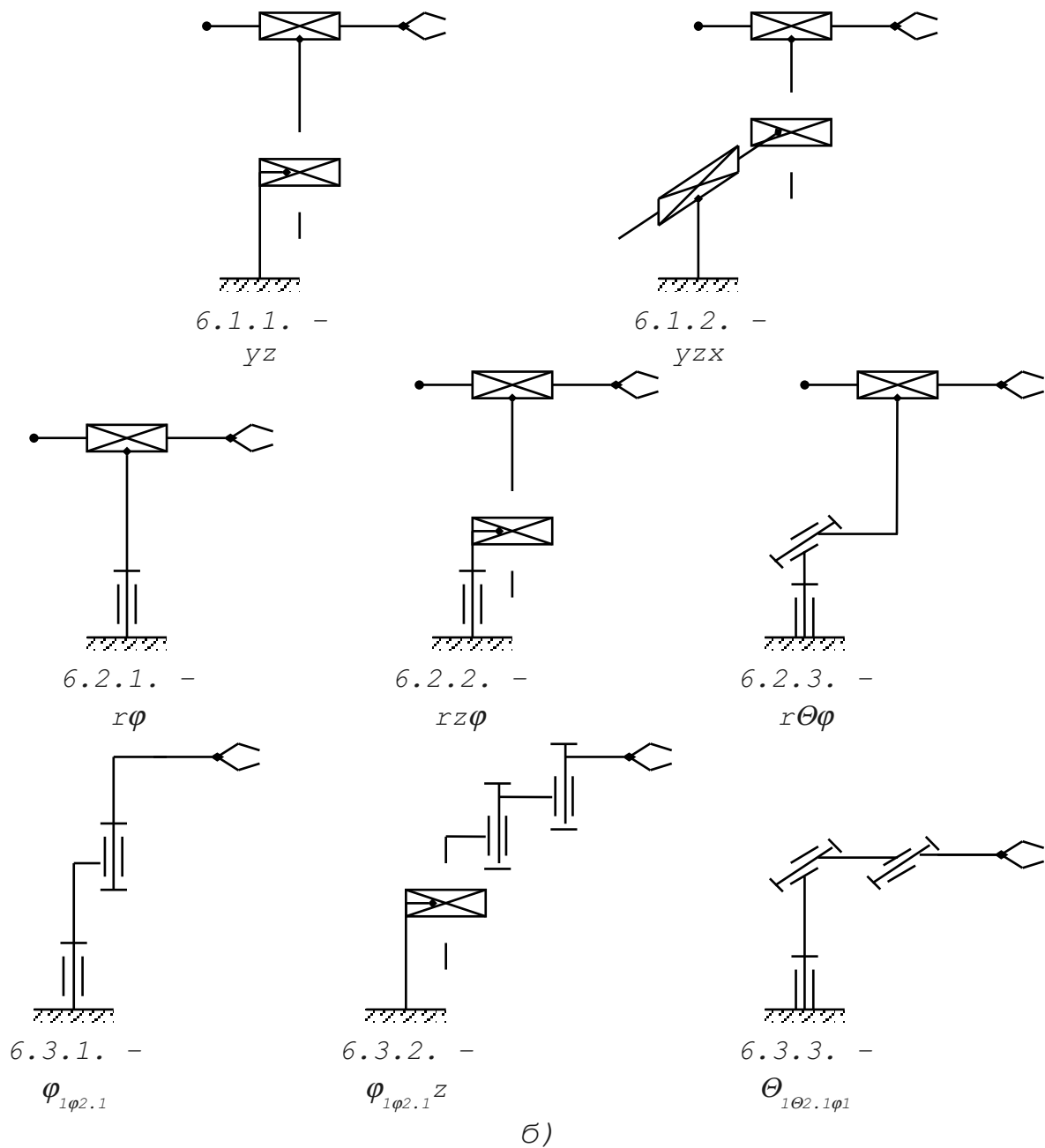


Рисунок 6.2. Системи основних координат переміщень ланок механічної системи маніпуляторів і промислових роботів (а) та відповідні їм приклади структурних кінематичних схем (б)

**Позначення:** 6.1.1 – прямокутна плоска система координат; 6.1.2 – прямокутна просторова система координат; 6.2.1, 6.2.2, 6.2.3 – полярні системи координат, відповідно плоска, циліндрична та сферична; 6.3.1, 6.3.2, 6.3.3 – ангулярні системи координат відповідно плоска, циліндрична і сферична

За призначенням роботи можна поділити на декілька груп, з яких клас ПР складають роботи, призначені для автоматизації процесів і операцій у машинобудуванні (рис.6.3).

За характером виконуваних операцій всі ПР поділяють на три групи, що мають різні виробничо-технологічні ознаки:

1. Виробничі (технологічні) роботи (ВПР) виконують основні операції технологічного процесу. Вони безпосередньо беруть участь у технологічному процесі в якості виробничих чи оброблювальних машин, що виконують такі операції, як згинання, зварювання, фарбування, складання і т.п.

2. Підйомно-транспортні (допоміжні) роботи (ПТПР) виконують дії типу взяти – перенести – покласти. Їх застосовують при обслуговуванні основного технологічного обладнання для автоматизації додаткових операцій встановлення – зняття заготовок, деталей, інструменту, очищення баз деталей і обладнання, живлення транспортерів, а також на транспортно-складальних та інших операціях.

3. Універсальні роботи (УПР) виконують різні технологічні операції – основні і допоміжні, тобто вони поєднують у собі ознаки двох перших груп.

Треба відзначити, що даний термін характеризує ПР як за характером виконуваних операцій, так і за ступенем спеціалізації.

За ступенем спеціалізації підйомно-транспортні чи виробничі ПР поділяють на спеціальні, цільові (спеціалізовані) й багатоцільові. Функціональні можливості спеціального ПР дозволяють йому виконувати визначену технологічну операцію або обслуговувати конкретну модель основного технологічного обладнання. Цільові (спеціалізовані) ПР призначені для виконання технологічних операцій одного виду (зварювання, фарбування, складання, штабелювання і т.п.) чи для обслуговування широкої номенклатури моделей основного технологічного обладнання, що поєднані загальністю маніпуляційних дій. Багатоцільові ПР призначені для виконання різних основних чи допоміжних операцій, у тому числі й тих, які вимагають різних прийомів для свого виконання.



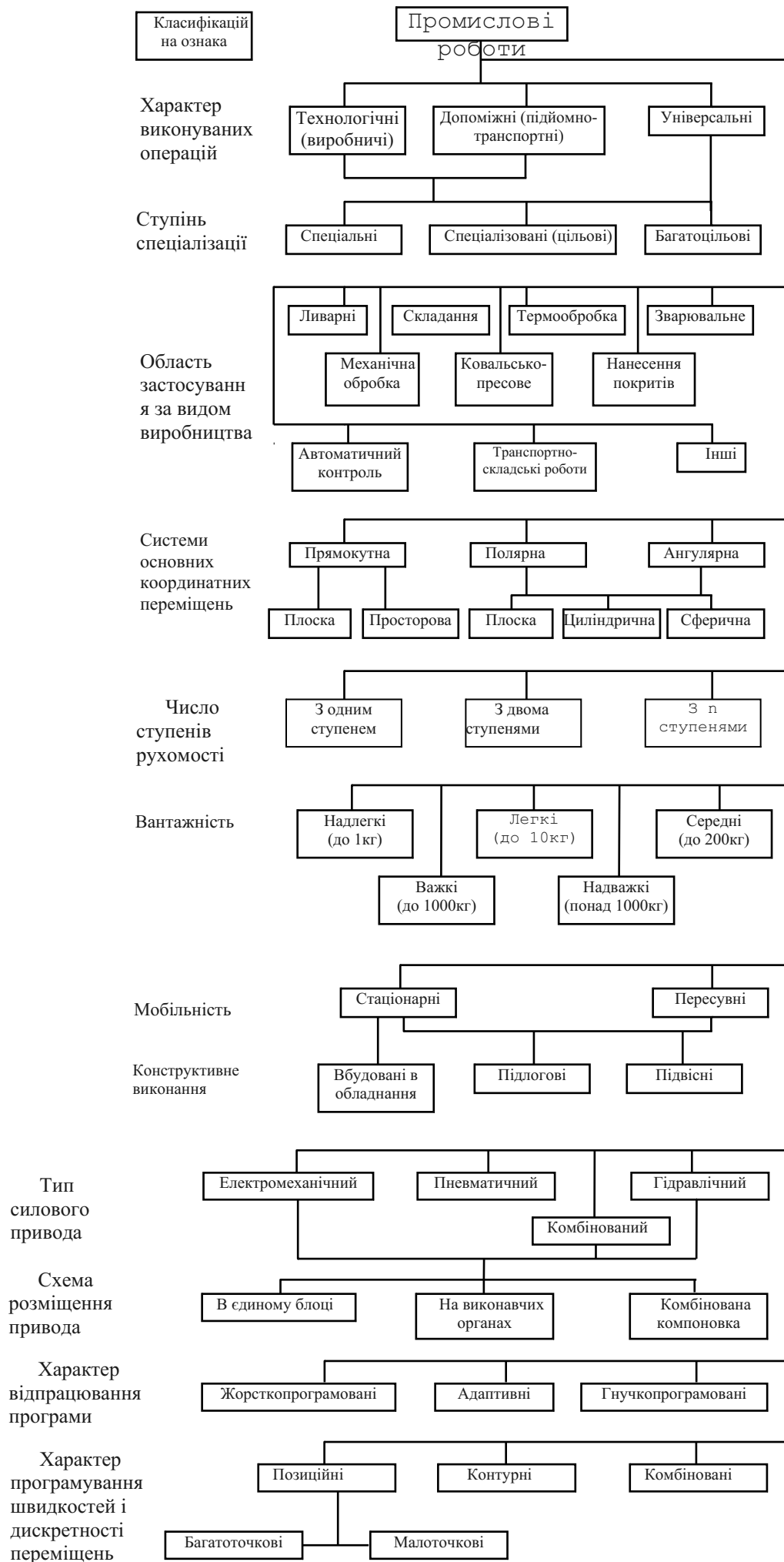


Рисунок 6.3. Класифікація промислових роботів

Функціональні можливості ПР у більшості визначаються типом СПУ і характером відпрацювання програм. Більшість ПР, що використовуються, відносяться до числа жорстко програмуємих, програма дій котрих містить повний набір інформації, що не змінюється в процесі роботи.

Адаптивні ПР здійснюють свої дії з використанням інформації про об'єкти явища зовнішнього середовища, мають сенсорне забезпечення, що дозволяє коректувати керуючу програму.

Гнучко програмовані (інтегральні) ПР здатні формувати програму своїх дій на основі поставленої мети й інформації про об'єкти і явища зовнішнього середовища.

У ПР застосовується три типи СПУ, що класифікуються у відповідності з характером і дискретністю переміщень ступенів рухомості, – позиційні (від точки до точки), контурні (по неперервній траєкторії) і комбіновані.

За типом представлення задаючої інформації СПУ можна поділити на циклові (ЦПУ), аналогові (АПУ), числові (ЧПУ) і аналого-числові (гібридні).

Роботи з ЦПУ є найпростішими типами позиційних ПР. Програма систем ЦПУ містить інформацію про послідовність переміщень виконавчих механізмів ПР або про послідовність і швидкість; шляхи їх переміщень задаються налаштуванням упорів, що діють на кінцеві перемикачі.

В аналогових СПУ інформація задається у вигляді неперервно змінюючих значень фізичних (аналогових) величин. У системах ЧПУ (позиційних чи контурних) інформація представлена у вигляді цифрових кодів, що зберігаються на швидкозмінному носії. В гібридних (аналого-числових) СПУ можуть використовуватись різні способи представлення інформації.

Основні технічні показники ПР визначаються передбачуваною областю застосування й умовами виробництва, для яких призначається робот.

**Вантажопідйомність** ПР визначається як сумарна вантажопідйомність його рук.

**Вантажопідйомність руки** ПР – найбільша маса об'єктів маніпулювання (включаючи масу захоплювального пристрою), котрі можуть переміщуватися

рукою за заданими умовами (при максимальній або мінімальній швидкості, максимальному вильоті руки і т.п.).

Для декотрих типів ПР важливим показником є зусилля (або крутний момент), що розвивається виконавчим механізмом за заданими умовами. До числа таких показників можна віднести умову затиску (захвата, втримання) об'єкта маніпулювання захоплювальним пристроєм; робоче зусилля руки ПР уздовж її поздовжньої осі; крутний момент при ротації захоплювального пристрою.

**Число степенів рухомості ПР** – сума можливих координатних рухів об'єкта маніпулювання відносно опорної системи (стойки, основи) ПР.

**Похибка позиціювання** – відхилення заданої позиції виконавчого механізму від фактичної при багаторазовому позиціюванні (повторенні руху). Похибку позиціювання можна оцінювати в лінійних чи кутових одиницях. Стосовно ПР важливим показником є сумарна похибка позиціювання всіх виконавчих механізмів, приведена до фактичного положення об'єкта маніпулювання, що відрізняється від заданого за програмою роботи.

**Робоча зона ПР** – простір, в якому може перебувати робочий орган М.

Лінійні й кутові переміщення рухомих ланок МС також характеризують робочу зону ПР.

При роботі кількох ПР в якості характеристики робототехнологічного комплексу наводиться зона спільного обслуговування – частина простору, в якому переміщення об'єкта маніпулювання можуть виконуватись кількома ПР.

**Мобільність ПР** визначається його можливістю здійснювати рухи. За мобільністю роботи поділяють на дві групи: стаціонарні (що забезпечують рухи орієнтації й транспортування) і пересувні (що забезпечують додатково до наведених вище ще й координатні рухи).

## **6.2. Захоплювальні пристрої промислових роботів**

Захоплювальні пристрої (ЗП) промислових роботів (ПР) і маніпуляторів (М) служать для захоплення і втримання у визначеному положенні об'єктів

маніпулювання. Ці об'єкти можуть мати різні розміри, форму, масу і володіти різними фізичними властивостями, тому ЗП відносять до числа змінних елементів ПР. Як правило, ПР і М комплектують набором типових (для даної моделі) ЗП, котрі можна міняти залежно від вимог конкретного робочого завдання. Іноді на типовий захват встановлюють змінні робочі елементи (губки, присоси і т.п.). За необхідності ПР оснащують спеціальними ЗП, які призначені для виконання певних операцій. До ЗП ставлять вимоги загального характеру, і спеціальні, пов'язані з конкретними умовами роботи. До числа обов'язкових вимог відносять надійність захоплення і втримання об'єкта, стабільність і базування, недопустимість пошкоджень чи руйнування об'єкта. Міцність ЗП повинна бути високою при малих габаритних розмірах і масі. Особливу увагу слід приділяти надійності кріплення ЗП до руки ПР. При обслуговуванні одним ПР декількох одиниць обладнання застосування широкодіапазонних ЗП чи їх автоматична заміна може виявитись одинично можливим розв'язанням, якщо одночасно обробляються деталі різних конфігурації і маси. Тому до ЗП для ПР, що працюють в умовах серійного виробництва, ставляться додаткові вимоги: широка діапазонність (можливість захоплення і базування деталей в широкому діапазоні маси, розмірів і форми), забезпечення захоплення близько розміщених деталей, легкість і швидкість заміни (навіть до автоматичної заміни ЗП). У ряді випадків необхідна автоматична зміна зусилля втримання об'єкта залежно від маси деталі.

Останнім часом проводять розроблення конструкції ЗП, які здатні захоплювати і базувати не орієнтовано розміщені об'єкти.

*Класифікація захоплювальних пристроїв.* Різноманітні ЗП, які придатні для розв'язання подібних задач, і велике число ознак, що характеризують їх різні конструктивно-технологічні властивості, не дозволяють побудувати класифікацію за чисто ієрархічним принципом. На рис. 6.4. представлена класифікація ЗП за ознаками, котрі в більшості випадків є рівноправними. В таблиці 6.1 наведено приклади конструкції ЗП, що розподілені у відповідності з окремими класифікаційними ознаками.

*Розрізняють ЗП за принципом дії.*

Захоплювальні ЗП втримують об'єкт завдяки кінематичній дії робочих елементів (губок, пальців, кліщів і т.п.) за допомогою сил тертя чи комбінації сил тертя і запираючих зусиль. Усі захоплюючі ЗП активного типу і поділяють на дві групи: механічні (кліщі, лещата, шарнірні пальці) та з еластичними робочими камерами, що деформуються під дією повітря чи рідини, що нагнітається всередину.

В підтримуючих ЗП для втримання об'єкта використовують нижню поверхню, частини об'єкта, що виступають, чи отвори, які є в його корпусі. До цих ЗП відносяться гаки, петлі, вилки, лопатки і захвати живильників, що не затискають заготовок.

**Втримуючі** ЗП забезпечують силову дію на об'єкт завдяки використанню різних фізичних ефектів. Найпоширеніші вакуумні й магнітні ЗП. Зустрічаються ЗП, що використовують ефект електростатичного притягання, адгезії, ЗП з липкими накладками і т.п.

За характером базування захоплювальні пристрої поділяють на п'ять груп.

**Здатні до перебезування об'єкта** ЗП змінюють положення деталі, що втримується завдяки керуючих дій робочих елементів. Цією властивістю володіють антропоморфні ЗП з керуючими шарнірними пальцями.

**Центруючі** ЗП визначають положення осі чи площини симетрії захоплювального об'єкта. До них перш за все відносять механічні ЗП, які оснащені кінематично пов'язаними робочими елементами, що мають губки у вигляді призм та ін. Іноді це можуть бути ЗП з еластичним камерами.

**Базуючі** ЗП визначають положення базової поверхні (чи поверхонь). Такий принцип базування характерний для підтримуючих ЗП. Однак він часто застосовується і в захоплюючих ЗП.

**Фіксуючі** ЗП зберігають положення об'єкта, яке той мав у момент захоплення. Захоплювальні пристрої, що не забезпечують базування або фіксації об'єкта, майже не застосовують для оснащення ПР.

Залежно від призначення ЗП (наприклад для складальних ПР) можуть

оснащуватись додатковими пристосуваннями для виконання орієнтуючих переміщень, а також пристосуваннями для виконання деяких технологічних операцій (наприклад, гайковертом, запресувальником чи ножицями для відрізування литникової системи при зніманні пластмасових виробів з камер термопластоавтоматів).

За числом робочих позицій багатопозиційні ЗП можна поділити на однопозиційні і багатопозиційні. За характером роботи – на три групи: послідовної, паралельної і комбінованої дії. До ЗП послідовної дії відносяться двопозиційні пристрої, що мають завантажувальну і розвантажувальну позицію. Робочі елементи на кожній позиції діють незалежно. Багатопозиційні ЗП паралельної дії мають ряд позицій для одночасного захоплення чи вивільнення групи деталей. ЗП комбінованої дії оснащені групами паралельно працюючих позицій, причому групи приводяться в дію незалежно одна від іншої.

За видом керування ЗП поділяються на чотири групи.

**Некеровані** ЗП – пристрої з постійними магнітами або вакуумними присосами без примусового розрядження. Для зняття об'єкта з таких ЗП треба зусилля більше, ніж для його втримання.

**Командні** ЗП керуються тільки командами на захоплення або відпускання об'єкта. До цієї групи відносяться ЗП із пружинним приводом, які оснащені штопорними пристроями і спрацьовуючими через такт. Розтискаються і затискаються губки пружинних ЗП завдяки взаємодії їх з об'єктом маніпулювання чи елементами зовнішнього обладнання (аналогічно до механізмів, що використовуються в деяких конструкціях кулькових авторучок).

**Жорсткопрограмовані** ЗП керуються СПУПР. Величина переміщення губок, взаємне розміщення робочих елементів, зусилля затиску в таких ЗП можуть змінюватися залежно від заданої програми, котра може керувати, і дією допоміжних технологічних пристосувань.

**Адаптивні** ЗП – програмовані пристрої, оснащені різноманітними давачами зовнішньої інформації (визначення форми поверхні і маси об'єкта,

зусилля затиску, наявності просковзування об'єкта відносно робочих елементів ЗП і т.п.).

За характером кріплення до руки ПР всі ЗП можна поділити на чотири групи.

**Незмінні ЗП** – пристрої, що є невід'ємною частиною конструкції робота, заміна котрих не передбачається.

**Змінні ЗП** – пристрої, які являють собою самостійні вузли з базовими поверхнями для кріплення до робота. При цьому їх кріплення не передбачає швидкої заміни (наприклад, установка на фланзі з допомогою кількох гвинтів).

**Швидкозмінні ЗП** – змінні ЗП, у котрих конструкція базових поверхонь для кріплення ЗП до робота забезпечує їх швидку заміну (наприклад, виконання у вигляді байконетного замка).

**ЗП, придатні до автоматичної зміни** – пристрої, в котрих конструкція базових поверхонь забезпечує можливість їх автоматичного закріплення на руці робота.

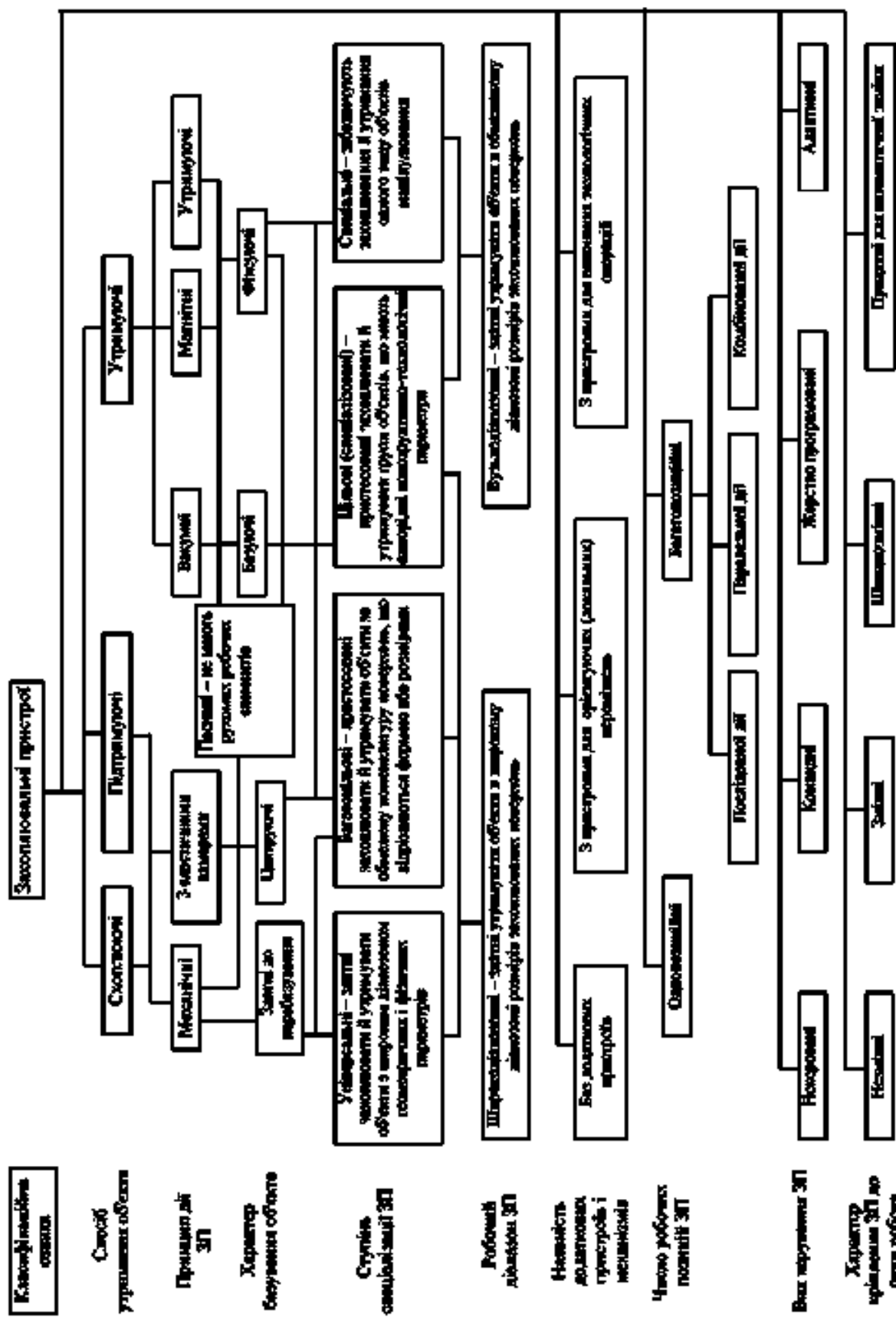


Рисунок 6.4. – Класифікація заспокоювальних пристроїв



## Механічні захоплювальні пристрої

Розрахунок механічних ЗП включає знаходження сил, що діють у місцях контакту заготовки і губок; визначення зусиль привода; перевірку відсутності пошкоджень поверхні деталі при захопленні; розрахунок на міцність деталей ЗП. Останній розрахунок проводять за звичайними методиками розрахунку деталей машин. Крім того, приводиться методика побудови профілю центруючих поворотних губок ЗП згідно з рис.6.2.

Розрахунок сил, що діють в місцях контакту захватного пристрою з об'єктами маніпулювання, проводять за формулами табл.6.1. Розрізняють такі схеми втримання об'єкта в механічному ЗП:

деталь підтримується губкою ЗП, сили тертя мало впливають на механізм втримання деталі (схема 4 в табл.6.1);

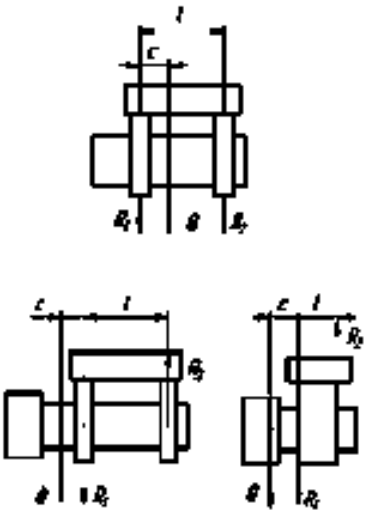
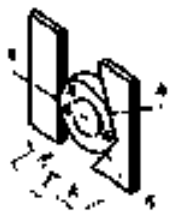
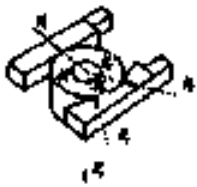
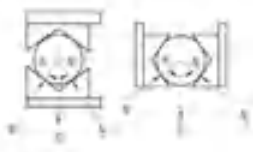
деталь втримується завдяки запираючій дії губок при обмеженому впливі сил тертя (схема 2 і 5 в табл.6.1);

деталь втримується силами тертя (схема 3 і 6 в табл.6.1).

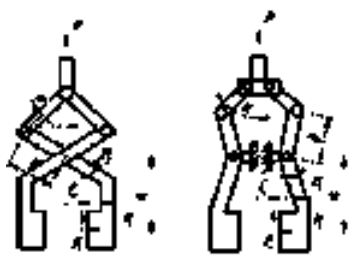
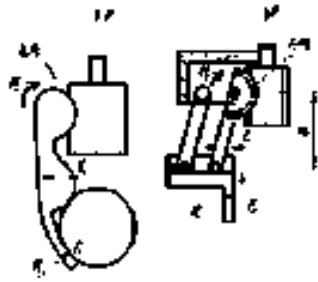
На практиці зазвичай зустрічається складне навантаження ЗП, при котрому має місце комбінація описаних випадків (див. схему 2 в табл.6.1), при цьому в процесі маніпулювання об'єктом характер навантаження ЗП і схеми втримання деталей можуть змінюватися. Тому розрахунок слід проводити для критичного випадку навантажень.

Розрахунок зусиль привода проводять за формулами табл.6.2, де розглянуто приклади застосування клинових, важільних і рейкових передаточних механізмів.

Таблиця 6.1. Формули для розрахунку сил, що діють у місцях контакту заготовки та елементів захвату

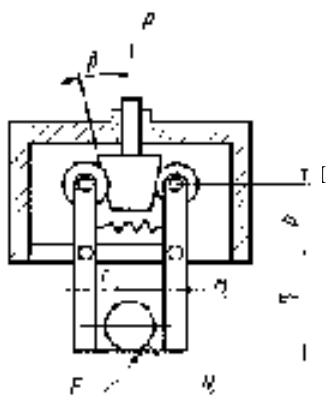
| Розрахункова схема |                                                                                     | Розрахункові формули                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| № з/п              | Ескіз                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 1                  | 2                                                                                   | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 1                  |    | <p>Для а</p> $R_1 = \frac{l-c}{l} Q;$ $R_2 = \frac{c}{l} Q$ <p>Для б:</p> $R_1 = \frac{l+c}{l} Q;$ $R_2 = -\frac{c}{l} Q$                                                                                                                                                                                                                                   |
| 2                  |   | $\sin \Theta [\sin \varphi_j - \sin \varphi_k - \mu (\cos \varphi_j - \cos \varphi_k)] - \frac{\cos \Theta}{\mu} \times$ $N_i = R_n \frac{\times (1 - \mu^2) \sin(\varphi_j - \varphi_k)}{(1 - \mu^2) [\sin(\varphi_1 - \varphi_2) + \sin(\varphi_2 - \varphi_3) + \sin(\varphi_3 - \varphi_1)]}$ <p>де <math>i, j, k = 1, 2, 3; i \neq j \neq k</math></p> |
| 3                  |  | $\Theta = 0^\circ$ $N_i = -\frac{R_n}{\mu} - \frac{\sin(\varphi_j - \varphi_k)}{\sin(\varphi_1 - \varphi_2) + \sin(\varphi_2 - \varphi_3) + \sin(\varphi_3 - \varphi_1)}$ <p>де <math>i, j, k = 1, 2, 3; i \neq j \neq k</math></p>                                                                                                                         |
| 4                  |  | $N_i = R_n \frac{\sin \varphi_j - \mu \cos \varphi_j}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) - 2\mu \cos(\varphi_1 + \varphi_2)},$ <p>де <math>i, j = 1, 2, 3; i \neq j</math></p>                                                                                                                                                                                     |

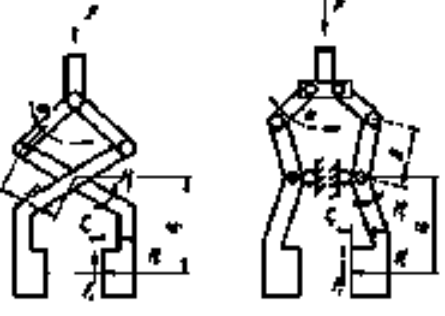
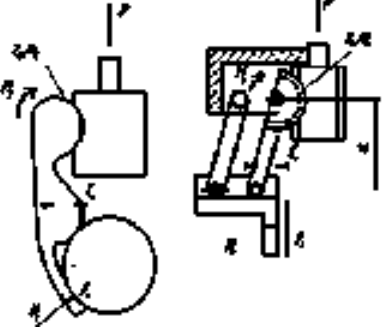
закінчення таблиці 6.1

| 1 | 2                                                                                 | 3                                                                                                                                                                                         |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 |  | $\varphi = 90^\circ; \quad \varphi = \varphi$ $N_1 = R_n \frac{\sin \varphi - \mu \cos \varphi}{\cos \varphi + 2\mu \sin \varphi}$ $N_2 = R_n \frac{1}{\cos \varphi + 2\mu \sin \varphi}$ |
| 6 |  | $\varphi = \varphi = 90^\circ$ $N_1 = N_2 = \frac{R_n}{2\mu}$                                                                                                                             |

**Позначення:**  $Q$  – розрахункове навантаження;  $l$  – розмір захвата;  $c$  – відстань від точки прикладення навантаження до розглядуваної губки захвата;  $R_n$  – реакція на  $n$ -ну губку захвата;  $\Theta$  – кут між віссю заготовки та силою  $R_n$ ;  $N_i$  – зусилля контактування між заготовкою та трубою;  $\varphi_i$  – кут між проекцією сили  $R_n$  на площину і силою  $N_i$ ;  $\mu$  – коефіцієнт тертя губки захвата із заготовкою (для незагартованих губок без насічки сталі 45, 50  $\mu = 0,12 \div 0,15$ , У8А, У10А при твердості HRC 55  $\mu = 0,3 \div 0,5$ )

Таблиця 6.2. Формули для розрахунку зусилля привода для основних груп захватних пристроїв

| Схема                                                                               | Формула для визначення сил, $P$ (Н)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|  | <p>Загальний випадок</p> $P \geq \frac{\sum_{j=1}^m M_j \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{b \eta_p}$ <p>Для симетричних губок</p> $P \geq \frac{2M_j \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{b \eta_p}$ <p><math>m = 2</math>; <math>\eta_p = 0.9</math>; <math>\beta = 4 \div 8</math>; <math>\rho = 1^\circ 10'</math> – при осях на підшипниках ковзання; <math>\rho = 3^\circ</math> – при осях на підшипниках кочення</p> |
| закінчення таблиці 6.2                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 1                                                                                   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Важільний механізм                                                                  | Загальний випадок                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|                                                                                                            |                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | $P \geq \frac{\sum_{j=1}^m M_j \cos \alpha}{b \eta_p} ;$ <p>для симетричних губок</p> $P \geq \frac{2M_j \cos \alpha}{b \eta_p} ;$ $\eta_p = 0.9 \div 0.95$       |
| <p>Рейковий механізм</p>  | <p>Загальний випадок</p> $P \geq \frac{2 \sum_{j=1}^m M_j}{m_c z_c \eta_p} ;$ <p>для симетричних губок</p> $P \geq \frac{4M_j}{m_c z_c \eta_p} ;$ $\eta_p = 0.94$ |

Позначення:  $m$  – кількість губок захвата;  $M_j$  – утримуючий момент (Н·м) для  $j$ -тієї губки, що визначається за формулою  $M_j = \sum_{i=1}^k N_i \cos \varphi [a_i \tan \varphi \pm c_i - \mu(a_i \mp c_i \tan \varphi)]$  ;  $N_i$  – сила контакту, що визначається формулами табл. 12, Н;  $k$  – кількість точок контакту;  $a_i, c_i$  – відстань від точки повороту губки до  $i$ -тої точки контакту, м;  $\varphi_i$  – кут контакту, °;  $\mu$  – коефіцієнт тертя між губками і заготовкою;  $\rho$  – приведений кут тертя, що враховує опір осей важелів, °;  $\beta$  – кут клина, °;  $\eta_p$  – коефіцієнт корисної дії механізму;  $b$  – розмір важеля, м;  $\alpha$  – кут важеля, °;  $m_c$  – модуль сектора, м;  $z_c$  – повна кількість зубів сектора

До механічних ЗП кліщового типу, що призначені для маніпулювання ступінчастими валами і фланцями, часто ставлять вимоги забезпечення центрування деталей при зміні їх діаметрів, що відбувається в результаті обробки. Такі ЗП обладнують поворотними губками криволінійної форми (див. рис. 6.2). Губки повинні бути профільовані так, щоб забезпечити в певному діапазоні центрування шийок вала (або фланця) різного діаметра. Верхні частини губок виготовляють однакової ширини, а нижні зрізують так, щоб вони заходили одна за другу. Це дозволяє надійно центрувати вал навіть у випадку, коли в зоні дії губок опиняється ступінь з перепадом діаметрів.

Для точного центрування заготовок профіль губок апроксимується дугами

спряження. При цьому похибка центрування

$$\Delta = \pm \frac{(D_{\max} - D_{\min})^4}{4096R^3} \operatorname{tg}^2 \beta, \quad (6.1)$$

де  $D_{\max}$   $D_{\min}$  – можливий перепад діаметрів деталей, що затискаються, мм;  $R$  – радіус повороту губок, мм;  $\beta$  - кут, що отримується побудовою (рис.6.2).

*Електромагнітні ЗП* часто компонують з невеликих електромагнітів, що встановлюють на загальній рамі. Такі пристрої звичайно застосовують для перенесення фасонних, круглих, ребристих і решітчастих поверхонь, захопити котрі вакуумними ЗП важко або неможливо. Іноді застосовують ЗП з постійними магнітами, але в цьому випадку необхідні пристрої для втримання деталі на позиції розвантаження або оснащення ЗП спеціальними скидачами.

Підйомні електромагніти (рис.6.5.б) складаються з корпусу 3, в середині якого розміщені котушки магніту 2, які захищені від пошкоджень листом 1 з марганцовистої сталі або латуні.

Присоси виготовляють з гуми або пластику. На рис.6.4 в зображена конструкція присоски з шаровою опорою, котру можна закріпити до патрубку в будь-якому положенні. Звичайно для захоплення деталі застосовують кілька присосок. Пристрій для кріплення втримуючих елементів (рис.6.5 г) містить корпус 4 з отворами, в котрі вміщені різьбові стулки 8 з поперечно висвердленими отворами, куди вставляють тримачі 6, що несуть вакуумні присоски 7 або магніти 9. До площини корпусу 4 тримачі 6 притискаються гвинтами 5, що проходять через втулки 8. Пересуваючи тримачі в отворах 8 і повертаючи їх на потрібні кути корпусу 4, можна в широких межах змінювати відносне розміщення захоплювальних елементів.

Електромагнітні ЗП і захоплювальні пристрої:

- придатні тільки для матеріалів, що намагнічуються;
- можлива велика сила притягування на одиницю поверхні;
- висока точність базування завдяки жорсткості сердечника;

- супроводжує остаточний магнетизм, що викликає небезпеку забруднення і пошкодження поверхонь деталі й захоплювального пристрою;
- швидкість захоплення деталі;
- простота конструкції: котушки і сердечники можна легко виготовити споживач;
- котушки нагріваються, але конструкція довговічна.

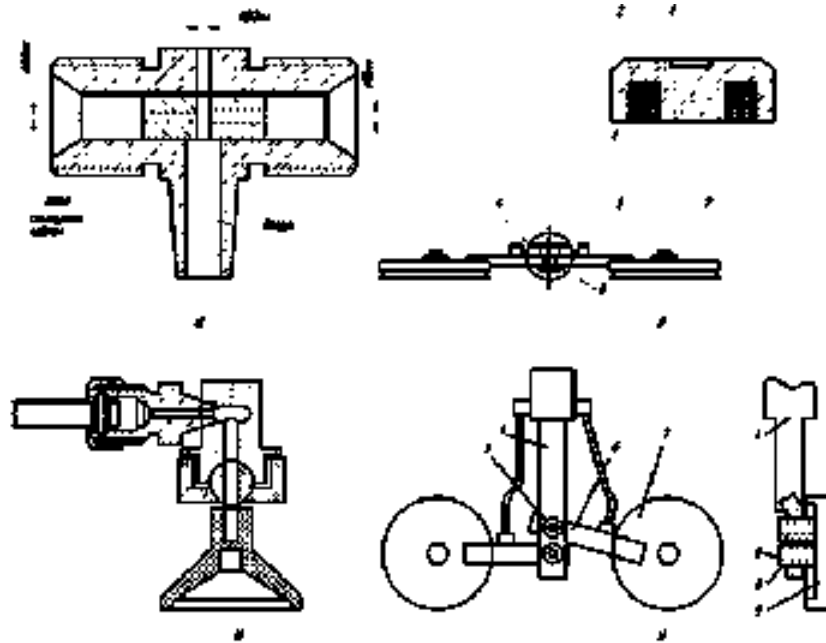


Рисунок 6.5. – Елементи вакуумних та електромагнітних захоплювальних пристроїв:

*a* – ежектор; *б* – електромагніт; пневмоприсоска з кульовою опорою; *г* – пристрій для кріплення втримуючих елементів електромагнітних або вакуумних захватів; 1 – запобіжний лист; 2 – котушки електромагніта; 3 – корпус електромагніта; 4 – корпус утримуючого пристрою; 5 – гвинти; 6 – тримачі; 7 – вакуумні присоски; 8 – втулки; 9 – електромагніти

### Вакуумні і магнітні захоплювальні пристрої

Сила вакуумного притягування  $P_{в.п.} = k_p F_{з\gamma} (p_a - p_b)$ , де  $k_p = 0,85$  – коефіцієнт, що враховує можливість атмосферного тиску і властивості ущільнювача;  $F_{з\gamma}$  – ефективна площа дії захватного пристрою;  $p_a$  – атмосферний тиск;  $p_b$  – залишковий тиск в камері присосів;  $P_{в.п.}$  – втримуюче зусилля захоплювального

пристрою.

Для вакуумних захоплювальних пристроїв з ущільнюючим кільцем, що з'єднані з вакуумним насосом, тиск у середині порожнини присосів приймають рівним тиску розрідження, що створюється насосом. Для вакуумних захоплювальних пристроїв без ущільнюючого кільця і для некерованих ЗП з ущільнюючим кільцем різницю тисків приймають  $p_a - p_o = (3-3,5) \text{ Н/см}^2$ .

Для круглих ЗП з ущільнюючим кільцем  $F_{zy} = (0,6 - 0,7) F_n$ , де  $F_n$  – площа поверхні, що обмежена зовнішньою лінією контакту ЗП з об'єктом маніпулювання.

**Магнітні захоплювальні пристрої.** Сила притягування електромагніта визначається за формулою Максвела  $P_o = \frac{(In)^2}{25F(R_B + R_M)^2}$ , де  $I_n$  – число ампер-витків обмотки,  $F$  – площа поверхні дотику вантажу з полюсами електромагніта;  $R_B, R_M$  – магнітний опір на ділянках шляху магнітного потоку відповідно до повітряного і металевого.

Наявність домішок (марганцю, сірки, фосфору, нікелю і т.п.) у матеріалі об'єкта маніпулювання знижує підймальну силу електромагніта.

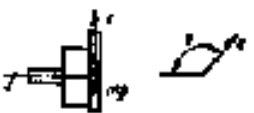
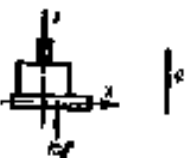
Формули для перевірки можливості втримання об'єктів вакуумними і магнітними захоплювальними пристроями наведено в табл. 6.3. Основними елементами вакуумних ЗП є присоски і пристрої для створення вакууму. Простий і поширений спосіб створення вакууму – з допомогою ежекторів. Розрідження отримується за рахунок енергії стисненого повітря, що надходить із заводської мережі. Одна з відомих конструкцій ежектора зображена на рис.6.5а. Основа ежектора – трійник, у котрий вклеєні або впаяні пробки з отворами малого діаметра. В конструкціях нецентруючих вакуумних ЗП, наведених у цій самій таблиці, ежектори встановлені на кожній присосці, причому вони виконують також роль приєднувальної арматури повітропровода.

Вакуумні ЗП:

- придатні тільки для плоских і рівних поверхонь для всіх матеріалів;
- забезпечують обмежену силу притягування для даної площі;

- понижена точність базування через еластичність присосок;
- у них необхідна відсутність частин між присосками і поверхнею деталі;
- для них потрібен деякий час для створення деякого вакууму;
- у їх конструкції складніша необхідна герметичність з'єднання, потрібні присоски і трубопроводи.

Таблиця 6.3. Формули для перевірки умов утримання деталі вакуумними та магнітними захоплювачами

| Розрахункова схема                                                                  | Розрахункові формули                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | $\mu \left( \frac{p}{mk_1k_2} - g \cos \theta_0 + a \cos \theta \right) \geq g \sin \varphi_0 \sin \theta_0 + a \sin \varphi \sin \theta;$ $\mu \left( \frac{p}{mk_1k_2} - g \cos \theta_0 + a \cos \theta \right) \geq g \cos \varphi_0 \sin \theta_0 + a \cos \varphi \sin \theta$ |
|  | $\varphi = \varphi_0 = 90^\circ;$ $\mu \left( \frac{p}{mk_1k_2} - g \cos \theta_0 + a \cos \theta \right) \geq  g \sin \theta_0 + a \sin \theta $                                                                                                                                    |
|  | $\varphi = \varphi_0 = 90^\circ; \quad \theta = \theta_0$ $\mu \left( \frac{p}{mk_1k_2} - g + a \cos \theta \right) \geq a \sin \theta$ <p>Закінчення таблиці 6.3</p>                                                                                                                |
|  | $\varphi = \varphi_0 = 90^\circ; \quad \theta = 90^\circ$ $\mu \left( \frac{p}{mk_1k_2} - a \cos \theta \right) \geq g + a \sin \theta$                                                                                                                                              |
|  | $\varphi = \varphi_0 = 90^\circ; \quad \theta = \theta_0$ $\frac{p}{mk_1k_2} \geq g + a$                                                                                                                                                                                             |

**Позначення:**  $p$  – сила вакуумного магнітного притягування, Н;  $m$  – маса заготовки, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с;  $a$  – прискорення захвату, м/с;  $\theta$  – кут між вектором прискорення і віссю  $z$ , що співпадає з віссю захвату, °;  $\varphi$  – кут між проекцією прискорення на площину, перпендикулярно осі  $z$  і віссю  $y$ ;  $\mu$  – коефіцієнт тертя між заготовкою і захватом (для металевих захватів і сталених заготовок  $\mu=0,17$ ; для гумових манжетів та сталених заготовок  $\mu=0,3$ );  $k_1$  – коефіцієнт запасу;  $k_2$  – коефіцієнт, що враховує зміщення точки



прикладення підіймальної сили і центра ваги заготовки (для круглих захватів  $k_2 = \frac{r}{r + \Delta x}$ , де  $r$  – середній радіус ущільнюючої поверхні захвату,  $\Delta x$  – зміщення осі захвату і центра ваги заготовки)

### **6.3. Проектування струменевих захоплювальних пристроїв промислових робіт**

Завдання проектування струменевих захоплювачів залежить від конкретних умов, пов'язаних із технологічними процесами, обладнанням і відштовхується від технологічних завдань, які визначають вихідні вимоги до розроблюваного пристрою завантаження-розвантаження. Воно здійснюється також на основі технічно-економічного дослідження не лише самих пристроїв завантаження, але й аналізу, технологічного змісту й особливостей автоматизованих виробничих процесів.

При створенні автоматичних пристроїв завантаження зі струменевими захоплювачами використовують функціональні ознаки струменя, характерні особливості форми і напрямку струменевих елементів, які формують потік повітря, а також спосіб захоплення й орієнтації заготовок, ступінь автоматизації або механізації технологічного процесу і ряд інших факторів.

Раціональні конструкції струменевих захоплювачів, які забезпечують максимальну присмоктуючу силу із виключенням можливості відриву заготовки від і торця захоплювача, повинні створюватися на основі вивчення показників точності розмірів, геометричної форми і взаємного розміщення основних поверхонь захоплюваних заготовок. Вимогою до раціональної конструкції захоплювачів потрібно вважати наявність явно вираженої базової прямолінійної плоскої або циліндричної поверхні захоплення, яка б не мала виступів, буртиків, що перешкождали б протіканню потоку повітря. Захоплення деталей у великому діапазоні розмірів робить економічним і доцільним використання їх в умовах будь-якого виробництва, де однією з вимог забезпечення роботоздатності конструкцій струменевих захоплювачів є встановлення теоретично обумовленого

співвідношення сил утримування заготовки захоплювачем і сил протидії цьому явищу. Послідовність виведення розрахункових рівнянь силових і конструктивних захоплювачів розглядається з урахуванням газодинамічного аналізу протікання газових потоків. У якості вихідних рівнянь, що принципово розв'язують задачу визначення параметрів цих потоків (швидкість протікання, тиск, густина та ін.) у будь-який момент часу, достатньо використовувати систему відомих рівнянь газової динаміки.

Струменеві захоплювачі з вертикальним і горизонтальним напрямками газових потоків Розрахункова схема струминного захоплення з перпендикулярним напрямком витікаючого з його отвору - сопла струменя стисненого повітря щодо поверхні заготовки, зображена на рис. 6.6. Аналогічно методики розрахунку роботи [3] діюча на заготовку сила визначиться з рівняння

$$F = F_{np} - R_{cmp}, \quad (6.2)$$

де  $F_{np}$  – сила, що виникає в результаті статичного тиску в зазорі  $h_{il}$ ;  $R_{cmp}$  – реактивна сила струменя, що визначається за формулою

$$R_{cmp} = \frac{Q_m^2}{\pi r_c \rho}. \quad (6.2)$$

У результаті досліджень встановлено якісне посилення силових характеристик розглянутого захоплювача за допомогою виконання на його торці буртика радіусом  $r_1$  висотою  $\Delta h$ , що перевищує товщину повітряної подушки, яка дорівнює порядку 0,06 – 0,09, що уможливлює застосування його як захоплювача маніпулятора.

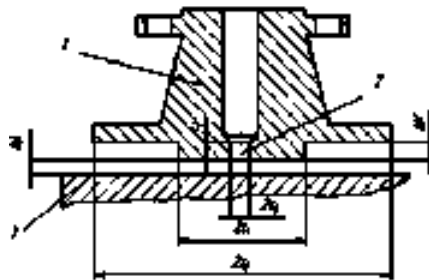


Рисунок 6.6. Схема захоплювача з вертикальним напрямком струменя

Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень показує, що

струминний захоплювач з вертикальним напрямком струменя можна використовувати при завантаженні деталей масою до 3,5Н. Збільшення вантажопідйомності можна домогтися шляхом застосування кількох захоплювачів чи одночасно виконанням на торці захоплення кількох отворів, як зображено на рис. 6.7.

Уплив параметрів двох сусідніх струменів один на одного може бути незначним, якщо скористатися рекомендацією [3] й установити міжцентрову відстань  $A1=A2=A3=(15+20\text{мм})$ .

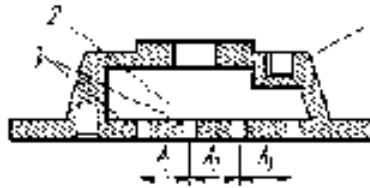


Рисунок 6.7. Схема захоплювача з вертикальним захопленням кількох отворами

Розрахункова схема струминного захоплювача у зі струменем повітря паралельно до площини заготовки зображена на рис. 6.8. У цьому випадку реактивна сила струменя  $R_{стр}$  дорівнює нулю, а на зусилля захоплення впливає тільки реактивна сила повітряної подушки  $R_n$  кільцевого суцільного потоку в зазорі  $\Delta h$ .

Захоплювач містить корпус 1, на торці якого виконано буртик радіусом  $r_{01}$ ; і висоту  $\Delta h$ , а на утворюючій поверхні буртика мають повідомлені з джерелом стисненого повітря радіальні отвори-сопла 4 з осями, рівнобіжними площинам торця корпусу і заготовки.

Максимальну кількість отворів-сопел, їхній діаметр залежать від конструктивних параметрів захоплювача, а висота буртика  $\Delta h'$  вибирається експериментально залежно від діаметра сопла в кожному конкретному випадку.

Радіус буртика  $2r_{01}$  як показують експерименти, повинний бути рівним  $2r_{01}=20-30$  мм при загальному діаметрі захоплювача  $2r_2=80-100$  мм, тобто ефективність захоплювача залежить від оптимального співвідношення між

діаметрами, що знаходиться в межах 3-4.

Дослідження показали, що максимальна відстань  $h'_{\max}$ , з яким випробовувана заготовка піддається дії, що присмоктує, не перевищує величини  $H_{\max} < 25 \text{ мм}$ . Зі збільшенням маси заготовки  $G_3$  відстань  $H_{\max}$  зменшується до значення  $H_{\max} > \Delta h$ , тобто до висоти буртика, у якому виконано отвори-сопла. Крива зміни вантажопідйомності від  $H$  зображена на рис. 6.9.

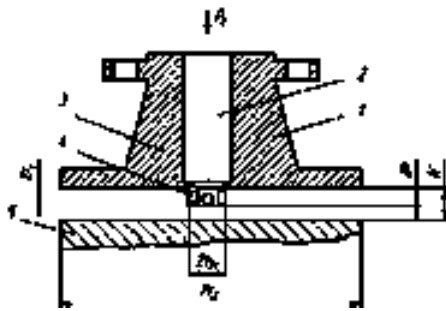


Рисунок 6.8. Струменевий захоплювач із горизонтальним напрямком струменя

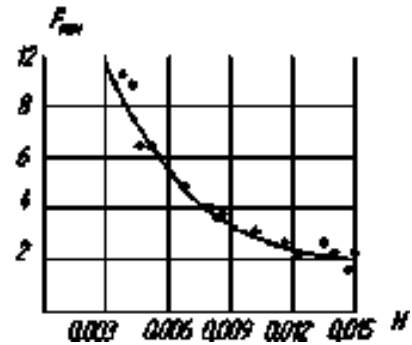


Рисунок 6.9. Закон зміни сили присмоктування струминного захоплення з рівнобіжними торцю заготовки газовими потоками

Притягнена до торця захоплювача заготовка займає неорієнтоване положення, якщо величина повітряної подушки  $h$  перевищує висоту буртика  $\Delta h'$ . У цьому випадку заготовка плаває на повітряній подушці і її орієнтацію варто робити простим способом по краях захоплення. Якщо ж  $h < \Delta h'$ , заготовка силами тертя об торець буртика утримується від повороту і переноситься захоплювачем попередньо орієнтованому положенні.

Залежно від конфігурації об'єктів маніпулювання, співвідношення основних їхніх розмірів і розмірних чи характеристик окремих особливостей силових елементів можна виділити три основних напрямки створення дії, що присмоктує: за рахунок зниження тиску на торці заготовки в результаті плинину плоского радіального потоку; за рахунок зниження тиску при обтіканні циліндричного кільцевого струменя; зовнішньої чи внутрішньої циліндричної поверхні; за рахунок появи розрідження на циліндричній поверхні маніпулюючого об'єкта.

Виходячи з цього, розглянемо порядок розрахунку силової характеристики. Умова рівноваги притягненої до торця захоплювача заготовки під дією сили  $F_{np}$ , що складається із сили  $F_1$  від швидкісного напору повітряного струменя на ділянці плинину від  $r_{01}$  до  $r_1$ , швидкості рівної місцевої, швидкості звуку і сили, що присмоктує,  $F_2$  від напору потоку в інтервалі радіусів  $r_1$  і периферії  $r_2$ , а також реактивної сили  $R_n$  повітряної подушки, має вигляд

$$F_{np} = F_1 + F_2 - R_n \gg G_{заг} . \quad (6.4)$$

Силу присмоктування  $F_1$  за умови витікання струменя з одного отвору-сопла в проміжку  $h_{i2}$  на ділянці від  $r_{01}$  до  $r_1$  можна визначити за формулою

$$F_1 = \frac{\pi}{12} \rho_a V_{kp}^2 \left( \frac{P_0}{P_a} \right)^{\frac{1}{n}} r_{01} (r_1 - r_{01}) . \quad (6.5)$$

Силу присмоктування  $F_2$  при плинні потоку повітря на ділянці від  $r_{01}$  до  $r_1$  запишемо

$$F_2 = \int_0^{r_2} \int_{r_1}^r \frac{V^2 \rho}{2} \varphi_r d_{ra} = \frac{\pi}{12} \rho V^2 r_1^2 \ln \frac{r_2}{r_1} , \quad (6.6)$$

при  $V = V^2 r_1 / r^2$ ;  $r$ - поточне значення радіуса проміжку  $h_{i2}$ .

У вигляді малих значень  $R_n$  величиною сили подушки можна знехтувати і тоді рівняння (6.4) з обліком (6.6) і (6.7) в остаточному підсумку буде мати вигляд

$$F_{np} = \frac{N\pi}{12} \rho_a \left[ V_{kp}^2 \left( \frac{P_0}{P_a} \right)^{\frac{1}{n}} r_{01} (r_1 - r_{01}) + V_r^2 r_1^2 \ln \frac{r_2}{r_1} \right] , \quad (6.7)$$

де  $N$  – кількість отворів-сопел;  $h_2$  – оптимальний повітряний проміжок, при якому досягається найефективніша вантажопідйомність захоплювача.

**Щілинні струменеві захоплювачі** Спрямований паралельно або під кутом до площини заготовки струмін повітря постійного магістрального тиску  $P_n$  витікає крізь кільцеву щілину 3 (рис. 6.10) у проміжок  $h_2$ , утворений торцем корпусу 1 і площиною заготовки 5, а в подальшому перетворюється в плоский кільцевий радіальний потік. Швидкість протікання  $V_n$ , яка приблизно на

початку дорівнює критичній з постійним зниженням у міру віддалення від щілини до повного розчинення в атмосфері на радіусі  $r_2$  периферії захоплювача, визначає рухомий суцільний потік газу. Ця енергія, яка характеризується повним напором  $H$ , що складається із суми п'єзометричного і динамічного напорів, викликає в зоні торця захоплювача зниження тиску до величини нижче атмосферного, що сприяє появі аеродинамічного ефекту притягання.

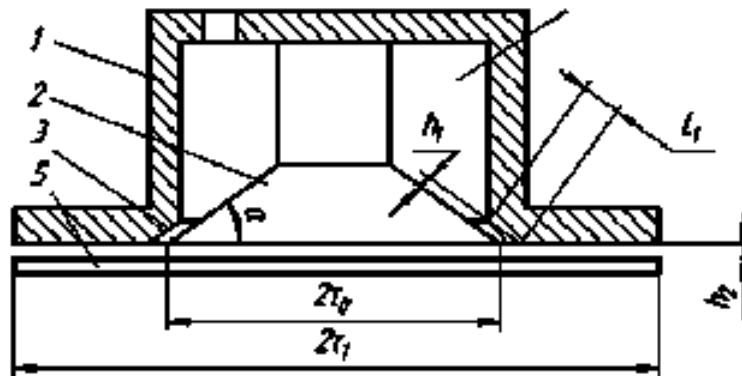


Рисунок 6.10. Струменевий захоплювач із конічною щілиною

Під його дією заготовка з визначеної відстані буде піднята вгору і притиснена до торця захоплювача. Ефективність струменевого захоплювача з кільцевою щілиною на торці (а/с №515592) залежить від оптимального співвідношення між повітряним проміжком  $h_2$  і товщиною  $h_1$  конічної щілини, яка вимірюється в нормальному до поверхонь фасок напрямку і дорівнює 0,12мм. Залежність між розрідженням  $P_p$  на торці тарілки і величиною зазору  $h_2$  показує, що і максимальна сила присмоктування  $F_{пр}$  забезпечується, коли співвідношення  $h_1/h_2$  знаходиться в межах 2,8-3,2, а кут нахилу щілини  $\alpha$  вибирається в межах  $120^\circ - 150^\circ$ .

Умова рівноваги, притягнутої до торця захоплювача заготовки визначається величиною аеродинамічного ефекту присмоктування, який складається з суми присмоктування  $F_1$  від розрідження  $P_p$ , що виникає внаслідок ежекції на торці тарілки радіусом  $r_0$  і дорівнює

$$P_p = \frac{\rho_a V_0^2}{2}, \quad (6.8)$$

яка записується

$$F_1 = \frac{\rho_a V_0^2}{2} \pi r r_0^2, \quad (6.9)$$

і результуючої сили тиску  $F_2$  на кільцевій ділянці протікання від  $r_0$  до  $r_2$ , яка визначається інтегруванням абсолютного статичного тиску по всій ширині кільця як

$$F_2 = \int_{r_0}^{r_2} 2\pi r (P_0 - P) dr = \frac{\pi r_0^2 \rho_a V_0^2}{r_2 - r_0} \left( r_2 \ln \frac{r_2}{r_0} - r_2 + r_0 \right) \quad (6.10)$$

з різницею реактивної сили  $K$  потоку при нахилі кільцевої щілини на кут  $\alpha$

$$R_c = \pi r_0 \rho_a V_0^2 h_2 \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (6.11)$$

Сумарна сила присмоктування  $F_{np}$  струменевого захоплювача з кільцевою щілиною визначається за формулою

$$F_{np} = \pi V_0^2 \rho_a r_0^2 \left( \frac{r_2 \ln \frac{r_2}{r_0}}{r_2 - r_0} + 0.5 - \frac{h_2}{r_0} \cos \frac{\alpha}{2} \right). \quad (6.12)$$

Досконалішою з точки зору маніпулювання силою присмоктування є конструкція багатощільного струменевого захоплювача (а/с №917945), зображеного на рис.6.11. Вона містить корпус 1, всередині якого концентрично із проміжком один відносно одного встановлено стакани, які утворюють концентричні кільцеві конічні щілини 6 і 7 радіусом відповідно  $r_{01}$  і  $r_1$ . До них послідовно або паралельно кільком або всім відразу подається стиснене повітря від джерела.

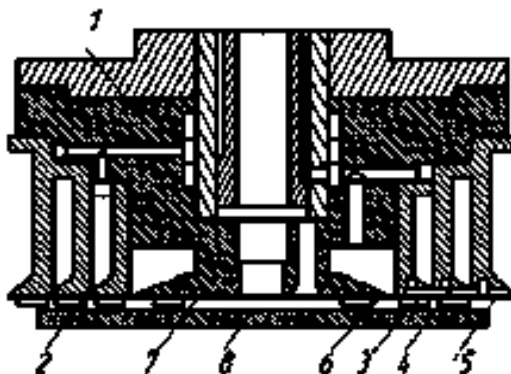


Рисунок 6.11. Багатокільцевий струменевий захоплювач

Силу характеристику захоплювача з увімкненою однією щілиною можна визначити за формулою (6.7) із задаванням відповідних розмірів. При паралельному увімкненні на кожній із охоплюючих конічні щілини кільцевій ділянці проміжку  $h_2$  починаючи з другого радіуса  $r_{02}$ , відбудеться взаємодія двох неоднорідних, що витікають із різних щілин, газових потоків. Швидкість з'єданого і сформованого проміжком  $h_2$  результативного потоку  $V_i$  на ділянках протікання можна прийняти малозмінною відносно середнього значення швидкості  $V_0$  і яка дорівнює  $V_i = kV_0$ , де  $k$  – коефіцієнт пропорційності, що визначається експериментально ( $\alpha \rightarrow 150^\circ$ ,  $k=0,95-0,97$ ).

Сила присмоктування багатокільцевого захоплювача при паралельному увімкненні струменевих елементів визначатиметься сумою, складовими якої є присмоктує зусилля  $F_{пр.вн}$  внутрішньої щілини, що визначається за формулою (6.6), і сумуючого присосуючого зусилля, що підраховується для кожної наступної ділянки змішаного потоку. Формула цього зусилля в загальному вигляді має вигляд

$$F_{np} = \pi \rho_a \left[ V_{11}^2 r_{01}^2 \left( \frac{r_{02} \ln \frac{r_{02}}{r_{01}} - r_{02} + r_{01}}{r_{02} - r_{01}} + 0.5 - \frac{h_2}{h_{01}} - \cos \frac{\alpha}{2} \right) + \sum_{i=1}^k V_i^2 r_i^2 \left( \frac{r_{0i} \ln \frac{r_{0i}}{r_{0i}} - r_{0i} + r_{0i}}{r_{0i} - r_{0i}} + 0.5 - \frac{h_2}{h_{0i}} - \cos \frac{\alpha}{2} \right) \right], \quad (6.13)$$

де  $r_{01}$  – радіус внутрішньої щілини,  $r_{02}$  – радіус наступної щілини,  $r_{0i}$  – радіус  $i$ -тої кільцевої щілини,  $r_{0i+1}$  – радіус наступної після  $i$ -тої щілини,  $V_{01}$  – швидкість потоку повітря, що витікає через першу щілину.



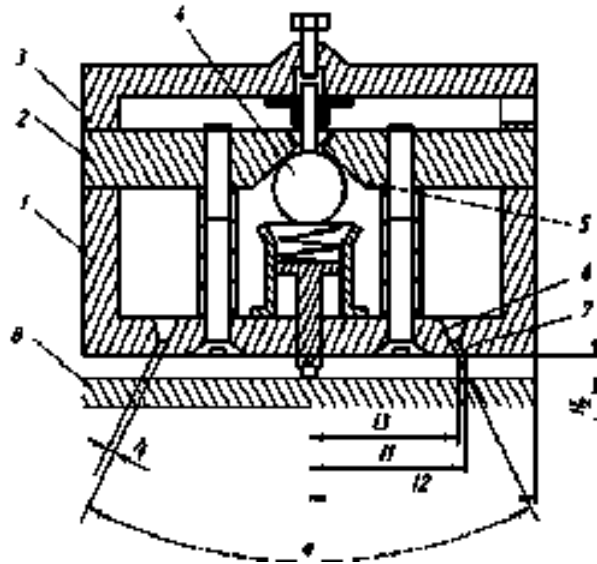


Рисунок 6.12. Регульований струменевий захоплювач

Визначення характеристик струменевих захоплювачів із регульованою силою захоплення (а/с№800092), розрахункова схема яких зображена на рис. 6.11, проводиться за аналогією до попередніх. На відстані  $h=0,3\text{мм}$  від торця сила пристосування зменшиться до величини, що дорівнює масі заготовки  $F_{np} > G_{заг.}$ . Процес регулювання сили проводиться зміною витратних характеристик захоплювача шляхом зменшення прохідного січення отвору 5. Необхідною для визначення є мінімальна площа прохідного січення, яку знаходять як бокову поверхню зрізаного конуса прямокутної форми отвору.

$$\Theta = \frac{\pi d}{4} \sqrt{L_1^2 + L_1 \sqrt{d_1^2 - d_2^2} + \frac{d_1^2}{4} - \frac{\pi d_1 d_2^2}{8 \sqrt{L_1^2 + L_1 \sqrt{d_1^2 - d_2^2} + \frac{d_1^2}{4}}}} \quad , \quad (6.14)$$

де  $d_1, d_2$  – діаметри відповідно кульки і отвору;  $L_1$  – відстань кульки від сидла отвору.

**Струменево-орієнтуючі захоплювачі.** При обслуговуванні технологічних процесів обробки або складання часто необхідною є точність встановлення. При використанні струменевих захоплювачів до конструкцій ставлять ряд спеціальних вимог, у тому числі вимоги точності орієнтації заготовок на власному торці відносно осі захоплювача. На рис. 6.13 зображена конструкція струменевого захоплювача (а/с№965768), який

викопує притягування до торця й орієнтацію на ньому струменем стисненого повітря кільцеподібних циліндричних заготовок за зовнішню і внутрішню поверхні. У даному випадку конструкція відрізняється тим, що торець тарілки знаходиться нижче торця корпусу 1, утворюючи на торці захоплювача циліндричне заглиблення, яке дорівнює товщині заготовки 9. При витіканні суцільного кільцевого потоку газу симетричного січення в центрі заглиблення на торці тарілки, за рахунок ежекції утворюється розрідження, під дією якого заготовка втягується всередину цього потоку до зіткнення з фрикційними елементами 10. Силами тертя з ними заготовка утримується в орієнтованому положенні. Центрування відносно осі захоплювача відбудеться в період руху заготовки до торця тарілки під присосуючою дією суцільного потоку газу.

Конструкція захоплювача для орієнтації деталей за внутрішнім діаметром (а/с №992182) виконана з циліндричним буртиком на торці діаметром, який менший від внутрішнього діаметра кільцеподібної заготовки 15 (рис.6.13). По утворюючій буртика виконано додатковий струменевий елемент (кільцева щілина 13 під кутом  $\alpha$  до поверхні заготовки). Притягнена до торця і легко рухома на повітряній подушці заготовка центрується відносно осі захоплювача витікаючим і з щілини 13 потоком стисненого повітря. Наявність у зоні торця захоплювача отвору радіусом  $r_3$ , який менший від  $r_0$ , змінить характер протікання повітря і, як наслідок, розрахунок присмоктуючої дії. З метою визначення сили  $F$  необхідно (відповідно до рівняння Бернуллі) проінтегрувати суму п'єзометричного і динамічного напорів по всій довжині, вибраних ділянок кільцевого зазору  $h_2$ . Враховуючи рівняння нерозривності потоку, а також визначаючи на кожній ділянці середню швидкість та інші параметри протікання потоку повітря.

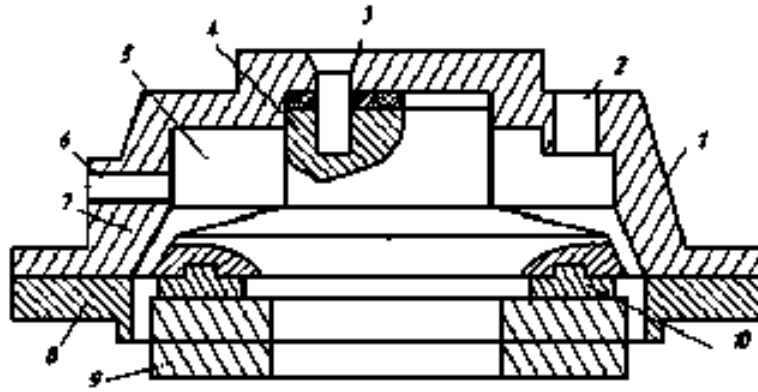


Рисунок 6.13. Струменевий захоплювач для орієнтації заготовок за зовнішнім діаметром

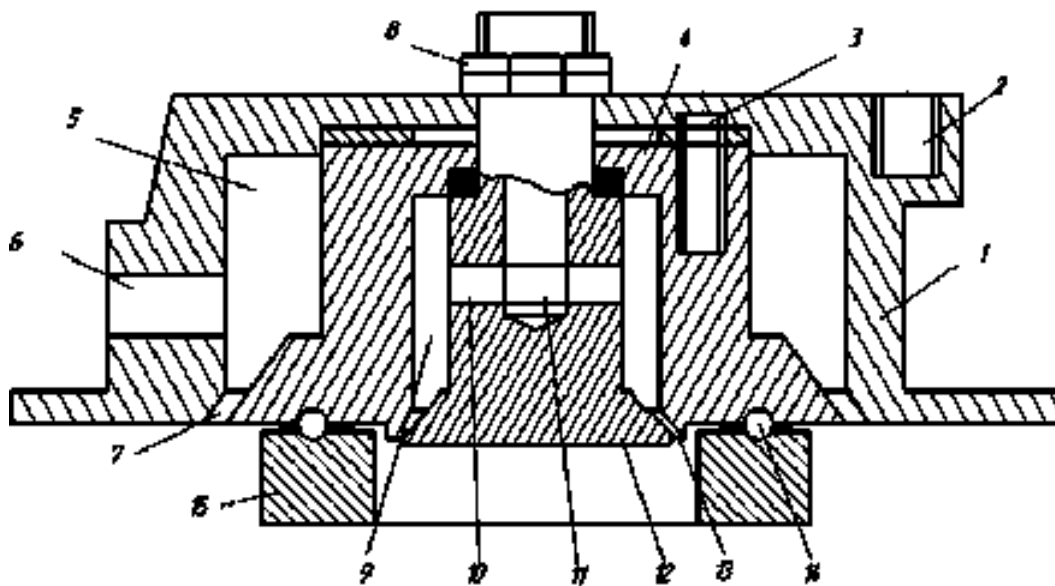


Рисунок 6.14. Струменевий захоплювач для орієнтації деталей за внутрішнім діаметром.

Силу присмоктування, завдяки інтегруванню величини напорів у заданих параметрах, можна визначити за формулою

$$F = \int_{r_3}^{r_1} (P_0 - P) 2\pi r dr + \int_{r_3}^{r_1} \frac{V_r^2 P_r}{2} 2\pi r dr, \quad (6.15)$$

При умові  $\frac{r_0}{r_3} > \frac{P_0}{P_n}$ , коли в зазорі  $h_2$  розширення повітря від атмосферного  $P_a$  на радіусі  $r_3$ , до надлишкового  $P_n$  на радіусі  $r'$  вважаємо ізометричним, можна

$$F_{np} = \frac{\pi(r_0^2 + r_3^2)r_0^2}{r_0^2 + r_3^2 \frac{P_a}{P_n}} \left( P_a \ln \frac{r_0}{r_3} + P_n - P_a \right) + 2\pi P_a \left[ (r_0 - r_3)^2 + \frac{r_0^2}{4} - \frac{r_3^2}{4} - \frac{r_0^2}{4} \ln \frac{r_0}{r_3} \right] +$$

$$+ \pi V_{cp} 2\rho_a \left[ \left( \frac{P_n}{P_a} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{r_0 - r_3}{2} \right)^{\frac{1}{n}} r_0 + r_1 \ln \frac{r_2}{r_1} \right] - \pi V_{cp} 2\rho_a h_2 \cos \frac{\alpha}{2} \quad (6.16)$$

Рухомість заготовок на повітряній подушці дозволяє легко виконувати вторинну орієнтацію заготовок на торці захоплювача або автоматизувати процес транспортування заготовок на торці захоплювача у власній площині, що сприяє створенню струменевих автоматичних живильників. Заготовки до торців струменевих захоплювачів притягуються під дією аеродинамічного ефекту притягання, захоплюються з визначеної відстані й звільняються від присмоктуючого ефекту після припинення подавання в захоплювач стисненого повітря. Точку прикладання захоплювачів вибирають залежно від конфігурації й маси заготовок так, щоб центр тяжіння був розташований як можна ближче до центра захоплювача.

Залежно від цільового призначення струменеві захоплювальні органи можна обладнати механізмом піднімання, наприклад, використовувати в якості захоплювачів автоматичних засобів, завантаження або встановлюватися стаціонарно для забезпечення поштучного зняття заготовок із горизонтально або вертикально рухомих частин пристроїв подавання.

**Струменеві захоплювачі кільцеподібних деталей.** Принципова схема зображеного на рис. 6.15 захоплювача відрізняється від раніше описаних тим, що або в конічній тарілці захоплювача виконано центральний отвір, або на його торці закріплюються кільцеподібні заготовки. Наявність у зоні торця тарілки отвору з радіусом  $r_3$  меншим радіусом  $r_0$  і обумовленого розрахунковим шляхом, а також усмоктуване крізь нього атмосферне повітря дещо змінює характер розрахунку силових та конструктивних характеристик захоплювача.

При прийнятих раніше допущеннях порядок розрахунку силових характеристик такого захоплювача буде таким. Визначені співвідношення між  $r_3$  і  $r_0$  сприяють збільшенню сили присмоктування кільцеподібних заготовок.

Розглянемо умову  $\frac{r_0}{r_3} > \frac{P_a}{P_n}$ , коли в проміжку між торцем тарілки і заготовкою розширення повітроплинного потоку атмосферного  $P_a$  на радіусі  $m_3$  до надлишкового тиску  $P_n$  на деякому радіусі  $m$  кільцевої щілини, обумовлений як припускаємо, ізотермічним, а потім подальший його плин при тиску  $P_n$ .

$$r = r_3 \frac{P_a}{P_n} \quad (6.17)$$

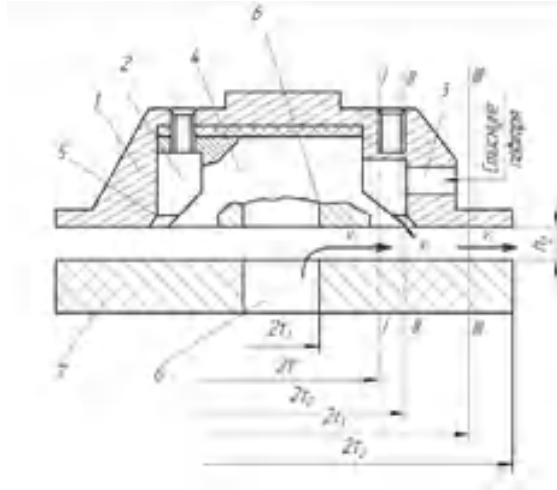


Рисунок 6.15. Розрахункова схема струминного захоплювача для кільцевих заготовок:

- 1 – корпус захоплення; 2 – камера для подавання стисненого повітря;  
3 – отвір для подавання повітря від джерела; 4 – конічна вставка; 5 – кільцева конічна щілина; 6 – центральний отвір конічної вставки або заготовки; 7 – заготовка

Загальну силу присмоктування захоплювача запишемо

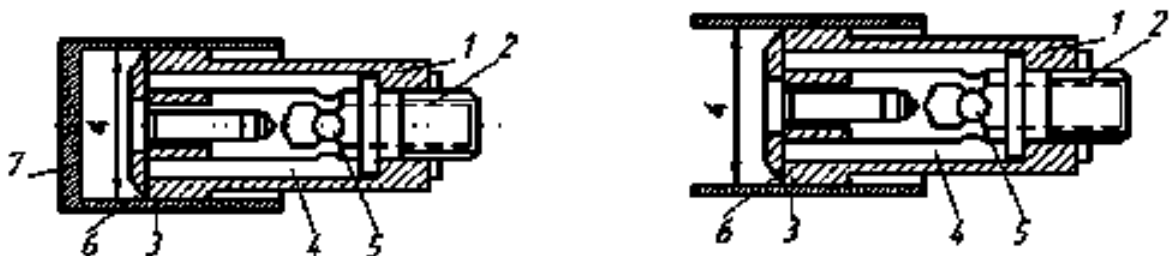
$$F_{np} = \pi r_3^2 \left[ \frac{P_a}{P_n^2} (P_a + P_n) \left( P_a \ln \frac{P_a}{P_n} + P_n - P_a \right) + 2P_a \left( \frac{P_a}{P_n} - 1 \right)^2 - P_a \left( \frac{P_a^2}{P_n^2} \ln \frac{P_a}{P_n} - \frac{P_a^2}{2P_n^2} - \frac{1}{2} \right) + \right. \\ \left. (P_a - P_n) \left( \frac{r_0^2}{r_3^2} - \frac{P_a^2}{P_n^2} \right) + \frac{P_a^2 (P_a \ln \frac{P_a}{P_n} + P_n - P_a)}{P_n (P_a - P_n)} \ln \frac{r_0}{r_3} \frac{P_a}{P_n} \right] + \quad (6.17) \\ + \pi K_{cm}^2 V_0^2 \left[ \rho_a \left( \frac{P_n}{P_a} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{r_1 - r_0}{2} \right) r_0 + \rho_a r_1^2 \ln \frac{r_2}{r_1} \right] - \pi V_0^2 \rho_a r_0 h_2 \cos \frac{\alpha}{2}$$

Записуючи умову максимального значення сумарної притягуючої сили,

струменевого захоплювача кільцеподібних заготовок і розв'язуючи рівняння (6.17) відносно  $r_0$ , знайдемо конструктивні розміри конічної кільцевої щілини, відповідні стандартним розмірам внутрішніх отворів кільцеподібних заготовок.

**Струменеві захоплювачі об'єктів типу "склянки".** При автоматизації технологічного устаткування штучними заготовками виникає необхідність захоплення їх за внутрішню (циліндричну, конічну) поверхню. На відміну від відомих [12] струменеві захоплювачі при роботі з нежорсткими, різного матеріалу й іншими заготовками мають, крім перерахованих раніше, ряд додаткових переваг. До них відноситься відсутність контакту деталей – захоплювач, висока точність базування і центрування циліндричних деталей, інтенсивне охолодження ден-нагрітих об'єктів, висока продуктивність (час захоплення до 0,1-0,5 с) і надійність. На рис. 6.16 зображена конструктивна схема струменевого ежекційного захоплювача з кільцевою щілиною, що призначений для захоплення й центрування деталей із внутрішньою циліндричною чи конічною поверхнею (деталі типу склянок, кришок та ін.).

У корпусі 1 захоплення встановлено пустотілий вал 2, на торці якого закріплена вставка 3 з конічною поверхнею. Вставка 3 усередині корпуса утворює камеру 4, що за допомогою підвідних каналів 5 вала 2 з'єднана з джерелом стисненого повітря. Крім цього, на торці корпуса 1 між зовнішньою його фаскою і конічною периферією вставки 3 утворюється кільцева конічна щілина 6, що єднає камеру 4 з атмосферою.



а)

б)

Рисунок 6.16. Схема ежекційного струменевого захоплювача об'єктів типу

## "склянка"

Захоплення працює в такий спосіб. У камеру 4 подається стиснене повітря, що крізь щілину 6 витікає в атмосферу. При захопленні заготовки 7 типу "склянка" кільцевий газовий потік протікає в зазорі між внутрішньою поверхнею заготовки і бічною поверхнею захоплювача в напрямку протилежному від дна склянки. При витіканні в зоні торця захоплювача за рахунок ежекції відбудеться зниження тиску  $P_1$  до величини, менше атмосферного  $P_a$ .

За наявності в заготовці отвору (рис. 6.16б) відбудеться підсмоктування повітря з атмосфери, що в остаточному підсумку призведе до зменшення величини розрідження в зоні між торцями заготовки і захоплювача. Поява розрідження приводить до утворення сили  $F$ , за допомогою якої склянка 7 утримується на захоплювачі.

Сила  $F$  притягання склянки струменевим захоплювачем пропорційна величині, розрідження  $P_e = P_a - P_v$  на торці конічної тарілки (силою в'язкого тертя потоку повітря до стінок можна зневажити)

$$F = (P_a - P_M) \frac{\pi d_{OM}^2}{4}, \quad (6.18)$$

де  $P_M$  – абсолютний тиск у порожнині склянки;

$d_{OM}$  – діаметр об'єкта маніпулювання.

**Струменеві захоплювачі об'єктів типу "фланці".** При вирішенні проблем автоматизації навантаження й розвантаження циліндричних деталей типу "фланці" на окремих верстатах і автоматичних лініях широко застосовуються також струменеві захоплювальні пристрої.

Струменевий захоплювач для захоплення й центрування циліндричних об'єктів типу "фланці". Він складається з корпусу 1, на якому закріплено склянка 2 так, що утворюється замкнута камера 3 для подавання стисненого повітря і кільцева конічна щілина 4 для виходу повітря з камери 3 в атмосферу.

Захоплювання зорієнтованої заготовки, що знаходиться у визначеній позиції, проходить через увімкнення струминного сопла, закріпленого на маніпуляторі захоплювача, при подаванні стисненого повітря від магістралі в

камеру 3, опускання захоплювача в отвір заготовки, притягання останньої до базових елементів 7.

Аеродинамічний ефект притягання виникає в результаті ежекції атмосферного повітря через радіальний проміжок висотою 1м, а його максимальне значення відповідає  $h < 0,08\text{мм}$ . Максимальну силу притягання заготовки до торця захоплювача визначають за формулою:

$$F = F_{cm} - F_{mp}, \quad (6.19)$$

де  $F_{cm}$  – сила, викликана падінням статичного тиску в проміжку 6;

$F_{mp}$  – сила, викликана тертям кільцевого потоку повітря до внутрішньої поверхні заготовки.

Силу  $F_{cm}$  знаходять інтегруванням розділу вакууму в проміжку 6

$$F_{cm} = 2\pi \int_{r_1}^{r_2} (p_a - p) r dr, \quad (6.20)$$

де  $p_a = 0,1033$  Мпа - атмосферний тиск при нормальних умовах;  $p$  – абсолютний тиск повітря в проміжку 6 на радіусі  $r$ ;  $r_1$  – радіус отвору в заготівки;  $r_2$  – радіус торця захоплювача.

Підраховуючи масові втрати повітря  $G_1$  за формулою Сен-Венана-Венцеля

$$G_1 = \mu_0 S_0 p_0 \sqrt{\frac{2}{RT} \frac{k}{k+1} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}, \quad (6.21)$$

із огляду на швидкість потоку отримаємо

$$F_{np} = \frac{\lambda_1 \mu_0 S_0 S_b}{4 \rho_1 S_1^2} \frac{p_0^2}{RT} \frac{k}{k+1} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}, \quad (6.22)$$

де  $\mu_0, \varphi_\epsilon$  – коефіцієнт витрат повітря, який витікає з щілини 4;

$\epsilon$  – коефіцієнт стискання потоку в щілині 4.



## **7. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**

### **7.1. Класифікація завантажувальних пристроїв**

Завантаження різного технологічного обладнання проводиться автоматично з допомогою завантажувальних пристроїв (ЗП), які можна поділити на дві групи:

- для штучних заготовок;
- для бунтового матеріалу.

Класифікація пристроїв автоматичного завантаження дозволяє оцінити їх з конструктивного, технологічного та економічного боку, встановити систему позначень, увести уніфікацію, класифікацію і т.д.

В автоматичних ЗП запас штучних заготовок, які розміщені в тарі, має вигляд:

- магазинного;
- штабельного;
- бункерного.

За магазинним способом розташування деталі або заготовки розміщені в один ряд з проміжками або без них. За штабельним:

- а) вроздріб по кілька рядків;
- б) пакетно в кілька шарів.

За бункерним способом деталі розміщені хаотично.

В магазинних ЗП деталі розміщені в один ряд і кожна деталь, виходячи з магазину, захоплюється живильником і подається в робочу зону верстата.

В бункерних ЗП деталі захоплюються живильником, який здійснює зворотно-поступальний рух. При цьому неправильно орієнтовані деталі до живильника не доходять.

Найменш сучасне — магазинне розташування заготовок, тому що воно мало автоматизоване.

Аналіз конструкції завантажувачів показує, що останні мають кілька

загальних цільових механізмів. Проектування таких ЗП полягає у komponуванні трьох основних компонентів:

- місткість;
- привод;
- вузли цільового призначення (захоплювач, накопичувач, відсікач, живильник, скидач, зворушувач).

Залежно від способу переміщення деталей завантажувачі можна розділити на:

- самоточні — заготовки рухаються під дією сили тяжіння;
- напівсамоточні — заготовки рухаються під дією сили тяжіння, але регулюється сила тертя;
- примусові — заготовки рухаються під дією привідних механізмів;
- комбіновані.

ЗП залежно від виду руху їх транспортних пристроїв ділять на :

- зворотно-поступальні;
- поступальні;
- коливні;
- обертові;
- вібраційні.

Застосування ЗП дає змогу збільшити продуктивність обладнання — вони дозволяють зменшити допоміжний час.

**ВИСНОВОК:** автоматизація обладнання загального призначення:

- збільшує продуктивність;
- зменшує частку ручної праці;
- покращує умови праці.

### **Автоматизація токарних робіт**

Об'єктами автоматизації для токарно-гвинторізних верстатів, крім завантажувально-розвантажувальних робіт, є:

- точне зупинення робочих органів, яке здійснюється за допомогою упорів. При роботі по упорах бажано, щоб верстат мав систему автоматичного

зупинення - автоматичне вимкнення подавання;

- автоматизація прискорених переміщень робочих органів, які можна поділити на дві основні групи: вузли, що мають установчі переміщення, і вузли, що мають робочий рух подавання.

Здійснити прискорення переміщень можна за допомогою перемикачів на більше число обертів двигуна або спеціального пристрою, який має власний привод або виникає головний рух подачі.

Найпростішим тут є муфти обгону:

- автоматизація простих циклів роботи токарних верстатів. Автоматичний цикл складається з: робочого подавання, швидке підведення різця і супорта, підведення, стоп;

- автоматизація токарних верстатів для нарізування різьби, де головним рухом є робочий хід і реверс. Головна умова — нарізання різі можливе тільки тоді, коли крок різьби є кратним кроку ходового гвинта;

- автоматизація револьверних головок здійснюється з допомогою повертаючо-фіксуючих механізмів. Виділяють 3 групи: пристрої повертання, на яких закріплюється інструмент або заготовка, механізм повертання і фіксуючий механізм, який забезпечує кінцеву точність повертання.

Механізми повертання бувають: зубчасті, плечові, кулачкові, мальтійські (бувають зовнішні, внутрішні й сферичні).

Поворотні пристрої служать для переміщення інструменту або заготовок. До них відносять: револьверні головки, шпиндельні блоки, поворотні столи-каруселі. Найчастіше для періодичного повертання застосовують кулачково-роликові та мальтійські механізми. Переваги кулачково-роликових механізмів:

1. Можливість отримати вигідне співвідношення між часом повороту і вистою каруселі.
2. Здійснення різних законів руху веденої ланки.
3. Відсутність спеціального механізму фіксації.
4. Зручність конструювання.

Мальтійські механізми відрізняються простотою конструкції, достатньою

плавністю і надійністю роботи.

На токарних верстатах можна автоматизувати також:

- прості цикли роботи;
- керування швидкостями і подачами;
- завантаження заготовок;
- затискання заготовок.

### **Автоматизація свердлильних робіт**

Операції свердління не трудомісткі, але через їх велику кількість і часту повторюваність займають багато часу, верстатів і робітників. Машинний час на свердлильних верстатах значно менший від допоміжного. Скорочення допоміжного часу можна досягти автоматизацією керування, перемикачів і завантаження, збільшення швидкості різання і холостих ходів, концентрації операцій, використання пристосувань.

На цих верстатах можна здійснити автоматизацію рухів подачі шпинделя, руху стола при нерухомому шпинделі. Ці рухи автоматизують механічним, пневматичним, гідравлічним способами з використанням електроавтоматики.

#### **1. Автоматизація циклів руху шпинделя:**

- швидке переміщення інструменту;
- робоча подача;
- швидке відведення інструменту;
- пауза, під час якої затискається деталь.

2. Автоматизація рухів стола — створення різних конструкцій столів, у т.ч. і самостійних агрегатів, для автоматичного ділення, піднімання й опускання.

Механізми переміщення столів бувають: механічні, електромеханічні, пневматичні, гідравлічні, пневмогідравлічні. Автоматичні поворотні й позиційні столи використовуються з універсальними і спеціальними свердлильними головками.

3. Автоматизація й механізація присторойів прогресивних конструкцій забезпечується шляхом застосування затискних елементів з пневмо- гідро- і

пневмогідравлічними приводами, автоматичних розподільних клапанів і кранів, свердлильних і револьверних головок, скальчастих кондукторів і т.п.

4. У серійному та масовому виробництвах застосовують багатошпindelьні свердлильні головки, які є спеціальні, на взірець дзвону, з шестерінчастим приводом і кривошипно-шатунні.

5. Пристрої для механізації керування, в системі яких є: пристрої контролю дотримання розмірів, установчих і холостих ходів. Це – показники глибини свердління, лімби, упори, швидкозмінні патрони і втулки, муфти, пристрої для координатної установки деталей. Упори бувають одно- і багатопозиційні, нерухомі (точність 0,2 мм), індикаторні (точність 0,05 мм).

6. Комплексна автоматизація циклів роботи свердлильних верстатів забезпечується за допомогою підвісних кондукторних плит, скальчастих кондукторів, комбінованого інструменту, автоматизованої зміни інструменту, подавання і затискування деталей і т.д.

7. Механодіючі пристрої й автоматизація циклів обробки деталей на розточувальних верстатах.

Повна автоматизація не проводиться у зв'язку з виконанням точних робіт на пропускних деталях одиничного виробництва і в інструментальних цехах. Удосконалення установки вузлів обладнання з метою отримання необхідних міжосьових відстаней (координат) забезпечується за рахунок індикаторних пристроїв і кінцевих мір, багатопозиційних індикаторних пристроїв, оптичних вимірювальних систем з відрахунком розмірів на дисплей, координатних лінійок з отворами, універсальних переналагоджувальних пристроїв та ін. Зменшення часу на встановлення інструментів, їх регулювання для одержання потрібних розмірів. Здійснюють спеціальні конструкції шпинделів, які кріплять різальний інструмент, допоміжний інструмент, пристрої автоматичної заміни інструменту, пристрої з ЧПК.

### **Автоматизація фрезерних робіт**

В універсальних фрезерних верстатах механізм обробки здійснює лише один обертовий рух – рух різання. Механізми поперечної, поздовжньої та

вертикальної подачі встановлюють на столі.

Автоматизація здійснюється в напрямку керування рухами встановлення, затискування і знімання деталей.

Основні напрямки автоматизації фрезерних верстатів:

1. Автоматизація робочого циклу, що складається з елементів:

- прискорене підведення інструменту;
- перемикання подачі з прискореної на робочу;
- зворотне перемикання;
- прискорений зворотний хід;
- зупинка стола і ввімкнення;

Сюди входить автоматичне гальмування, робота кількох приводів одночасно. Пристрої бувають пневматичні, гідравлічні, механічні, електромеханічні. Часто для автоматизації застосовують спеціальні ділильні пристрої, копії, пристрої з ЧПК.

1. Автоматизовані пристосування для фрезерних верстатів: багатопозиційні столи для безперервного фрезерування; з ділильними механізмами; для зустрічного і попутного фрезерування; автоматичної заміни інструменту; автоматичного завантаження.

### **Автоматизація шліфувальних робіт**

До шліфувальних операцій ставлять високі вимоги. Найбільше застосовують плоско-, кругло- і безцентрово-шліфувальні верстати.

Автоматизація циклів отримання розмірів при шліфуванні забезпечується використанням упорів, активних методів контролю, автоматичного підналагодження, застосування датчиків різної конструкції.

1. Автоматизація внутрішнього та зовнішнього шліфування полягає у використанні пристроїв для закріплення деталей, підведенні і відведенні інструменту, знятті деталей, контролюванні розмірів у процесі шліфування (круг швидко зношується і необхідно підналагоджувати). Для вимірювання застосовують однократні пристрої з вимірювальним наконечником, двоконтактні з індуктивним датчиком, триконтактні з пневмо-

електроконтактними датчиками та інші. Для контролю отворів у процесі обробки застосовують одно-, дво- і триконтактні вібраційні датчики.

2. Автоматизація циклів обробки пов'язана з завантаженням і затискуванням деталі, з автоматичним підналагодженням і правкою круга.

3. Автоматизація безцентрово-шліфувальних верстатів проводять з допомогою відомих завантажувальних пристосувань, автоматичних підналагоджувальників. Процес проходить з допомогою ведучого і веденого кругів. Ведучі круги бувають у вигляді спеціальних кулачків з криволінійним профілем.

### **Автоматизація обробки деталей на агрегатних верстатах**

Верстати застосовують у крупносерійному і масовому виробництвах, вони мають нормалізовані вузли, змінні затискні й інструментальні елементи, швидко переналагоджуються. Основним елементом є різноманітні силові головки:

- пневмогідравлічні, механічні, електромеханічні, гідравлічні;
- самодіючі й несамодіючі, призначені для свердління глибоких отворів;
- самодіючі бувають з розміщенням електродвигуна: ззаду головки; зверху, через редуктор або передачу;
- одношпindelні й багатошпindelні;
- оснащені рухомими й нерухомими столами, поворотними механізмами горизонтального й вертикального типу (рис. 7.1).

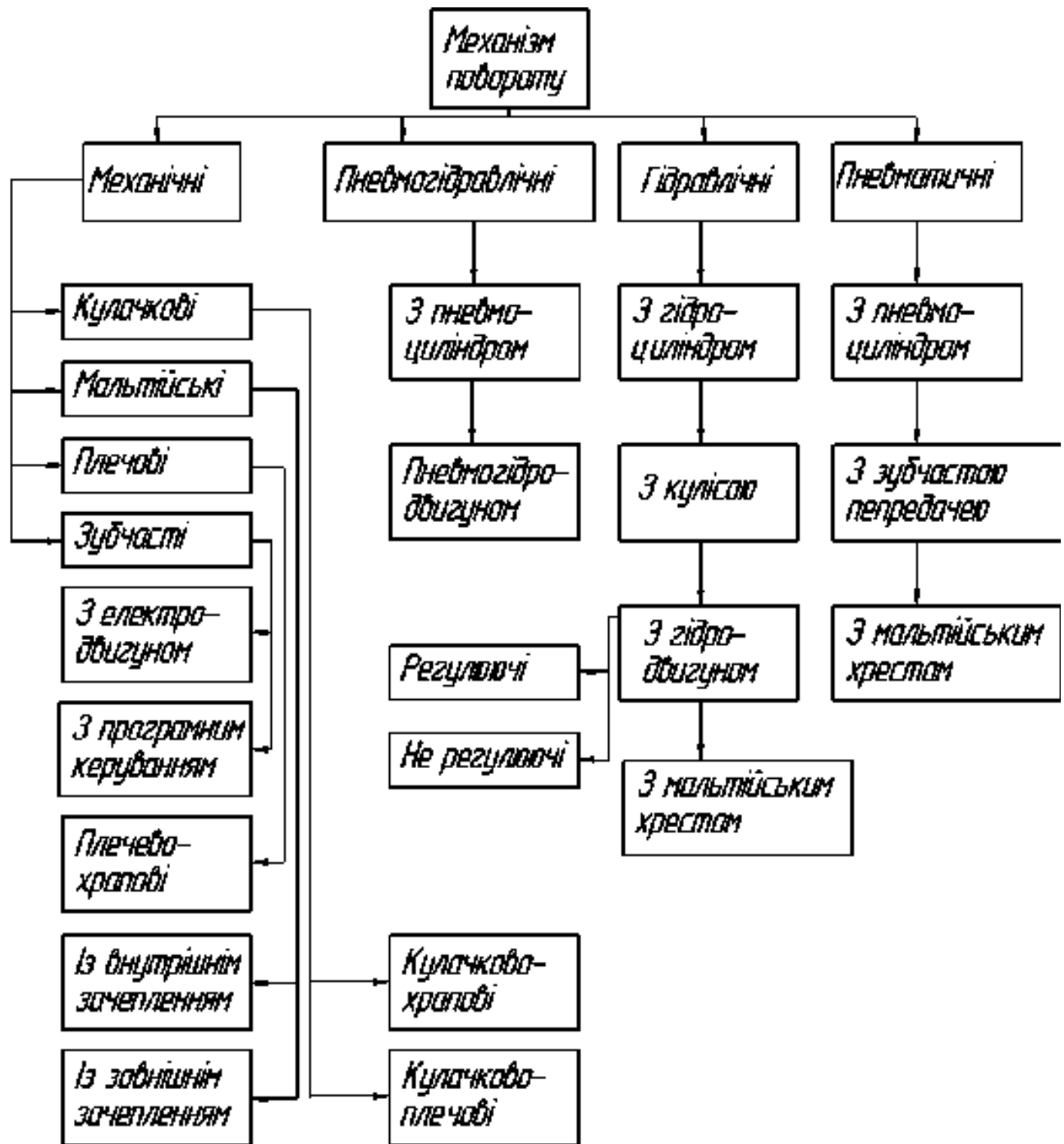


Рисунок 7.1. Класифікація механізмів повороту

## 7.2. Методика розрахунку затискних елементів завантажувальних пристроїв

Механізми затиску призначені для закріплення оброблюваних заготовок у робочих позиціях обладнання та автоматичних ліній. Закріплення заготовки в робочій позиції виконують таким чином, що вона протягом наступного циклу



обробки здійснює задані переміщення, не змінюючи положення відносно бази кріплення (затиску).

В автоматах різного технологічного призначення механізми затиску мають свою специфіку. Наприклад, в токарних пруткових автоматах механізм затиску передає прутку, який обертається, необхідний для процесу різання крутний момент, в агрегатних і автоматичних лініях механізми затиску утримують заготовки під час їхньої обробки і т. д.

У механізми затиску можна поділити на дві групи:

1. Механізми, призначені для затискування симетричних виробів (прутки, труби, і т. д.).

2. Механізми призначені для затиску виробів будь-якої форми (корпусних деталей, кронштейнів плит, і т.д). Вироби закріплюють затискними органами (цангами, кулачками, важелями, іт. д.), переміщення яких для створення необхідної сили затискування здійснюється спеціальними приводами безпосередньо або через проміжні передачі. Привод затискного механізму може бути здійснений від загального приводу або від індивідуального пневмо-, гідро-, електродвигуна.

За джерелом затискного зусилля всі механізми ділять на дві групи:

1) механізми з силовим затисканням (СЗ);

2) механізми з жорстким замиканням (ЖЗ). У механізмах із СЗ зусилля затискування створюється за рахунок зовнішніх сил: гідравліки, пружини і т.п. Зусилля затискування заготовок незначно залежить від коливань розмірів затискного виробу. В механізмах ЖЗ зусилля затискування створюється за рахунок деформації передаточного і затискного елементів. Тут напруження в елементах вже значно залежать від точності затискного матеріалу. За типом затискного органа розрізняють такі механізми затиску: цангові, кулачкові, електромагнітні, мембранні, шарикові, вакуумні, гідропластові, важільні і т.п. Тип затискного органа і джерело затискного зусилля зазвичай незалежні, бо їх вибирають за різною схемою.

В окремих автоматизованих робочих машинах, в основному в

напівавтаматах, лише подають команду на затиск, а процес затискування проходить автоматично. В автоматах і автоматичних лініях механізм затиску є одним із найважливіших циклових механізмів і вся його робота, включаючи команди, проходить без сторонньої допомоги. Таким чином, у відповідності з удосконаленням робочої машини існують такі системи затиску:

- 1) ручна;
- 2) напівавтоматична;
- 3) автоматична.

### **Основні вимоги до механізмів затиску**

В однопозиційних машинах час спрацювання затискних механізмів не співпадає з обробкою, тому до швидкодії механізмів затиску в однопозиційних машинах, особливо автоматах, висувають підвищені вимоги. В баатопозиційних машинах час затискання затискних пристроїв об'єднують з обробкою, вимоги до їх швидкодії не такі високі, як в одношпindelних автоматах.

До основних вимог, які ставлять до механізмів затиску, відносяться:

1. Забезпечення надійності затиску.
2. Забезпечення концентричності при затискуванні симетричних профілів незалежно від коливань розмірів заготовки.
3. Забезпечення стабільності затискування виробу по довжині.
4. Забезпечення необхідної жорсткості затиску.
5. Забезпечення високої надійності і довговічності в роботі.
6. Забезпечення нормальних зусиль затискування при допустимих відхиленнях розмірів затискаючих поверхонь.
7. Конструктивна простота і малі габарити механізмів затиску (рис.7.2).

При проектуванні затискних механізмів (ЗМ) необхідно враховувати в кожному конкретному випадку додаткові вимоги, які залежать від виду заготовки, вибраного способу обробки і т. д.

До таких вимог можна віднести вимоги швидкої зміни і легкості в регулюванні для універсальних верстатів і автоматів, що працюють в умовах швидкозмінного виробництва.

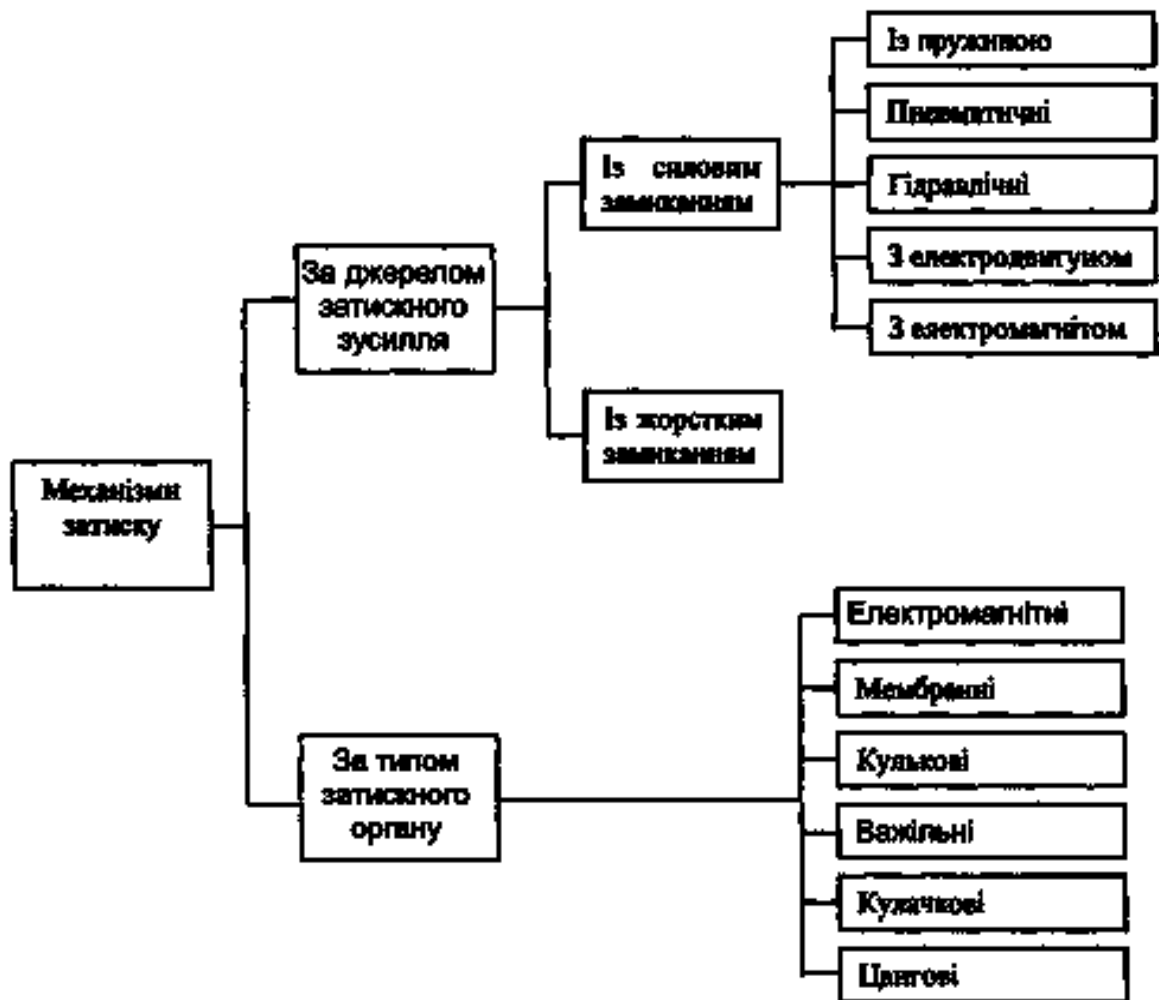


Рисунок 7.2. Класифікація механізмів затиску

### 7.3. Різновидності затискних механізмів (ЗМ) та їх застосування.

#### Клинові механізми

В якості силових механізмів верстатів та їх пристосувань застосовують:

- 1) механізми з односкосним клином ( без роликів і з роликами);
- 2) багатоклинові самоцентруючі механізми.

Перші найчастіше використовуються в якості підсилювачів пневмо- і гідроприводів, а другі – в конструкціях патронів і оправок.

#### Механізми з односкосним клином

З умови рівноваги клина знаходимо співвідношення сил.

1. Для ідеального механізму (рис. 7.3а)

$$Q = P = W \operatorname{tg}(\alpha) \quad (7.1)$$

2. Для механізму з тертям по обох поверхнях клина (рис. 7.3б)

$$\begin{aligned} P &= W \operatorname{tg}(\alpha + \varphi); \\ F &= W \operatorname{tg}(\varphi_1); \\ Q &= P + F_1 = W [\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \operatorname{tg}(\varphi_1)]. \end{aligned}$$

Звідси вихідна формула

$$W = Q \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \operatorname{tg}(\varphi_1)}. \quad (7.2)$$

3. Для механізму з тертям тільки по похилій площині клина  $\operatorname{tg} \varphi_1 = 0$  і вихідна формула набуде вигляду

$$W = Q \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}. \quad (7.3)$$

4. Для клина з двома роликами (рис. 7.4) тертя ковзання замінюється на тертя кочення і у формулу (2) замість коефіцієнта тертя ковзання ( $\operatorname{tg} \varphi_1$ ) і кута тертя ковзання  $\varphi_1$  потрібно підставити приведений коефіцієнт тертя кочення ( $\operatorname{tg} \varphi_{1np}$ ), тобто виражені відповідно через коефіцієнт і кут тертя кочення ( $\varphi_{1np}$ ).

Тоді формула (7.2) набуде вигляду:

$$W = Q \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{np}) + \operatorname{tg}(\varphi_{np})}. \quad (7.4)$$

У конструкціях з роликами знижуються втрати на тертя, а сили затиску збільшуються на 35 – 50 %.

5. Для клина з роликом тільки на похилій площині кінцева формула буде мати вигляд

$$W = Q \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{np}) + \operatorname{tg}(\varphi_1)}. \quad (7.5)$$

Передаточне відношення переміщень і хід  $S_w$  знаходимо з рис. 7.4а

$$i_n = \frac{S_w}{S_Q} = \operatorname{tg}(\alpha); \quad S_w = S_Q \operatorname{tg}(\alpha).$$

### Багатоклинові самоцентруючі механізми

Найпоширенішим представником цієї групи механізмів є цанговий затискний механізм. Однією з характерних особливостей цангових механізмів є

широкий діапазон розмірів закріплюючих заготовок. Найменший діаметр закріплюючих заготовок складає 0,5мм.

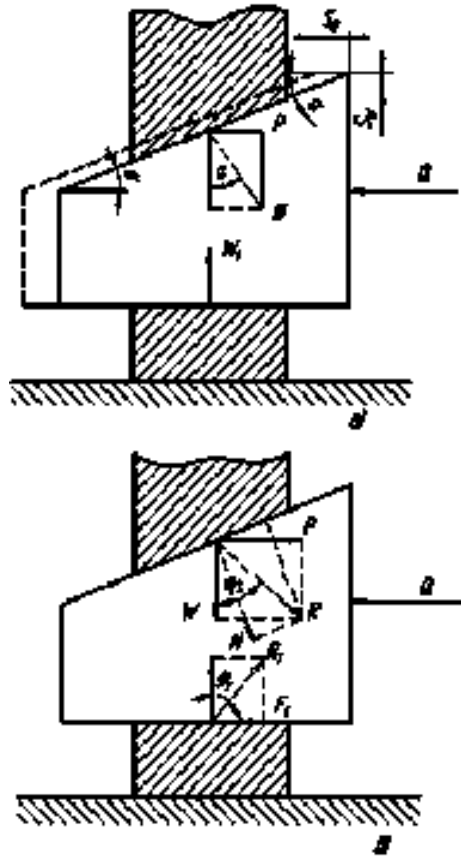


Рисунок 7.3. Схеми для розрахунку характеристик механізму з односкісним клином: а) ідеальний механізм; б) реальний механізм.

При розрахунках визначається сумарна сила затиску  $W_{\text{сум}}$ , яка розвивається всіма клинами одночасно. Так як  $W$  не залежить від числа клинів (скосів), то розрахунок  $W_{\text{сум}}$  виконуємо за попередніми формулами, вважаючи, що вихідна сила  $Q$  прикладена до одного клина.

Для механізмів з клинами, які мають тертя тільки по похилій площині,

$$W = Q \frac{1}{\tan(\alpha + \varphi)}. \quad (7.6)$$

Сила затиску кожним клином

$$W_{\text{де}} \frac{W_{\text{сум}}}{n}, \quad (7.7)$$

$n$  – кількість клинових елементів у механізмі.

Загальна сила тертя від числа клинових елементів не залежить:

$$F = W \cdot f \cdot n = \frac{W_{\text{сум}}}{n} \cdot f \cdot n = W_{\text{сум}} \cdot f. \quad (7.8)$$

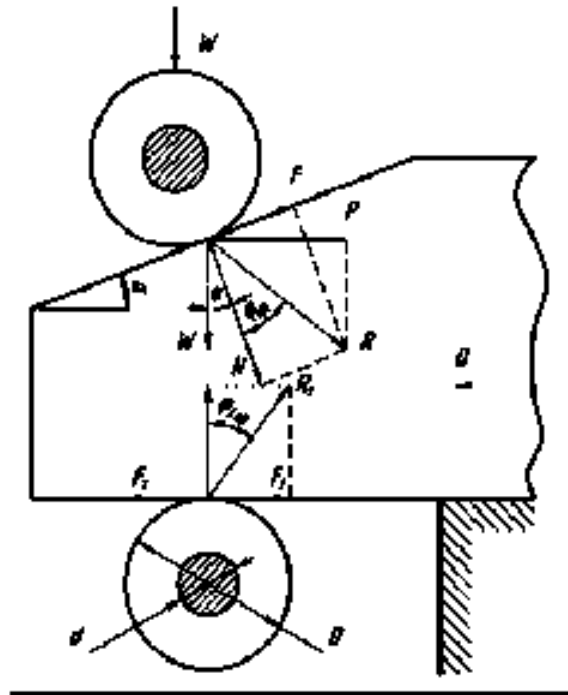


Рисунок 7.4. Схеми для розрахунку характеристик механізму з односкісним клином і роликом.

### Клиноплунжерні механізми

Клиноплунжерні механізми застосовують з одним, двома і більшим числом плунжерів. Одно- і двоплунжерні використовуються в якості підсилювачів привода; багато плунжерні – в якості центруючих механізмів, патронів та оправок.

На (рис. 7.5) зображені схеми клиноплунжерних механізмів з одним плунжером. Силкові характеристики механізмів залежать від їх конструкції.

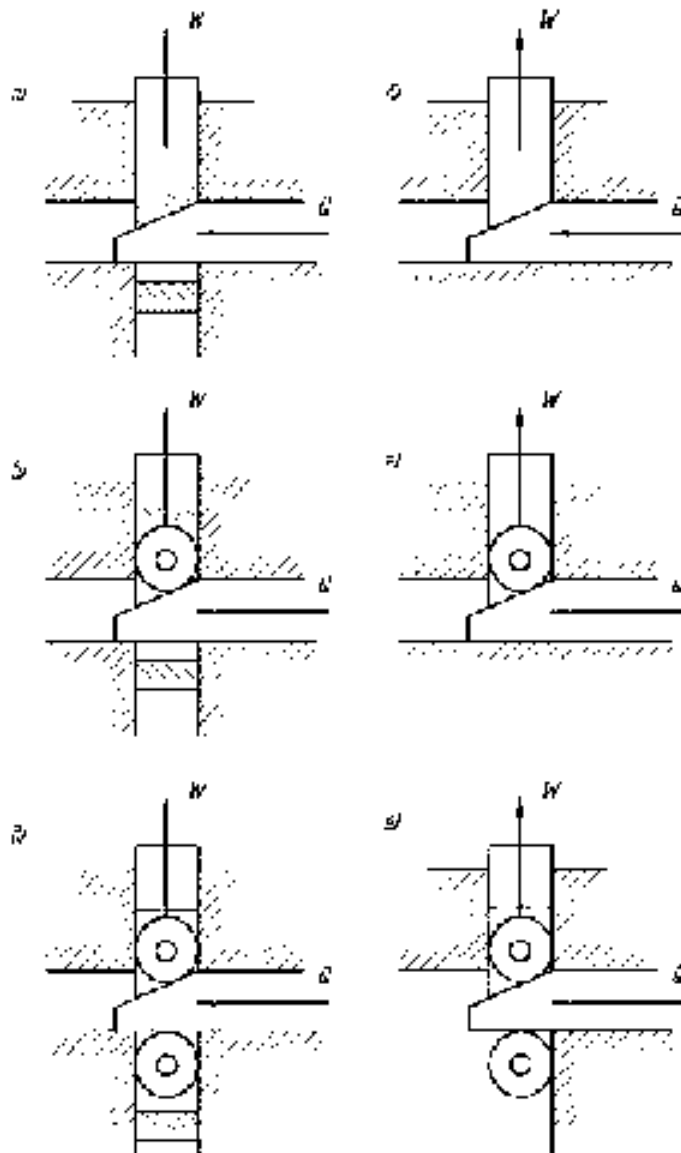


Рисунок 7.5. Схеми клиноплунжерних механізмів

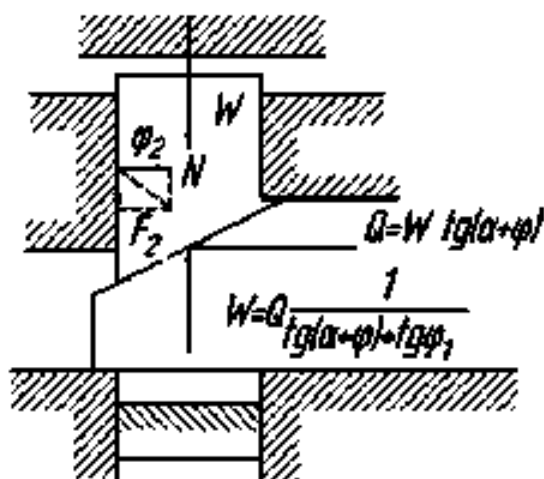


Рисунок 7.6. Схема для розрахунку клиноплунжерного механізму з двохопорним плунжером без роликів

1. Для механізму, який зображено на рис. 7.5а, розрахункова схема на (рис. 7.6), бо в цьому випадку розглядається рівновага плунжера, а не клина, то сила  $P$  і  $W$  напрямлені від клина на плунжер. З умови рівноваги плунжера знаходимо:

$$\begin{aligned} P &= N, \\ W &= W_1 - F_2 = W_1 - P \times \sin(\varphi_2), \\ W &= W_1 - P \times \sin(\varphi_2). \end{aligned}$$

Підставляючи  $P$  і отримаємо

$$W = Q \times \frac{1}{\sin(\alpha + \varphi) + \sin(\varphi)} - Q \times \frac{1}{\sin(\alpha + \varphi) + \sin(\varphi)} \times \sin(\alpha + \varphi) + \sin(\varphi_2).$$

Після перетворення отримаємо вихідну формулу

$$W = Q \times \frac{1 - \sin(\alpha + \varphi) + \sin(\varphi_2)}{\sin(\alpha + \varphi) + \sin(\varphi)}. \quad (7.9)$$

2. Для механізму, який зображено на рис. 7.5в у формулі (7.9) замість  $\sin(<pz)$  підставимо  $\sin(<P2np)$ , тобто приведений коефіцієнт тертя, виражений через коефіцієнт тертя для двохопального плунжера.

$$\sin(\varphi_{2np}) = \frac{3 \times}{a} \sin(\varphi_2), \quad (7.10)$$

де  $l$  – відстань від середньої точки контакту консольного плунжера;

$a$  – довжина направляючої консольного плунжера;

$\sin(<Pi)$  – коефіцієнт тертя двохопального плунжера.

Тоді формула (7.9) набуде вигляду

$$W = Q \times \frac{1 - \sin(\alpha + \varphi) + \sin(\varphi_{2np})}{\sin(\alpha + \varphi) + \sin(\varphi)}. \quad (7.11)$$

3. Для механізму, який зображено на рис. 7.5в, замість  $\sin$  у формулі (7.11) підставляємо  $p_{np}$ , яке визначаємо за формулою (5).

4. Для механізму (рис. 7.5г) замість  $\sin(<P2)$  і кута  $\varphi$  у формулі (7.11) підставляємо  $\sin(\varphi_{np})$  і  $\varphi_{np}$ .

5. Для механізму (рис. 7.5д) замість  $\varphi$  і  $\varphi_1$  підставляємо  $\varphi_{np}$  і  $\sin(\varphi_{np})$ , що визначені за формулою (5).

6. Для механізму (рис. 7.5е) замість  $\varphi$ ,  $\sin(\varphi_1)$  і  $\sin(\varphi_2)$  підставляємо  $\varphi_{np}$ ,



$tg(\varphi_{1np})$  і  $tg(\varphi_{2np})$ .

Умови та запас самогальмування ті ж, що в клинових механізмах.

### Багатоплунжерні самоцентруючі механізми

В цьому випадку всі консольні плунжери розташовані навколо багатоскосного клина і, рівномірно стискаючи його, не передають тиску на його опорну площину, то у вихідній формулі (7.11) і її частинах значення  $tg(\varphi_l)=0$  виключаються.

$$\text{Тоді } W = Q \times \frac{1 - tg(\alpha + \varphi) + tg(\varphi_{2np})}{tg(\alpha + \varphi)},$$

де  $tg(\varphi_{2np})$  – визначають з формули (7.11).

Сила затиску кожним плунжером  $W = W_{\text{сум}}/n$ .

### Важільні механізми

Ці механізми використовують у ролі проміжних ланок у гвинтових і ексцентрикових прихватах. На рис. 7.7 зображено три схеми важелів. На всіх схемах: 1 – затискна деталь; 2 – точка опори. З рівноваги моментів сил відносно опор знаходимо за схемою, що на рис 7.7а,

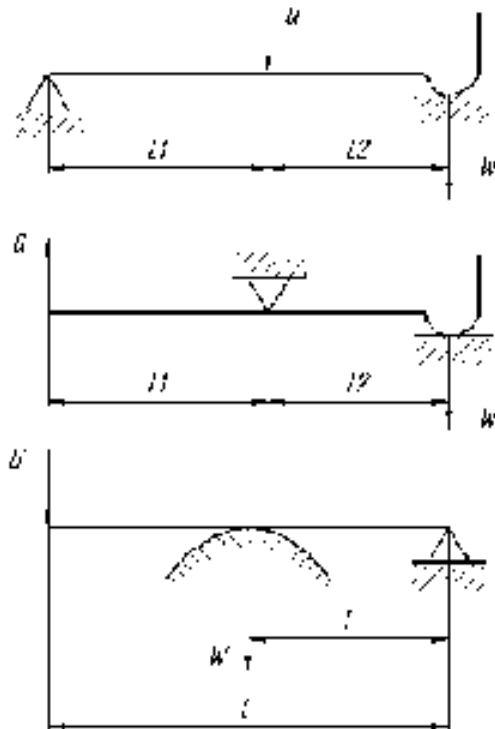


Рисунок 7.7. Схеми важільних механізмів

$$W = \frac{l_1}{l_1 + l_2} \eta. \quad (7.12)$$

У порівнянні з важелем (а), важіль (б) розвиває силу затиску в 2 рази більшу, а важіль (в) – у 4 рази.

Механізми з ексцентриками і плоскими кулачками мають кращу швидкодію, але поступаються силою затиску гвинтом і мають невеликий лінійний хід.

Ексцентрики являють собою кулачки або валки з віссю обертання, зміщеною на величину ексцентрика. В плоских кулачках робочий профіль окреслюється по архімедовій спіралі.

### Ексцентрики

Характеристики ексцентриків можна дослідити на прикладі ексцентрикового важеля (рис. 7.8).

Лінія ексцентрика  $kh$  ділить ексцентрик на дві половини, які складаються з двох клинів, навернених на "початкове коло" ексцентрика (показана пунктиром). Для затиску в основному використовують ділянку  $mn$  нижнього клина (жирна лінія на рис. 7.8а).

Розглядаючи механізм як комбінований, що складається із важеля з плечими  $l$  і  $r$ , і з клина з тертям по двох площинах (на осі  $i$  в точці А), отримаємо силові залежності:

для ідеального механізму

$$W_{id\_np} = Q \frac{1}{\rho_{cp}} \times \frac{1}{tg(\alpha_{cp})}; \quad (7.13)$$

для реального механізму

$$W_{np} = Q \frac{1}{\rho_{cp}} \times \frac{1}{tg(\alpha_{cp} + \varphi) + tg(\alpha_1)}, \quad (7.14)$$

де  $W_{cp}$  – середнє значення сили затиску;

$R_{cp}$  – середнє значення радіуса, проведеного з центра обертання ексцентриків у т. А затиску;

$O_{cp}$  – середній кут підйому ексцентрика в точці затиску;

$q > i$  – кут тертя ковзання в точці А затиску і на осі ексцентрика.

При розрахунку за формулою (7.14) в основному приймають:  
Коефіцієнт тертя  $f = \operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \varphi_l = 0.1'$ ;  $a_{cp} = 4^0$ ,  $p_{cp} = 0.5 * D$ ; при нормальній довжині річки ( $l \approx 2D$ ) розрахунок можна робити за простішою формулою.

Середнє значення К.К.Д. при  $a = 4^0$ ;  $w = 12 \times \varnothing$  (12)  $p_{cp} \approx 0.3$ .

Умова самогальмування ексцентрика виражається залежністю  $D/l > 14$ ,  
де  $D$  – діаметр ексцентрика;  
 $l$  – ексцентриситет.

Лінійний хід  $S$  ексцентрика знаходимо з трикутника  $COB$  (рис. 7.86)  
 $S = e \sin(\beta)$ . При  $\beta = 0$ ,  $S_{MIN} = 0$  при  $\beta = 90^\circ$ ,  $S_{MIN} = L$ . Стандартні круглі ексцентрики (ГОСТ 9061-59) мають граничні розміри:  $D = 32-70 \text{ мм}$ ;  $l = 1.7-3.5 \text{ мм}$ . Отже, лінійний хід ексцентриків невеликий і їх не можна застосовувати для заготовок з великим коливанням розміру в напрямку затиску.

Застосування у формулі (7.14) середніх значень  $a_{cp}$  і  $p_{cp}$  пояснюється тим, що ці параметри змінні й залежать від кута повороту ексцентрика  $\rho$ . Залежність  $a$  від кута повороту  $\beta$

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{e \times \cos}{\frac{D}{2} + e \times \sin \beta}. \quad (7.15)$$

При  $\beta = 0^\circ$

$$\operatorname{tg}(\alpha_{\max}) = \frac{2e}{D}; \quad \alpha_{\max} = \operatorname{arctg}\left(\frac{2e}{D}\right)$$

При  $\beta = 90^\circ$

$$\operatorname{tg}(\alpha_{\min}) = 0, \quad \alpha_{\min} = 0.$$

Приймають  $a_{max} = 8^\circ 30'$  тоді  $x_{cp} = 4^0$ .

Радіус  $\rho$  також залежить від кута  $\beta$  і змінюється  $p_{min}$  до  $p_{max}$ , де

$$p_{min} = D/2 - l \text{ (при } \beta = 0);$$

$$p_{max} = D/2 + l \text{ (при } \beta = 90^\circ).$$

$$\text{Звідси } p_{cp} = D/2.$$

Усі стандартні ексцентрики самогальмівні.

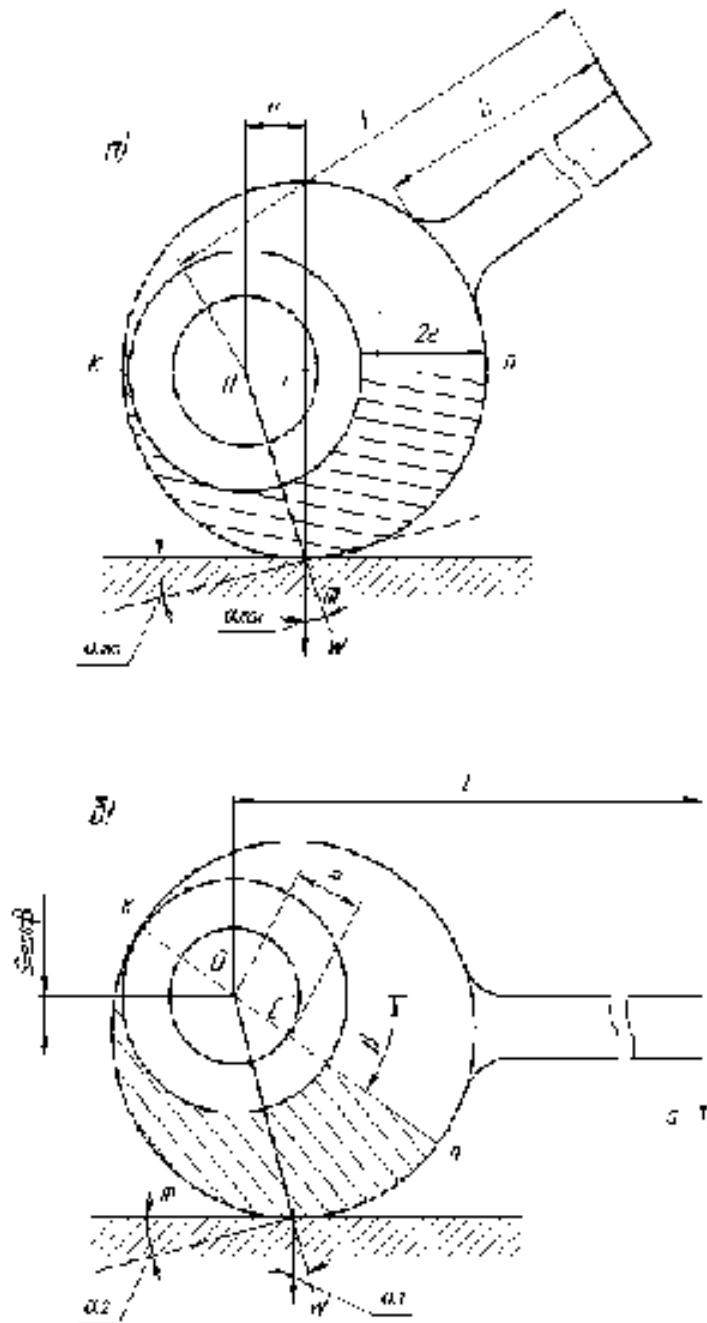


Рисунок 7.8. Схема для розрахунку ексцентриків

### Плоскі кулачки

Превага ексцентриків полягає в простоті їх виготовлення. Головним недоліком є непостійність кута підйому і сили затиску. Крім того вони мають невеликий лінійний хід. Тому замість ексцентриків іноді використовують кулачки з робочим профілем, що окреслює архімедову спіраль.

Величини радіусів архімедової спіралі (рис. 7.9а), які взято через рівні кути  $P$ , утворюють арифметичну прогресію.

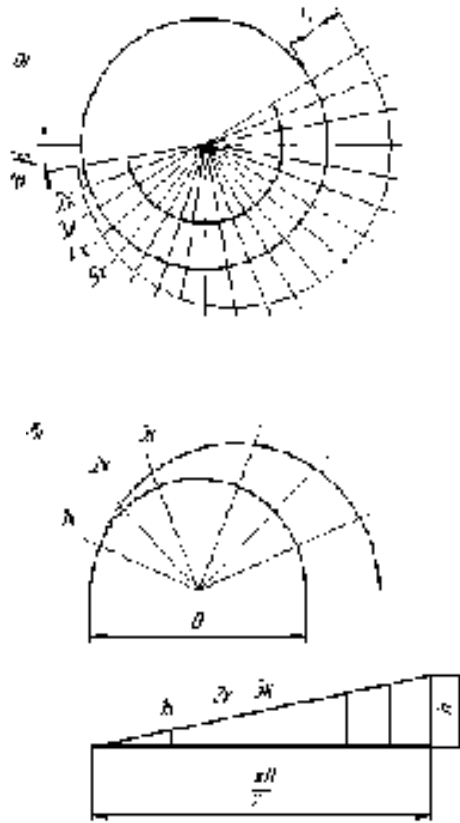


Рисунок 7.9. Схема для розрахунку плоских кулачків

Якщо  $x$  – різниця прогресії, то  $r_2 = r_1 + x$ ;  $r_3 = r_1 + 2x$ ;  $r_n = r_1 + (n-1)x$ .

Кут підйому архімедової спіралі визначається рівнянням  $\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{1}{r} \times \frac{h}{\beta_n}$ ,

де  $\beta_n$  – кут підйому між  $r_1$  початковим і  $r_n$  кінцевим радіусами.

Так як відношення  $h$  до  $\beta_n$ , для даної спіралі величина постійна, а  $r$  – величина змінна, то кут підйому  $\alpha$  архімедової спіралі – змінний; тангенс кута  $\alpha$ , відповідно і кут, зменшуються зі збільшенням радіуса-вектора.

Для кулачка з кутом  $\beta_n = 90^\circ$  застосовують  $h = r_n - r_1 = 1.5 \text{ мм}$ . Оскільки різниця в розмірах радіусів мала, то приймаємо  $\operatorname{tg} \alpha$  і  $\alpha$  постійними.

Побудова профілю за архімедовою спіраллю, який забезпечує умови самогальмування, зображено на рис. 7.9б.

$h = 0.075 - 7T - D$  (22), відповідно  $\alpha = 8^\circ 30'$ .

При цьому плоскі кулачки як і ексцентрики самогальмівні. Силу затиску розраховують за формулою (19). Переваги кулачків у тому, що вони можуть працювати з кутами повороту  $90^\circ$  і  $180^\circ$ , забезпечуючи значний лінійний хід і

постійність сили затиску.

Важільно-шарнірні механізми застосовують в якості підсилювачів приводів. За конструкцією їх поділяють на одноважільні, двоважільні односторонньої дії і двосторонньої дії (самоцентруючі).

### **Одноважільні шарнірні механізми.**

Схема такого механізму зображена на рис. 7.10. Важіль 1 через звичайний важіль 2 затискає деталь 3 і знаходиться в рівновазі. Вихідна сила  $Q$  і реакція  $N$  з боку опори ролика замінюється рівнодією  $R$ , направленою вздовж важеля. Після розкладу  $R$  в точці  $C$  отримано сили  $W$  і  $Q$ . З трикутника  $WCR$  для ідеального механізму знаходимо  $W_{od}=Q(l/tga)$ . Отже, ідеальний важільний механізм, як і клиновий, при  $a \rightarrow 0$  розвиває силу  $W_{od} \rightarrow \infty$ . Силу, що розвивається реальним механізмом, визначаємо за формулою

$$W = Q \frac{1}{tg(\alpha + \beta) + tg(\varphi_{np})}, \quad (7.16)$$

де  $\beta$  – додатковий кут до кута нахилу  $\alpha$ , яким враховуються втрати на тертя ковзання в шарнірах;

$$\beta = \arcsin(f) (d/L);$$

$tg(\varphi_{np})$  – приведений коефіцієнт тертя кочення, який враховує втрати на тертя в роликовій опорі:  $tg(\varphi_{np}) = tg(\varphi) \times d / D$ ;

$d$  – діаметр осей шарнірів і ролика;

$D$  – зовнішній діаметр ролика;

$L$  – відстань між осями отворів важеля;

$f$  – коефіцієнт тертя ковзання в шарнірах і на осі ролика;

$tg(\varphi_1)$  – коефіцієнт тертя ковзання на опорі ролика.

При коефіцієнті тертя  $f=0,1$  кут  $\beta$  незначний. Наприклад,  $d/L=0.2$   $\beta = 1^\circ 10'$ . Однією із характеристик механізму є так званий запас ходу, значення якого шукають із прямокутного трикутника  $ABC$  (рис. 7.10).

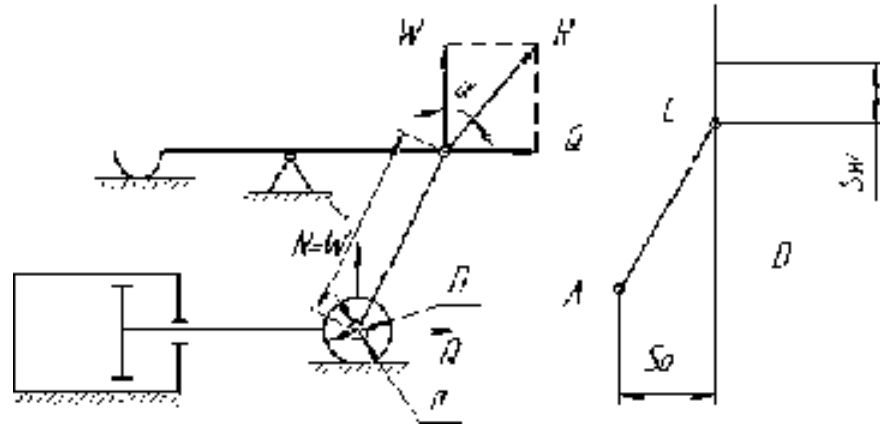


Рисунок 7.10. Схема для розрахунку однаважільних шарнірних механізмів

При переміщенні важеля 1 з положення, яке показане на рисунку у вертикальне положення ( $\alpha=0$ ).

$$S = A \times B = \sin(\alpha) \quad (\text{шлях } m.A)$$

$$S = L - BC = L - L \times \cos(\alpha)$$

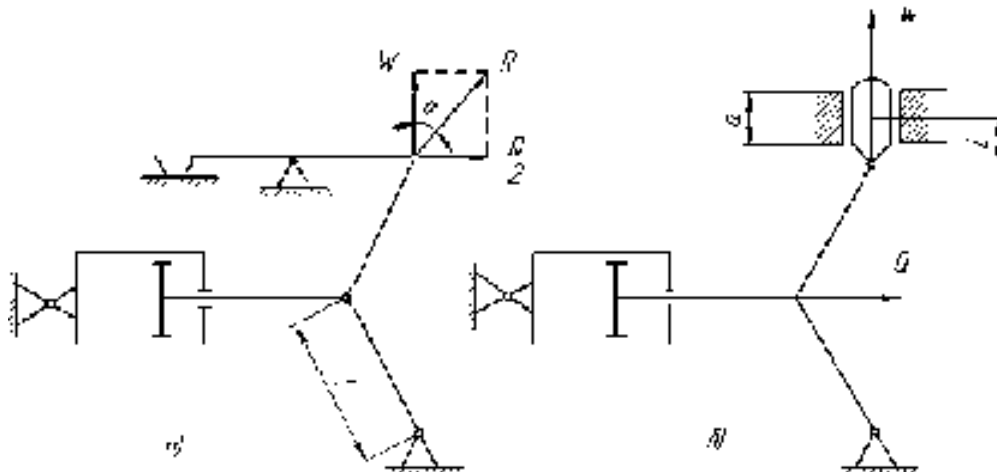
$$S = L(1 - \cos(\alpha)) \quad (\text{шлях } m.A)$$

$L$  – довжина важеля;  $S$  – запас ходу. При  $\alpha \rightarrow 0$ ,  $\cos(\alpha) \rightarrow 1$ ,  $S \rightarrow 0$ , тобто запас ходу при малих кутах  $\alpha$  невеликий.

### Двоважільні шарнірні механізми односторонньої дії

Для ідеальних механізмів із трикутника сил (рис. 7.11) знаходимо

$W_{io} = Q \frac{1}{2 \times g(\alpha)}$ , тобто ці механізми при рівних вихідних силах розвивають у 2 рази меншу силу  $Wjd$ , ніж однаважільні.



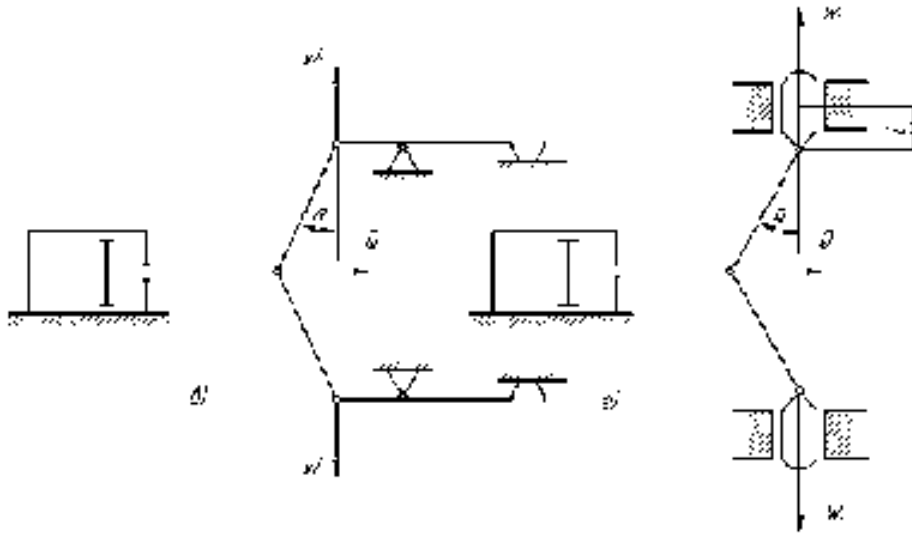


Рисунок 7.11. Схема двоважільних механізмів:  
а,б – односторонньої дії; в,г – двосторонньої дії

Для реального механізму без плунжера (рис. 7.11)

$$W = Q \frac{1}{2 \times g(\alpha + \beta)}, \quad (7.17)$$

де кут  $P$ , як і раніше, враховує втрати на тертя в шарнірах.

У механізмі з плунжером (рис. 7.11б), крім тертя в шарнірах, враховують тертя на плунжері

$$W = 0.5 \times Q \left[ \frac{1}{tg(\alpha + \beta)} - tg(\varphi_{np}) \right], \quad (7.18)$$

де,  $\varphi_{np}$  – приведений коефіцієнт тертя, яким враховуються втрати на тертя в

консольному (перекошеному) плунжері:  $tg(\varphi_{np}) = \frac{3 \times}{A} \times g(\varphi_2)$ ,

де  $tg(\varphi)$  – коефіцієнт тертя ковзання в двоопорному (перекошеному) плунжері.

$A$  – довжина направляючої плунжера;

$l$  – відстань від осі до середини направляючої плунжера. При  $l/A = 0,7$ ;  $tg(\varphi_2) = 0,1$ ;  $tg(\varphi_{np}) = 0,21$ . Запас ходу механізму в 2 рази більший, ніж в одноважільних:  $S_2 = 2 \times l(1 - \cos(\alpha))$ .

### Двоважільні шарнірні механізми двосторонньої дії

Ці елементи можна розглядати як спарені одноважільні (рис. 7.11в,г).



Для ідеального механізму сумарна сила визначається за формулою

$$W_{\text{ід}} = Q \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha)}.$$

Для реального механізму без плунжерів (рис. 7.11в)

$$W = Q \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)}. \quad (7.18)$$

Для механізму з плунжером (рис. 7.11г)

$$W = Q \left[ \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)} - \operatorname{tg} \left( \frac{3\lambda}{A} \right) \right]. \quad (7.19)$$

Сумарний запас ходу визначається за формулою (7.19). Сила, що розвивається кожним важелем (плунжером), і запас ходу кожного плунжера відповідно в 2 рази менший.

Механізми з гідропластом використовуються тоді, коли в замкнений простір пристосування вмістити мінеральне масло, або пластичну масу (гідропласт) і діяти на них зовнішньою силою, яка за законом Паскаля рівномірно передається на всі стінки простору.

Розрахунок сил затиску і переміщень плунжерів.

Після затиску в замкненому просторі механізму створюється гідростатичний тиск  $p$  [кгс/см] і всі ланки знаходяться в рівновазі (рис. 7.12).

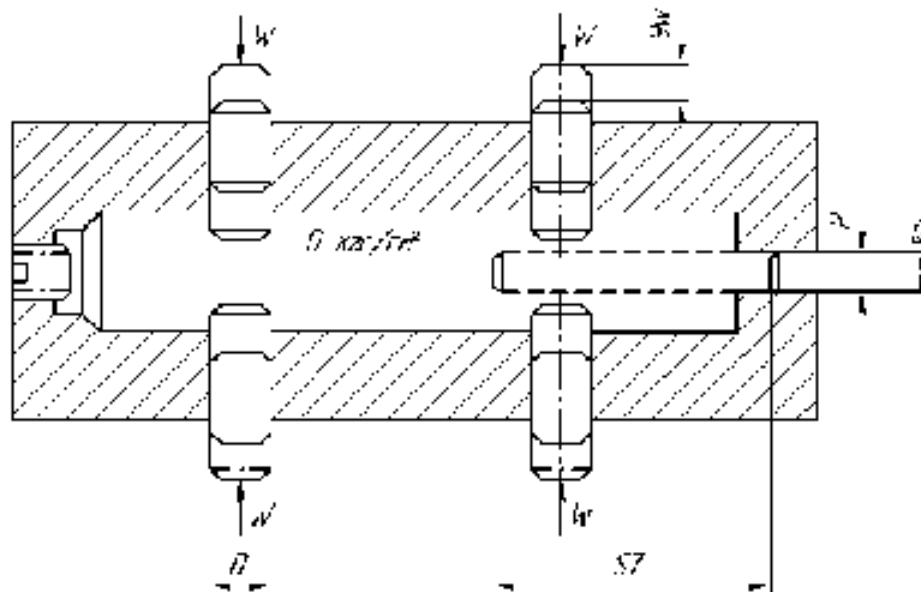


Рисунок 7.12. Схема для розрахунку багатоплунжерного механізму з

З умови рівноваги натискного плунжера 1

$$Q = \left( \frac{\pi \times d^2}{4} \right) \times P. \quad (a)$$

А кожного робочого плунжера 2

$$W = \left( \frac{\pi \times D^2}{4} \right) \times P. \quad (б)$$

Поділивши (б) на (а), отримаємо

$$\frac{W}{Q} = \left( \frac{P}{d} \right)^2.$$

Звідси, враховуючи втрати на тертя ,

$$W = Q \left( \frac{P}{d} \right)^2 \eta. \quad (7.20)$$

Якщо на плунжері є зворотні пружини, то формула (7.20) буде мати вигляд

$$W = Q \left( \frac{P}{d} \right)^2 \eta - P, \quad (7.21)$$

де  $W$  – сила затиску кожним робочим плунжером (кгс);

$Q$  – вихідна сила, яку розвиває натискний плунжер;

$D$  – діаметр робочого плунжера (см);

$d$  – діаметр натискного плунжера (см);

$\eta$  – К.К.Д. ( $\eta = 0,9 - 0,95$ );

$P$  – опір пружини.

В затискних механізмах при автоматичних ТП використовують пружні елементи, тому що накоплена пружинами при їх стиску потенціальна енергія використовується для затиску оброблюваних деталей (рис. 7.13). Крім того, вони застосовуються в якості зворотних механізмів (пружин) у пневмо- і гідродвигунах односторонньої дії, регуляторах тисків, клапанах, фіксаторах.

У деяких випадках для затиску використовують тарілчасті пружини. Вони

складаються з набору стандартних елементів – дисків (ГОСТ 3057-54), які мають форму зрізаного конуса з кутом  $\alpha = 2^\circ - 6^\circ$  (рис. 7.14). Працюють тільки як пружини стиску. Складність розрахунку тарілчастих пружин ускладнює побудову їх характеристик. На практиці пружини такого типу вибирають, користуючись таблицями ГОСТу 3057-54.

Допустиме навантаження кручення  $[T]$  кгс/мм<sup>2</sup> залежить від матеріалу пружини і умов її роботи (рис. 7.13).

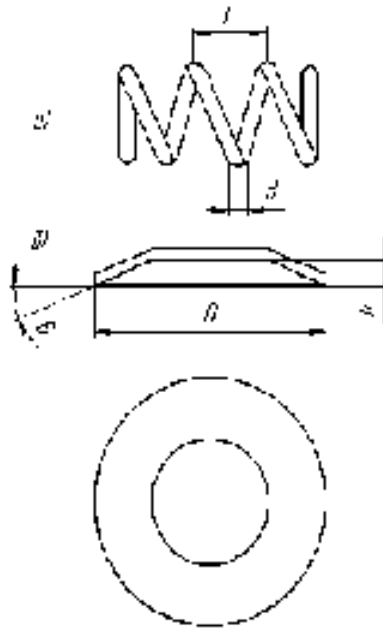


Рисунок 7.13. Пружини, які застосовують у пружинних затискних механізмах: а) циліндрична; б) тарілчаста

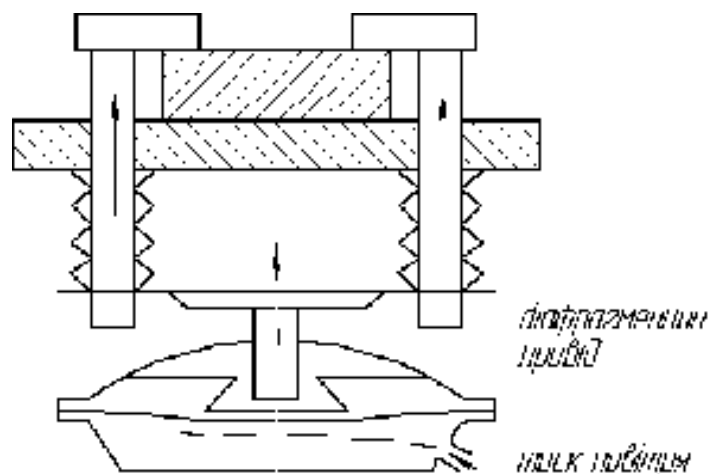


Рисунок 7.14. Схема закріплення деталі з допомогою пневмопружинного механізму на поворотному столі



## **8. ТЕХНІЧНІ ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ Й РЕГУЛЮВАННЯ НЕПЕРЕРВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

### **8.1. Прилади контролю складу і стану речовини**

Контроль складу і стану речовин — густини і концентрації, вологості газів і сипучих матеріалів, умісту солі в рідині або парі, величини рН має особливо важливе значення на підприємствах харчової промисловості. Це висуває високі вимоги до якості монтажу пристроїв, які вимірюють названі показники.

Із густинометрів, які використовують у цукровій, спиртовій, кондитерській, пивоварній та інших галузях харчової промисловості, найбільше поширення отримали поплавкові, гідростатичні й вагові. Менше застосовується отримали ультразвукові й радіоізотопні.

На рис. 8.1, 8.2 наведено приклади монтажу рідинного, сифонного густиномірів ПЖС. Густиномір можна встановити для вимірювання густини як у місткостях, так і в потоці. Прилади слід монтувати у місцях, які не піддаються вібраціям і трясці, та зручних для швидкого монтажу приладу. Монтуючи трубопровід, необхідно враховувати, що заповнення приладу робочим середовищем повинно проходити знизу, а її переливання – згору. Для підведення приладу повітря і для відведення вихідного сигналу рекомендується використовувати труби з внутрішнім діаметром 6 – 8 мм.

При монтажі поплавкових, гідростатичних і мембранних густинометрів для уникнення впливу на поплавки і мембран руху потоку, температури й осідання частинок встановлюють спеціальні відбійні щитки, струменевипрямлячі, дренажі для видалення осаду, виливні й переливні пристрої. Вагові густиноміри повинні бути змонтовані так, аби їх швидко можна було розібрати для періодичного чищення та промивання.

Для вимірювання умісту сухих речовин у томапасті широко використовують рефрактометр RFR, який зображено на рис. 8.3. Установка

приладу повинна проводитися з особливою ретельністю, щоб не пошкодити кріпильний фланець і призму. Водночас необхідно звернути увагу, аби пристрій на місці установки не був підданий значним вібраціям. У випадку монтажу вимірювального пристрою на трубопроводі, він повинен мати фланець, аналогічний фланцю вимірювального пристрою. Між фланцями кладуть гумову прокладку й стягують болтами. Регулюючий пристрій монтують на відстані не більше 30 м від вимірного.

Контролюючи різні технологічні процеси, виробництва, наприклад, отримання соку I і II сатурації в цукровій промисловості, безперервне бродіння в спиртовій промисловості, важливо знати величину концентрації водневих іонів (рН), яка характеризує реакцію розчинів. Первинні перетворювачі, перетворювачі величини рН у пропорційну напругу дозволяють контролювати даний процес.

Проточні первинні перетворювачі рН-метрів установлюють у вибраному місці, прикріплюючи до стіни або кронштейна двома болтами через отвори в задній стінці корпусу. Над перетворювачем на висоті 1,5 метра повинна знаходитися місткість із насиченим розчином хлориду калію або корпус порівнюваного електрода залежно від типу первинного перетворювача. До місця установки підводять імпульсну і дренажну лінії.

Для установки занурювальних перетворювачів рН-метрів на кришці апарата приварюють патрубок 1 (рис. 8.1) з двома відкидними прогоничами на фланці 2, який містить гумову прокладку. На трубі 4 перетворювача кріплять фланець 3. Через фланець 2 в апарат вводять занурену частину перетворювача, фланці 2 і 3 з'єднують прогоничами. З'єднувальну коробку 7 кріплять на скобі за допомогою прогоничів на відстані не більше 5 метрів від перетворювача, який з'єднують з головкою 5 коаксіальним кабелем, захищеним гнучким металорукавом 6. Від з'єднувальної коробки до потенціометра в захисній трубі разом із коаксіальним кабелем прокладають ізолюваний провід для заземлення вимірювальної схеми приладу на місці встановлення первинного перетворювача.

Існує багато приладів для вимірювання вологості харчових продуктів. Однак більшість із них випускають невеликими партіями. Правила монтажу цих приладів мають свої специфічні особливості, які описані в заводських інструкціях.

При встановленні промислових вологомірів повинна бути забезпечена легкість доступу до них обслуговуючого персоналу, простота їх заміни і чищення.

В харчовій промисловості газоаналізатори використовують для аналізу топкових газів при спалюванні палива, газового середовища в пекарнях і сушильних камерах, контроль граничних значень у пожежо- та вибухонебезпечних виробництвах і т.п. Для відбору проби з технологічного обладнання або трубопроводу газовідбірний пристрій необхідно встановлювати під кутом 20-25 градусів у бік газоаналізатора для кращого стікання конденсату. Кінець газовідбірного пристрою слід розміщувати на 1/3 діаметра крутого газоходу, щоб забезпечити середню за складом пробу. Для очищення проби від пилу використовують керамічні фільтри. Якщо температура аналізованих газів перевищує 600 градусів за Цельсієм, то відбірний пристрій слід робити водоохолоджуваним. У місці відбору газу повинна бути виключена можливість підсосу повітря ззовні.

Відстань від місця відбору від первинного перетворювача повинна бути вміру можливою меншою для виключення запізнення показів. Газопідвідні лінії виконують зі сталевих нержавіючих мідних або латунних труб діаметром 8-10мм. При монтажі з'єднувальних електричних ліній для охорони проводів від механічних пошкоджень і для захисту від електричних завад електричні проводки прокладають у гнучких металічних шлангах або трубах, які заземлюють. Проводи живлення пристроїв і з'єднувальні проводи вимірювального ланцюга прокладають окремо.

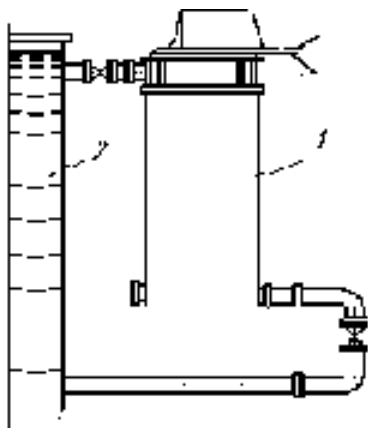


Рисунок 8.1. Схема установки рідинних сифонних пневматичних густиномірів ПЖС для вимірювання густини в місткостях: 1 – густиномір ПЖС; 2 – місткість

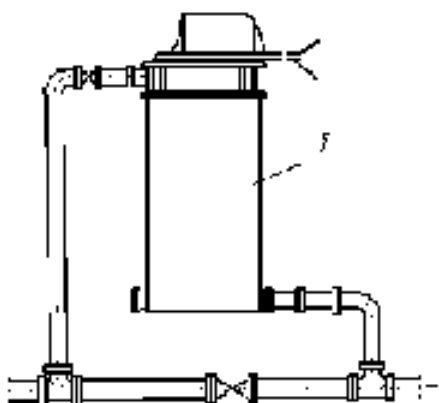


Рисунок 8.2. Схема установки рідинних сифонних пневматичних густиномірів ПЖС для вимірювання густини в потоці

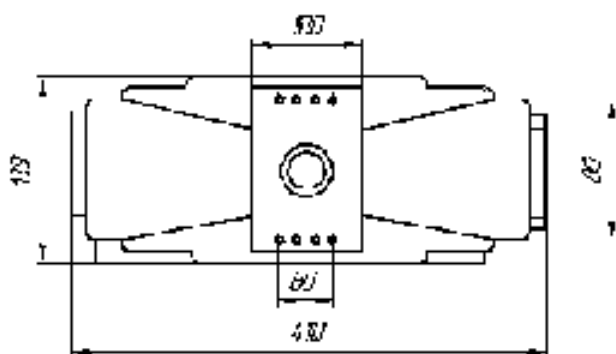


Рисунок 8.3. Вимірювальний пристрій автоматичного рефрактометра RFR: 1 – оптичний блок із закріплювальним фланцем; 2 – литий корпус

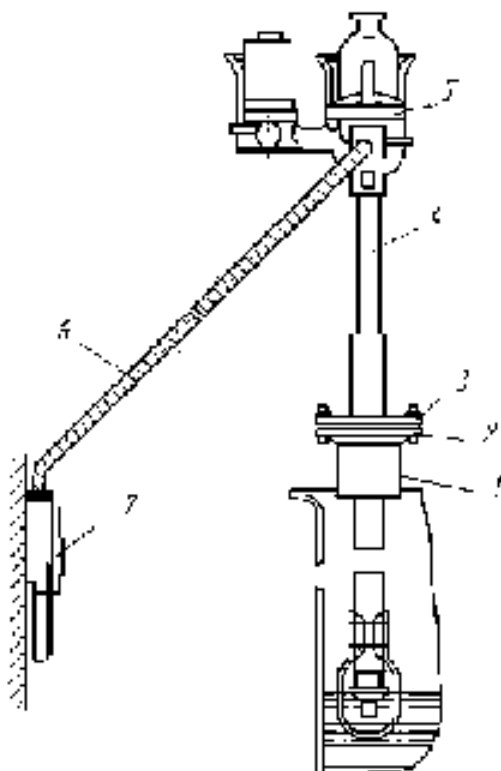
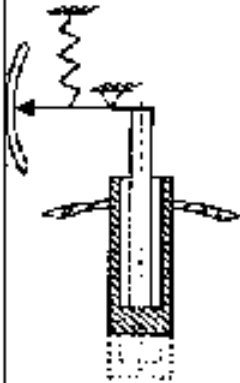
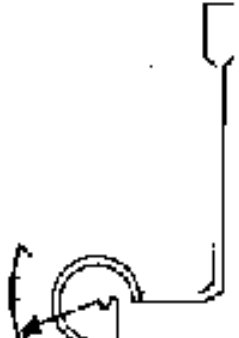
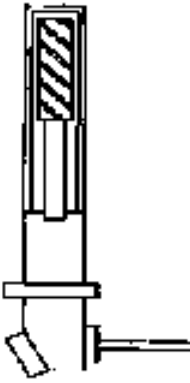
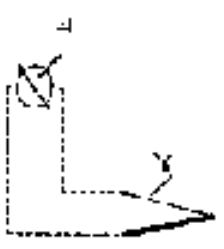


Рисунок 8.4. Установка занурюючого первинного перетворювача ДПг-5274 рН-метра

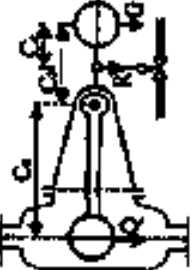
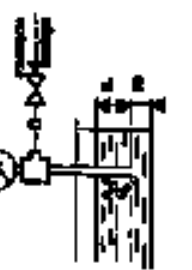


Таблиця 8.1

| №                    | Вид турботи елементу                                     | Принципова схема                                                                      | Принцип дії                                                                       | Область застосування                                                                                     | Основні розрахункові позначення                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Даччі температури |                                                          |                                                                                       |                                                                                   |                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1                    | Дилатометричний                                          |    | Теплове розширення твердих тіл                                                    | Мале вікночу чутливість і призначений для вимірювання температур до $200 \cdot 550^\circ\text{C}$        | Вітності переішепі ( $\Delta$ мм/град)<br>$\frac{\Delta L}{L} = K_L(\alpha - \beta)$<br>де $L$ – довжина елемента, мм;<br>$K$ – відносії плечі рычага;<br>$\alpha$ і $\beta$ – температурний коефіцієнт лінійного розширення труби і елемента |
| 2                    | Термометри мажометричн.<br>ГОСТ 5624-64<br>ГОСТ 11813-65 |    | Теплове розширення в термобатоні при зміні температурного середовища              | Призначені для дистанційної зміни температури неагресивних середовищ не переішепі до $300^\circ\text{C}$ | Переішепі чутливості елемента і зв'язую з іско стрілки ( $\Delta$ мм)<br>$X = \frac{\Delta L}{\Delta t}$<br>де $\Delta L$ – зміна об'єму робочої рідини, мм <sup>3</sup><br>$\Delta t$ – відстання пікова пружного елемента, мм <sup>2</sup>  |
| 3                    | Термометри опору<br>ГОСТ 5651-59                         |   | Зміна електричного опору провідника залежно від температури                       | Призначені для дистанційної зміни температури в межах від $200^\circ\text{C}$ до $500^\circ\text{C}$     | Термометр при температурі, в Ом<br>$R_t = R_0(1 + \beta \Delta t)$<br>де $R_0$ – опір при $0^\circ\text{C}$ , Ом;<br>$\beta$ – температурний коефіцієнт електричного опору                                                                    |
| 4                    | Термометри<br>ГОСТ 5616-61<br>ГОСТ 3044-61               |  | Термоелектро-рушіння сила в діючітійх провідниках за наявності температур різниці | Призначені для дистанційної зміни температури в межах від $-200^\circ\text{C}$ до $+1100^\circ\text{C}$  | Термоелектро-рушіння сила термоелара ( $\Delta$ мВ)<br>$E_{T,12} = \epsilon - \epsilon_0$<br>де $\epsilon$ – термо е.р.с. при температурі гарячого субо $t_1$ , мВ;<br>$\epsilon_0$ – термо е.р.с. при температурі холодних кітдо $t_0$ , мВ  |

СЛУЖБА ЗАШТИТЕ ПРИРОДНОГ НАСЛЕЂА

| № | Вид<br>чужорідних<br>елементів                                              | Принципова схема | Принцип дії                                                                                                                                 | Область<br>застосування                                                                | Основний розрахунковий показник                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | Рідкий;<br>а) Ц-<br>подібні;                                                |                  | Тиск<br>визначається<br>переміщенням<br>рідкини від<br>нульової пози-<br>ції циліндра                                                       | Для<br>вимірювання<br>тиску на більше<br>0,2-0,30 МПа (2-<br>Затон/см²)                | Вимірювання тиску (в Па)<br>$p = \rho \cdot h \cdot g$ , де<br>$\rho$ – висота рідини, м,<br>$g$ – густина рідини, кг/м³,<br>$h$ – прискорення зліткового падіння, м/с²                                                                                                                                                                                                                                              |
|   | Буквен-<br>но-цифрові                                                       |                  | При подачі<br>напівшарового<br>тиску під ком-<br>плексу, опущений<br>у рідину, виник-<br>ає підйомне<br>зусилля, яке<br>приспорило<br>тиску | У диференціальних<br>манометрах між<br>високу<br>чутливість                            | Гістерезис-не констант (м)<br>$H = \frac{\Delta p \cdot S}{K \cdot g}$<br>де $\Delta p$ – перепад тиску, Г.а.<br>$S$ – площа поверхні в середній частині, м²,<br>$K$ – коефіцієнт пружності                                                                                                                                                                                                                          |
|   | Діагностика<br>осередку<br>торса                                            |                  | Зміна кута повороту<br>поверхні<br>нахилених<br>надлишкового<br>тиску                                                                       | У диференціаль-<br>них манометрах<br>з середніми<br>нахиленими<br>надлишковим<br>тиску | Зміна кута повороту (в град)<br>$\alpha = \frac{K}{R} \cdot \frac{S}{C} \cdot \frac{p_1 - p_2}{C}$<br>де $S_{\text{об}}$ – вантажна площа розділяючої перегородки, м;<br>$C$ – вага вантажу, кг,<br>$K$ – відстань від осі обертання до центру розділяючої<br>перегородки, м,<br>$R$ – відстань від осі обертання до центру ваги, м                                                                                  |
| 6 | Мікро-<br>метричні;<br>а) жов-<br>метричні;<br>основні-<br>тисла<br>пружини |                  | Деформація<br>пружини<br>пружини                                                                                                            | У мікрометри-<br>чних<br>вимірювальних<br>тислах                                       | Кут розкручування (в рад) $\phi = \alpha \cdot \frac{p}{E} \cdot \left[ \frac{n}{\theta} \right] \cdot \frac{K_{\text{пр}}}{K_{\text{пр}}}$<br>де $\alpha$ – лінійний коефіцієнт пружини, рад;<br>$n$ – розмір перерізу трубки, м;<br>$E$ – модуль пружності металу, Па;<br>$1$ – момент інерції перерізу трубки, м;<br>$K_{\text{пр}}$ – середній радіус пружини без навантаження, м;<br>$\phi$ – нахил пружини, Па |

| № Вид чутливого сенсора       | Принципна схема                                                                       | Примітки до                                         | Область застосування                                                                    | Основні розрахункові позначення                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |                                                                                       |                                                     | І. Діагностика температури                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 7. Полімеро-вий ГОСТ 11846-66 |    | Переміщення полімера при зміні рівня                | Призначений для вимірювання рівня непересичених у середовищі з посудинах низького тиску | <p>Рівню широтного поглина (в м)</p> $r = \sqrt{\frac{Q - R \frac{G_1 - G_2}{G_1}}{2 \cdot \rho \cdot p}}$ <p>де Q – сила тяжіння жовтими, Н;<br/> R – сила тяжіння жовтими і сила його спору, Н;<br/> G – сила тяжіння протипасти, Н;<br/> ρ – густина рідини, кг/см³;<br/> C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> – площі відкриття, м</p> <p>Перерахунок робочої рідини диференціального (в мбм)</p> $\Delta h = H \frac{\rho_x - \rho_y}{\rho_x - \rho_y}$ <p>де H – рівня рідини в апараті;<br/> ρ<sub>x</sub>, ρ<sub>y</sub>, ρ<sub>м</sub> – густина рідини в з'єднаних трубах, в апараті і диференціальному, кг/м³</p> |
| 8. Гідропаз-ничий             |    | Зміна перепаду тиску.                               | Для вимірювання рівня в жидкостях високого тиску                                        | <p>Рівень рідини в апараті (в м)</p> $H = H_1 + H_2 = h \frac{\rho_x}{\rho_y}$ <p>де H<sub>1</sub> – рівень рідини в апараті, м;<br/> H<sub>2</sub> – рівень рідини під трубою, м;<br/> h – висота за диференціалом, м;<br/> ρ<sub>x</sub>, ρ<sub>y</sub> – густина рідини в апараті і рідини в апараті, кг/м³</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 9. П'єзооп-раційний           |   | Зміна тиску оптичного повітря                       | Для вимірювання рівня в жидкостях апаратів середнього                                   | <p>Рівень рідини в апараті (в м)</p> $H = H_1 + H_2 = h \frac{\rho_x}{\rho_y}$ <p>де H<sub>1</sub> – рівень рідини в апараті, м;<br/> H<sub>2</sub> – рівень рідини під трубою, м;<br/> h – висота за диференціалом, м;<br/> ρ<sub>x</sub>, ρ<sub>y</sub> – густина рідини в апараті і рідини в апараті, кг/м³</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 10. Оптичний                  |  | Зміна опору між електродами, введенням в середовище | Контактний метод використовується для вимірювання рівня малоелектропроводних рідин      | <p>Провідність рідини між електродами дорівнює</p> $\rho = k \cdot C$ <p>де k – електропровідність;<br/> C – геометрична провідність</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

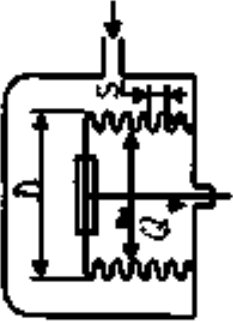
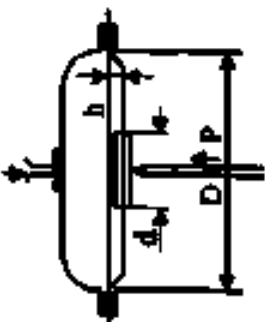
продовження таблиці 9.1

| №  | Вид чутливого елемента датчика | Принципова схема                                                                    | Принцип дії                                    | Область застосування                                               | Основні розрахункові позначення                                                                                                                                                                                                                |
|----|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 11 | Резистивний                    |  | Зміна ємності конденсатора при зміні рівня     | Для вимірювання рівня малоелектропроеційних рідин                  | $C = K(\epsilon_2 - 1)h + K\epsilon_0 \cdot G_0$ ,<br>де $G_0$ – геометрична провідність системи електродів;<br>$\epsilon_2, \epsilon_0$ – діелектрична провідність середовища;<br>$h, l$ – геометричні розміри електродів і відстань між ними |
| 12 | Акустичний                     |  | Зміна звукових коливань у середовищі           | Для вимірювання рівня середовища без безосереднього контакту з ним | Амплітуда коливань після проходження шпигу (в м)<br>$U = U_0 e^{-\alpha L}$ ,<br>де $U_0$ – амплітуда початкових коливань, м;<br>$\alpha$ – коефіцієнт поглинання, м <sup>-1</sup> ;<br>$L$ – відстань пройдена ультразвуком у середовищі, м   |
| 13 | Радіотехнічний                 |                                                                                     | Постійна жорстка випромінювання відомого рівня | Для вимірювання рівня середовища без безосереднього контакту з ним |                                                                                                                                                                                                                                                |

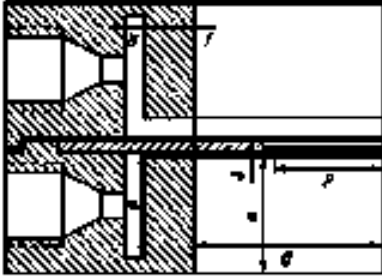
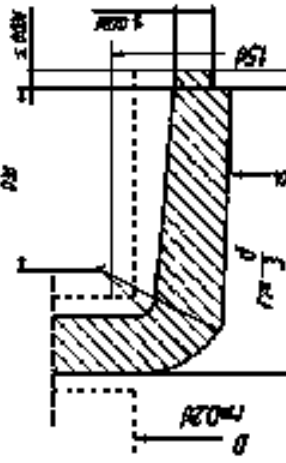
продовження таблиці 3.1

| II. Додатні рівня контролю матеріалів |                                                     |                                                                                     |                                                                                                                                          |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14                                    | Полімерний                                          |  | Всередині полімера розміщений вібратор, що забезпечує "плаваючість" шарів при зміні рівня середовища                                     | Для контролю рівня кускових матеріалів                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 13                                    | Літотний                                            |                                                                                     | Спеціальний механізм інформує шарів періодичними рухами вгору, знизуючи його з вищого середовища, після чого він опускається на поверхню | Автоматично                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                       | Бригатори<br>Бригатори<br>(галькопальна)<br>пружина |  | Деформація галькопальної пружини                                                                                                         | Для кінцевої, безперервного змиву на дисковій діаграмі та сегментній промисловості, не середовища, не руйнує чи інші складні | Сумарний кут розширення<br>$\Delta \varphi = \frac{g \cdot K_0^2 (1 - \sigma^2)}{2 E \delta \cdot r c}$<br>де $r$ – внутрішній радіус зокруження перерізного сніжної пружини, м;<br>$\delta$ – товщина пружини, м;<br>$\sigma$ ; $c$ – коефіцієнти матеріалу |

продовження таблиці 3.1

|                          |                                                                                     |                                                          |                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| в) сифон                 |  | Деформації гармонічної мембрани                          | Використовується в якості вторинних вимірювальних пристроїв для вимірювання показників на відстані | Означення деформації сифона (м)<br>$h = \frac{1}{25 \cdot 10^3} \cdot \frac{Q D^2 m \left(1 - \frac{D_0}{D}\right)^2}{g \cdot m \cdot \cos \alpha}$<br>де Q – витрата на сифоні, м;<br>D – зовнішній діаметр сифона, м;<br>D <sub>0</sub> – внутрішній діаметр сифона, м;<br>m – число хвилок;<br>α – кут нахилу сифона, м;<br>S – проєкція, м.          |
| г) мембрана              |  | Деформації плоскої мембрани                              | Для диференціальних тисків і розрідженого газу, який не рухає міцні скляні                         | Відносний притиск мембрани з діаметром (в мПа)<br>$\frac{dQ}{dP} = \frac{A - dQ}{B}$<br>$A = \frac{\pi}{12} (D^2 + Dd + d^2);$<br>$B = 2\pi \cdot S \cdot \frac{D}{D - d};$<br>P – калібрована тисок, Па;<br>Q – витрата на виході, м;<br>D – діаметр мембрани, м;<br>d – діаметр диска, м;<br>S – горизонтальний сегмент мембрани між її діаметрами, Па |
| 16 Мембранний            |                                                                                     | При зміні тиску сифон мембрани протікає і змінює притиск | Для контролю рівня зерна                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 17 З гальмівною пружиною |                                                                                     | Крім того, сифон мембрани протікає і змінює притиск      | Для контролю рівня зерна                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

продовження таблиці 3.1

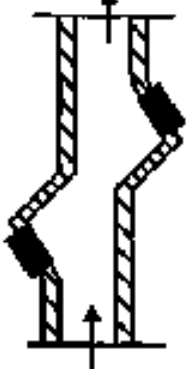
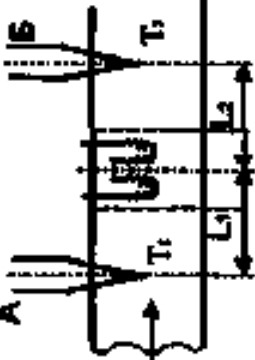
| №  | Вид чужинього елементу вимірювання       | Принципова схема                                                                     | Принцип дії                                                                                        | Область застосування                                                                                          | Основні розрахунок позначення                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 18 | Звуковий пристрій а) мікрофон нормальний |   | Вимірювання перепадного тиску, який створюється залежно від витрати з допомогою звукового пристрою | Для вимірювання витрати різних магістралей у середньому і нормальному діапазоні в комплексі з диференціальним | Об'єм витрати (м³/с)<br>$Q = \alpha K \sqrt{\frac{2}{\rho}} (P_1 - P_2)$ <p>де <math>K</math> – площа отвору звукового пристрою, м²<br/> <math>\alpha</math> – коефіцієнт витрати<br/> <math>\rho</math> – густина рідини кг/м³<br/> <math>\Delta P = P_1 - P_2</math> – перепад тисків на диференціальному пристрої, Па</p> |
|    | Бухало нормальне                         |  | Аналітично                                                                                         | Аналітично                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

продовження таблиці 8.1

| №  | Вид чутливого елемента             | Приміяткова схема                                                                     | Принцип дії                                                                                                   | Область застосування                                                                                                  | Основні розрахункові позначення                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | а) розширювача трубач              |                                                                                       | Аналогічно                                                                                                    | Аналогічно                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 19 | Ротометр<br>ГОСТ 13043-67          |                                                                                       | Поплавок сприймає динамічний тиск обтікаючого його потоку і передачується за допомогою відомої платформи      | Для знімання дуже малих витрат агресивних рідин і газів; застосовано для вимірювання швидкості колавної витрати тиску | Об'єм витрати (в м³/с)<br>$Q = \alpha \cdot f_x \sqrt{\frac{2gV(\rho_s - \rho)}{\rho \cdot f_1}}$<br>де $\alpha$ – коефіцієнт витрати;<br>$f_x$ – площа кільцевого осузу, вироблена трубкою і найбільшим поперечним перерізом верхньої частини поплавка, м²;<br>$V$ – об'єм поплавка, м³;<br>$\rho_s$ – густина матеріалу поплавка;<br>$\rho$ – густина рідини, що тече через ротометр, кг/м³;<br>$f_1$ – найбільший поперечний переріз, м² |
| 20 | Електромагнітний,<br>ГОСТ 11983-66 |  | Вимірювання в в.р.с. індукуючої в жолобі електропровідної рідини, яка при своєму русі перетинає магнітне поле | Для знімання витрат агресивних в'язких середовищ і пульс                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |



продовження таблиці 3.1

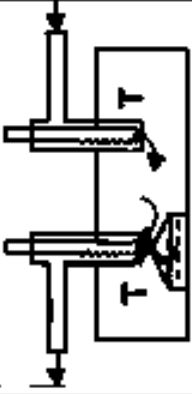
| №  | Вид чутливого елемента | Принципова схема                                                                     | Принцип дії                                                                                                                                                                         | Область застосування                                                                                                      | Основні розрахункові позначення                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 21 | Ультразвуковий         |   | <p>Зміщення звукового коливання рухливим середовищем</p>                                                                                                                            | <p>Для вимірювання витрати<br/>окислюючих середовищ і палив<br/>електроприводом<br/>их рідин, великих<br/>витрат води</p> | <p>Рішення часу проходження хвилі</p> $\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{2L\phi}{c^2}$ <p>де <math>\phi</math> – швидкість потоку, м/с;<br/>с – швидкість звуку в даному середовищі, м/с;<br/><math>t_1</math> – час проходження звуковою хвилею відстані між вібраторами, с;<br/><math>t_2</math> – час проходження звуковою хвилею відстані проти швидкості потоку, с</p> |
| 22 | Калориметричний        |  | <p>Нагрівання струменя рідини або газу сторонам дифузійної камери, що створює в потімі різницю температур, яка змінюється від швидкості потоку і від витрати тепла в нагрівнику</p> | <p>Для вимірювання дуже малих витрат у трубопроводах малого зорізу</p>                                                    | <p>Масова витрата (в кг/с)</p> $M = \frac{q}{k C_p \Delta T}$ <p>де <math>q</math> – втрата тепла на нагрівання газу чи рідини, Вт;<br/><math>C_p</math> – теплоємність при температурі <math>\frac{T_1 + T_2}{2}</math>, Дж/(кг · К);<br/><math>k_a</math> – поправочний коефіцієнт на нерівномірність розподілу температури по перерізу труби</p>                    |

продовження таблиці §.1

| №                                     | Вид чутливого елемента | Принципова схема                                                                    | Принцип дії                                                                                                                                        | Область застосування                                                             | Основні розрахункові позначення                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 23                                    | Кавориметричний        |  | Вимірювання швидкості обертання кривлячтки, розташованої в потоці                                                                                  | Для вимірювання витрат рідин, газів та інших неважких рідин                      | Швидкість обертання кривлячтки<br>$n = \varphi(Q, V, \rho; M_0; D; d_0; d_1; r; i; D)$ ,<br>де $Q$ – об'єм витрат рідини, м <sup>3</sup> /с;<br>$V$ – кінематична густина рідини;<br>$\rho$ – густина рідини, кг/м <sup>3</sup> ;<br>$M_0$ – момент опору, Па;<br>$D$ – діаметр трубопроводу, м;<br>$d_0$ – зовнішній діаметр кривлячтки, м;<br>$d_1$ – внутрішній діаметр кривлячтки, м;<br>$T$ – крок гвинтової лінії кривлячтки, м;<br>$Z$ – кількість витоків кривлячтки, м;<br>$i$ – розмір ліній кривлячтки |
| IV. Дані різн. виробничих підприємств |                        |                                                                                     |                                                                                                                                                    |                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 24                                    | Датчі рН-метрів        |                                                                                     | При заурфамі електродів на границі електроді розчин аніонів електронів потенціал, які залежать від активної концентрації водневих іонів у розчині. | Для вимірювання концентрації водневих іонів (рН) у водних розчинах кислот і лугу | Коефіцієнт активності<br>$f = \frac{a}{c}$ ,<br>де $a$ – активна концентрація,<br>$c$ – дійсна                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

| №  | Вид чутливого елемента | Принципова схема | Принцип дії                                                                                                                                                                                                          | Область застосування                                    | Основні розрахункові позначення                                                                                                                                       |
|----|------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 25 | Датчик тискоманізатора |                  | Вимірювання електричного опору провідника нагрітого струмом. Цей опір відомої температури провідника, яка змінюється змінено під впливом температури газоповітряної суміші, що оточує провідник                      | При аналізі суміші в печах, котельних установках і т.д. | Теплопровідність вимірюваної газоповітряної суміші зрівнюється з теплопровідністю еталонної суміші за допомогою двох нерівнянь між мостів – вимірюваної порівняльного |
| 26 | Датчик густини-вистріл |                  | Радіоактивний випромінювання від джерела 1 проходить через стінку об'єкта 1 шар середовища 2 і падає в приймач випромінювання 3. Електричний сигнал інтенсивності в блоці 4 і подається з електронний перетворювач 2 | Для вимірювання щільності рідин, орошуючи               | Позначення жорстких профілів радіоактивного випромінювання орошуючи завантаж від його густини і тм більші, чим більша густина орошуючи                                |

змінення таблиці 8.1

| №  | Вид чутливого елемента | Принципова схема                                                                    | Принцип дії                                                                                                                                                                                               | Область застосування                           | Основні розрахункові позначення                                                                                                                                                                                                                                 |
|----|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 27 | Датчик вологості       |  | Пієзотримувальний метод<br>грунтоздатний на основі зміни показу тиску в порожнині тиску, Па<br>випаровування з вільної поверхні, $T_{\text{в}}$ – температура вологості, $T_{\text{с}}$ – сухий термометр | Для вимірювання вологості на поверхні об'єктів | Відносна вологість<br>$\varphi = \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{с}}} = \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{с}}}$ ,<br>де $\rho_{\text{с}}$ – парціальний тиск у газі, Па;<br>$\rho_{\text{в}}$ – тиск пари, насиченого простору,<br>при температурі газу, Па |



## 8.2. Структурні схеми систем керування

Очевидно, що для створення системи пристроїв, які б здійснювали задані процеси для виготовлення виробу, необхідно мати розроблену принципову і монтажну схеми кожного з пристроїв і системи в цілому. В загальному випадку це будуть пристрої різної фізичної природи: електричні, гідравлічні, механічні і т.п. Значить, їх проектування чи підбір будуть здійснювати спеціалісти відповідних профілів, що часто не пов'язані один з одним. Вимоги до системи ставить замовник, котрий також у більшості випадків не володіє достатніми знаннями в усіх сферах. Бувають випадки, коли повністю задовільні пристрої і підсистеми самі по собі виявляються непридатними, як тільки їх об'єднують в єдину автоматизовану виробничу систему. З другого боку, інженер, що розробляє перелік вимог для розробників окремих пристроїв і підсистем автоматизованої системи, принципово не в стані володіти необхідним комплексом технологічних і конструкторських знань, щоб уникнути можливих помилок. Виникає проблема подолання такого бар'єру для того, щоб наперед, до створення системи в металі, розробити вимоги до неї, аби вони якнайповніше відповідали вимогам промисловості та можливостям оснащення створюваної системи необхідними компонентами.

В останні роки розроблені методи складання схем, в яких у зручному формалізованому вигляді подані окремі елементи виробничого процесу, що автоматизується. Це – схеми автоматизації. Суть складання цих схем полягає у тому, що всі операції процесу, котрий автоматизується, подають у деякому формалізованому вигляді, що дозволяє віддалитися від конкретного змісту тієї чи іншої операції.

Формалізація технологічного процесу полягає у його математичному моделюванні з наступним проведенням досліджень на цих моделях. Використовуючи принцип аналогії (математичної ідентичності процесів) особливості функціонування систем з різною фізичною природою можна відтворити за допомогою одних і тих же математичних залежностей. У цьому випадку промодельовати виробничий процес означає здійснити аналог процесу

та його операцій на основі фізичної величини однієї розмірності. Очевидно, що такою розмірністю є час здійснення тієї чи іншої операції.

Отже, під схемою автоматизації будемо розуміти формалізоване подання виробничого процесу, починаючи з операції введення в систему напівфабрикату або вихідного матеріалу і закінчуючи виходом продукту.

Так як схема автоматизації містить формалізовані операції виробничого процесу, то при її складанні можна абстрагуватися від конкретного змісту операцій й оперувати лише часовими співвідношеннями між ними.

Складання схеми автоматизації розпочинається з розроблення на основі технологічного процесу переліку операцій. Далі на основі технічних вимог до виробу виробляють критерії (економічні, часові, психологічні і т.д.), за допомогою яких можна було б оцінити виконання автоматизованою системою своїх задач. Таким чином, при створенні схеми автоматизації слід враховувати ці критерії, які назвемо показниками виробничого процесу. Крім того, схема автоматизації повинна враховувати можливості виробництва, а також граничні вимоги технології. І перші, і другі виражаються у вигляді обмежень на показники виробничого процесу (точність показів приладів, надійність роботи деталей і вузлів, вага блоків, швидкодія агрегатів і т.п.). Отже, пошук оптимальних показників повинен здійснюватись в області можливих значень. На основі остаточних значень показників виробничого процесу і розробляють вимоги, котрі можуть бути покладені в основу підбору чи проектування блоків, підсистем і системи автоматизованого виробництва заданого виробу.

При розробленні проекту автоматизації у першу чергу необхідно вирішити, з яких місць ті чи інші ділянки об'єкта будуть керуватися, де будуть розміщуватися пункти керування, операторські приміщення, який повинен бути взаємозв'язок між ними, тобто необхідно вирішити питання вибору структури керування.

Під структурою йдеться про розуміється сукупність частин автоматичної системи, на які вона може бути розділена за визначеною ознакою, а також шляху передавання впливів між ними.

Графічне зображення структури керування називають структурною схемою. Хоча вихідні дані для вибору структури керування та її ієрархії з тим чи іншим ступенем деталізації обумовлюється замовник при видачі завдання на проектування, повну структуру керування повинна розробляти проектна організація. Вибір структури керування об'єктом автоматизації впливає на ефективність його роботи, зниження відносної вартості системи керування, її надійність, ремонтоздатність і т.д.

У загальному випадку будь-яка система може бути представлена:

- конструктивною структурою;
- алгоритмічною структурою;
- функціональною структурою.

#### *Конструктивні структурні схеми*

У конструктивній структурі системи кожна її частина являє собою самостійне конструктивне ціле (рис.8.5 – 8.8).

У структурній схемі присутні:

- 1) об'єкт і система автоматизації;
- 2) інформаційні й керуючі потоки.

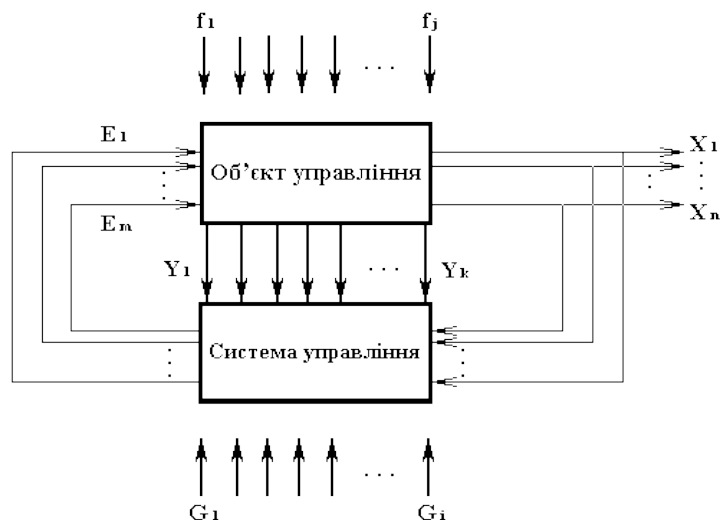


Рисунок 8.5. Структурна схема системи автоматизації:  $X_n$  — поточне значення параметрів;  $G_i$  — задані значення;  $E_m$  — керуючі впливи;  $f_j$  — збурюючі дії;  $Y_k$  — допоміжні параметри



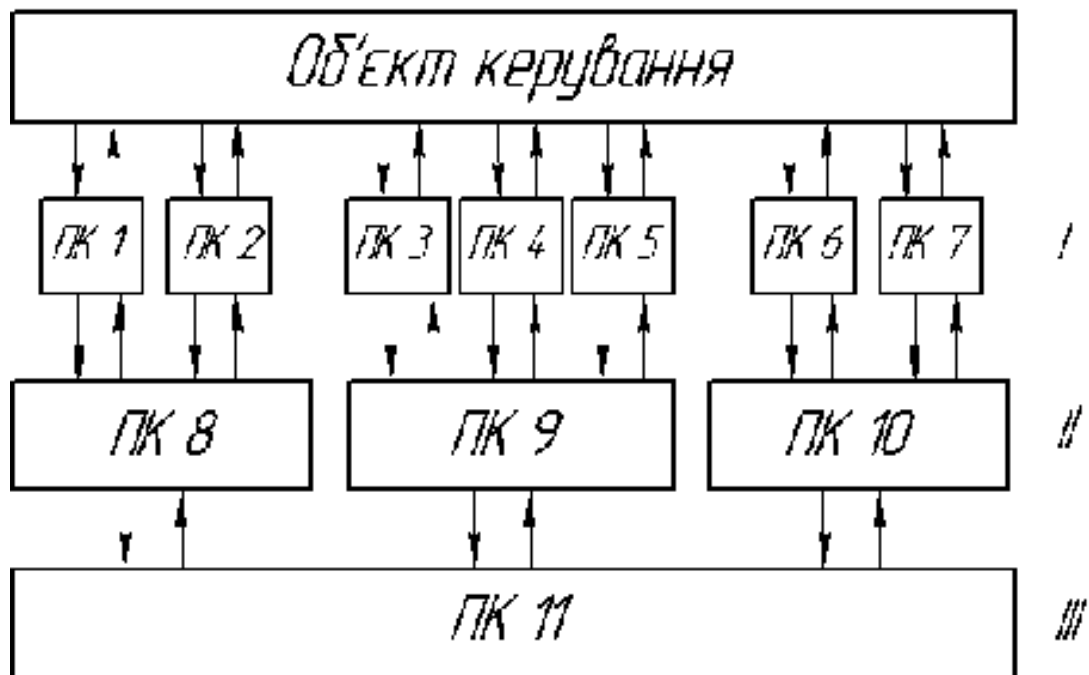


Рисунок 8.6. Трирівнева система керування: ПК — пункти керування;  
 I рівень — децентралізована система керування агрегатами;  
 II рівень — система керування взаємопов'язаними агрегатами на рівні цеху (відділення);  
 III рівень — система керування на рівні виробництва (енергоблоку)  
 Стрілками на рисунку показані тільки основні потоки передавання інформації від об'єкта і керуючі впливи від системи керування

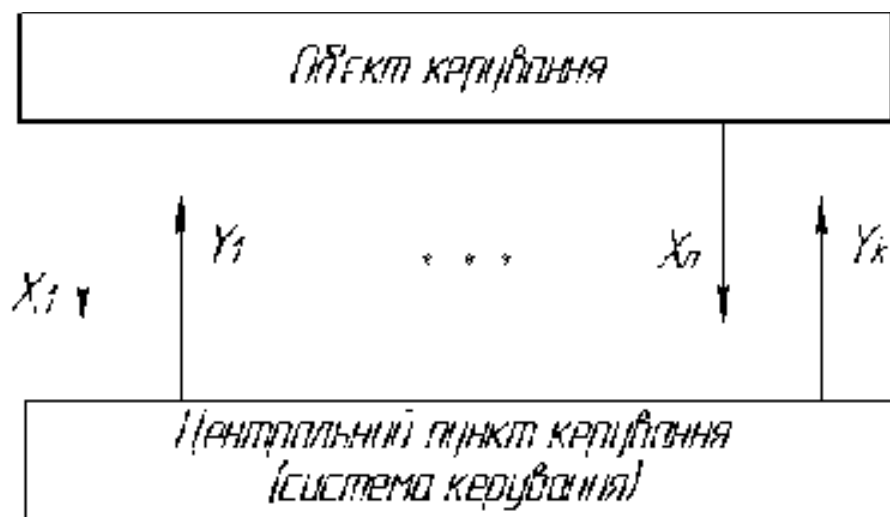


Рисунок 8.7. Структурна схема однорівневої централізованої системи керування

Стрілками на рисунку показані тільки основні потоки передавання інформації від об'єкта і керуючі впливи від системи керування.

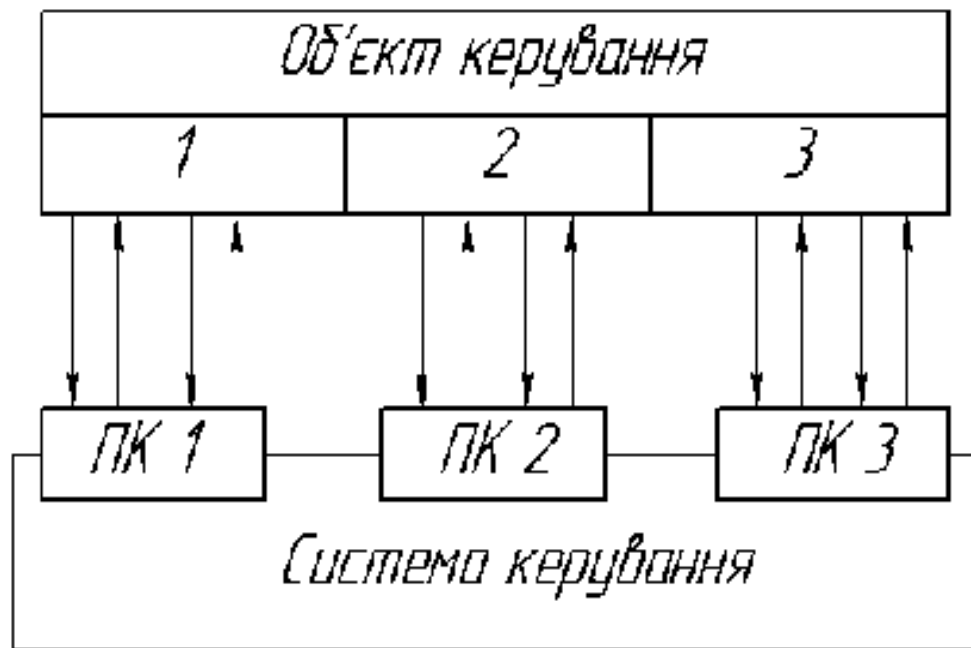


Рисунок 8.8. Структурна схема однорівневої децентралізованої системи керування: 1, 2, 3 — окремі частини об'єкта керування

#### *Алгоритмічні структури*

В алгоритмічній структурі кожна частина призначена для виконання визначеного алгоритму перетворення вхідного сигналу, що є частиною всього алгоритму функціонування системи.

Для постановки проектних задач і технічних вимог необхідно описати матеріальний та інформаційний потоки автоматизованої виробничої системи (АВС) і процес їх обробки. Найзручніше дозволять робити це схеми матеріальних та інформаційних потоків і алгоритми функціонування. Алгоритми функціонування представляють у вигляді текстового опису схеми функціонування або у вигляді блок-схеми, що дозволяє наочно і формально описати всі процеси й ситуації, що виникають при функціонуванні системи.

На етапі розроблення технічного проекту проводиться деталізація алгоритму функціонування до виявлення всіх команд, сигналів і матеріальних потоків у підсистемах і між підсистемами у різних режимах роботи.

Алгоритм у вигляді блок-схеми доповнюють принциповою схемою алгоритму керування, що підкреслює її призначення у якості документа, що фіксує принципові рішення, прийняті для забезпечення нормального ходу технологічного процесу (ТП).

Переваги принципової схеми полягають у наочності представлення змісту і взаємозв'язку функцій керування. В ній використовуються зрозумілі, не закодовані позначення. Схема є еталонним засобом викладення технологічних вимог до систем керування. У зв'язку з цим принципові схеми дуже вигідні для обслуговування на рівні спеціалістів-технологів. На схемі функції вписують у квадрати, прямокутники і ромби, що включають перевірки умов нормального ходу ТП. Виконання більшості функцій пов'язано з контролем у зв'язку з "безлюдним" режимом роботи АВС. Там, де немає впевненості виконання команди або технологічного прийому, присутня операція контролю. Якщо якість очищення базових поверхонь від стружки не забезпечується, то проводиться контроль правильності положення заготовки у робочій позиції, правильність захоплення заготовки роботом, повернення механізмів у вихідне або нульове положення та інше. На невідповідність нормі у ході ТП виникають різні реакції системи: аварійна зупинка, циклова зупинка, режим відновлення.

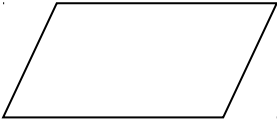
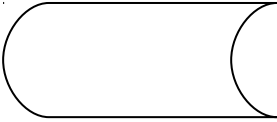
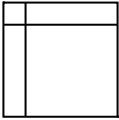
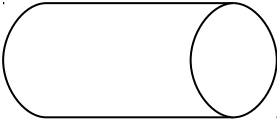
Крім циклових функцій, на принциповій схемі є і позациклові функції, не пов'язані з виконанням кожного циклу, наприклад, контроль стійкості інструменту за кількістю відпрацьованих циклів, або часовим ресурсом, статистикою браку, простоїв, диспетчеризації. З цими доповненнями принципова схема є документом по складу алгоритмів керування. Функції можуть бути розширені за рахунок запуску і зупинки дільниці від ЕОМ, роботи АВС в автоматичному або напівавтоматичному режимі, автоматичного відновлення роботоздатності та ін.

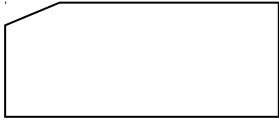
На базі функцій принципової схеми розробляють часткові алгоритми, які служать базою для програмування. Ступінь деталізації часткових алгоритмів визначається складом операторів ЕОМ.

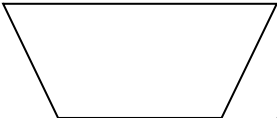
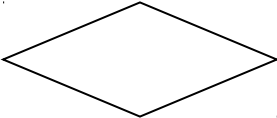
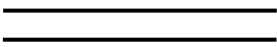
Перелік, назви, позначення обов'язкових символів і відображувані ними

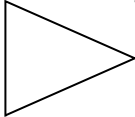
функції в алгоритмі регламентуються ГОСТом 19.701-90 (ISO 5807-85). У табл. 8.2 наведені найпоширеніші символи, що використовуються при розробленні алгоритмів.

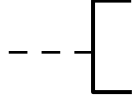
Таблиця 8.2. Умовні позначення на алгоритмічних структурах (за ГОСТом 19.701 – 90)

| Група         | Назва                                           | Умовне позначення                                                                   | Функції                                                                                                                                                      |
|---------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Символи даних | Дані                                            |    | Відображення даних, носій даних не визначений.                                                                                                               |
|               | Дані, що запам'ятовуються                       |    | Відображення даних, що зберігаються, у вигляді, придатному для обробки, носій даних не визначений.                                                           |
|               | Оперативний запам'ятовуючий пристрій            |  | Відображення даних, що зберігаються в ОЗП.                                                                                                                   |
|               | Запам'ятовуючий пристрій з послідовним доступом |  | Відображення даних, що зберігаються в запам'ятовуючому пристрої з послідовним доступом (магнітна стрічка, касета з магнітною стрічкою, магнітофонна касета). |
|               | Запам'ятовуючий пристрій з прямим доступом      |  | Відображення даних, що зберігаються в запам'ятовуючому пристрої з прямим доступом (магнітний диск, магнітний барабан, гнучкий магнітний диск).               |

|  |                  |                                                                                     |                                                                                                                                                                        |
|--|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Документ         |    | Відображення даних, що зображені на носії в зручній формі для читання (машинограма, документ для оптичного або магнітного зчитування, мікрофільм, бланки вводу даних). |
|  | Ручний ввід      |    | Відображення даних, що вводяться вручну під час обробки з пристроїв довільного типу (клавіатура, перемикачі, кнопки, світлове перо, смужки з штрих-кодом).             |
|  | Карта            |    | Відображення даних, що представлені на носії у вигляді карти (перфокарти, магнітні карти, карти з відривним ярликом, карти із сканованими мітками).                    |
|  | Паперова стрічка |  | Відображення даних, що представлені на носії у вигляді паперової стрічки.                                                                                              |
|  | Дисплей          |  | Відображення даних, що представлені у символній формі на носії у вигляді пристрою відображення (екран для візуального спостереження, індикатори вводу інформації).     |

|                 |                           |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Символи процесу | Процес                    |    | Відображення функції обробки даних будь-якого виду (виконання певної операції або групи операцій, що приводить до зміни значення, форми або розміщення інформації).                                          |
|                 | Наперед визначений процес |    | Відображення наперед визначеного процесу, що складається з однієї або декількох операцій чи кроків програми, які визначені в іншому місці (у підпрограмі, модулі).                                           |
|                 | Ручна операція            |    | Відображення будь-якого процесу, що виконується людиною.                                                                                                                                                     |
|                 | Підготовка                |  | Відображення модифікації команди або групи команд з метою впливу на деяку послідовну функцію (встановлення перемикача, модифікація індексного регістра).                                                     |
|                 | Рішення                   |  | Відображення рішення або функції типу перемикача, що має один вхід і ряд альтернативних виходів, один і тільки один з яких може бути активізований після виконання умов, визначених всередині цього символу. |
|                 | Паралельні дії            |  | Відображення синхронізації двох або більше паралельних операцій.                                                                                                                                             |

|                    |                    |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Символи ліній      | Лінія              |    | Відображення потоку даних або керування. Для необхідності можна додати стрілки-вказівники.                                                                                                                                                      |
|                    | Передача керування |    | Відображення безпосередньої передачі керування від одного процесу до іншого, деколи з можливістю прямого повернення до виконуваного процесу після того як виконуваний процес завершить свої функції. Тип передачі вказується в середині символу |
|                    | Канал зв'язку      |   | Відображення передачі даних по каналу зв'язку.                                                                                                                                                                                                  |
|                    | Пунктирна лінія    |  | Відображення альтернативного зв'язку між двома або більше символами.                                                                                                                                                                            |
| Спеціальні символи | З'єднувач          |  | Відображення виходу в частину схеми та вхід з іншої частини схеми і використовується для обриву лінії і продовження її в іншому місці.                                                                                                          |
|                    | Термінатор         |  | Відображення виходу у зовнішнє середовище і вхід з зовнішнього середовища (початок або кінець схеми програми, зовнішнє використання і джерело або пункт призначення даних).                                                                     |

|  |            |                                                                                   |                                                                                                                         |
|--|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Коментарій |  | Символ використовують для додавання описових коментарів або пояснювальних записів з<br><u>ме</u> закінчення таблиці 8.2 |
|--|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

*Види алгоритмічних структур*

Схема алгоритму – це графічне представлення, визначення, аналізу або методу розв’язання задачі, у якому використовуються символи для відображення операцій, даних, потоку, обладнання й т.д.

Існує кілька типів схем, зокрема такі:

- схеми даних;
- схеми програм;
- схеми роботи системи;
- схеми взаємодії програм;
- схеми ресурсів системи.

Схеми даних відображають шлях даних при розв’язанні задач і визначають етапи обробки, а також використовувані носії даних.

Схеми програм відображають послідовність операцій у програмі.

Схема програм складається з:

- символів процесу, що вказують на фактичні операції обробки даних (включаючи символи, що визначають шлях, якого потрібно дотримуватись із урахуванням логічних умов);
- лінійних символів, що вказують шлях керування;
- спеціальних символів, що використовуються для полегшення написання і читання схеми.

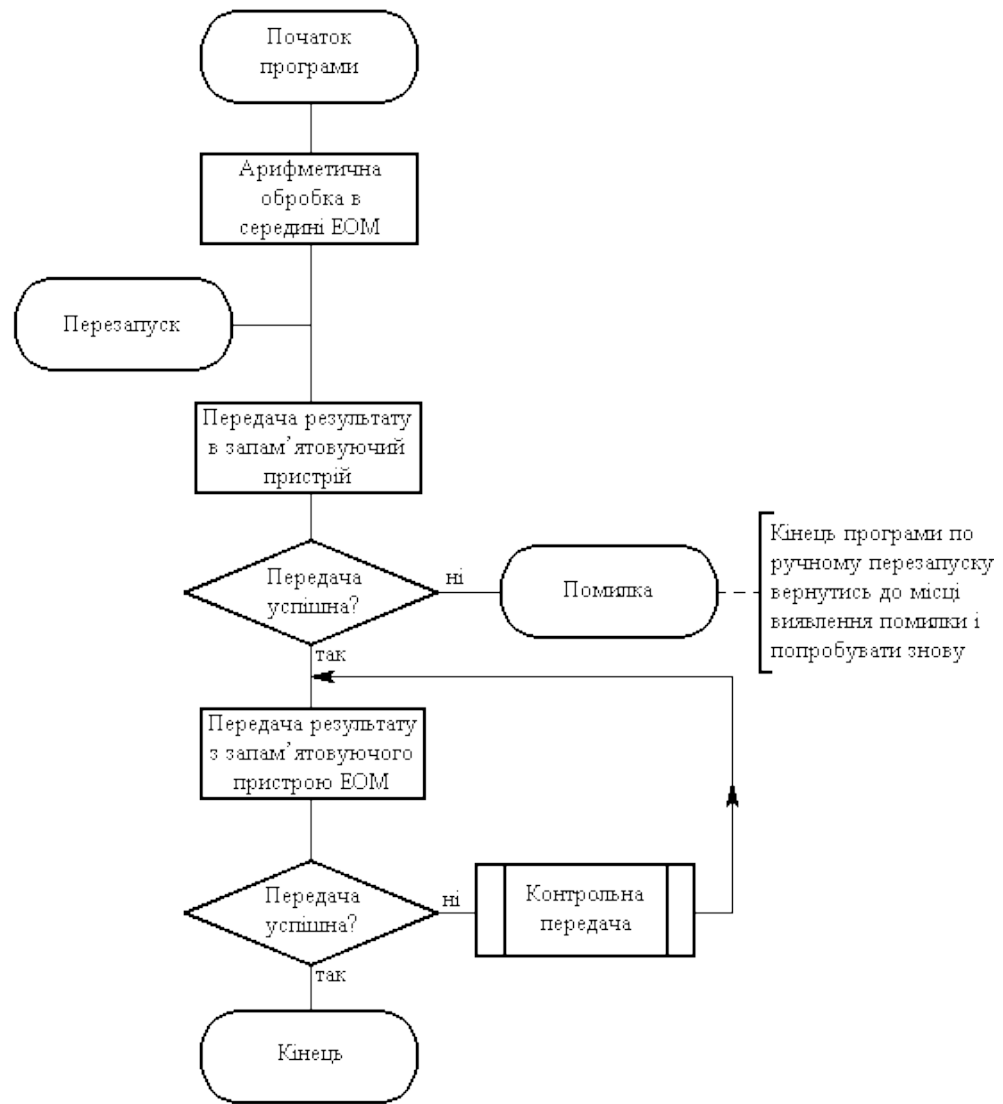
Схеми роботи системи відображають керування операціями і потік даних у системі.

Схема роботи системи складається з:

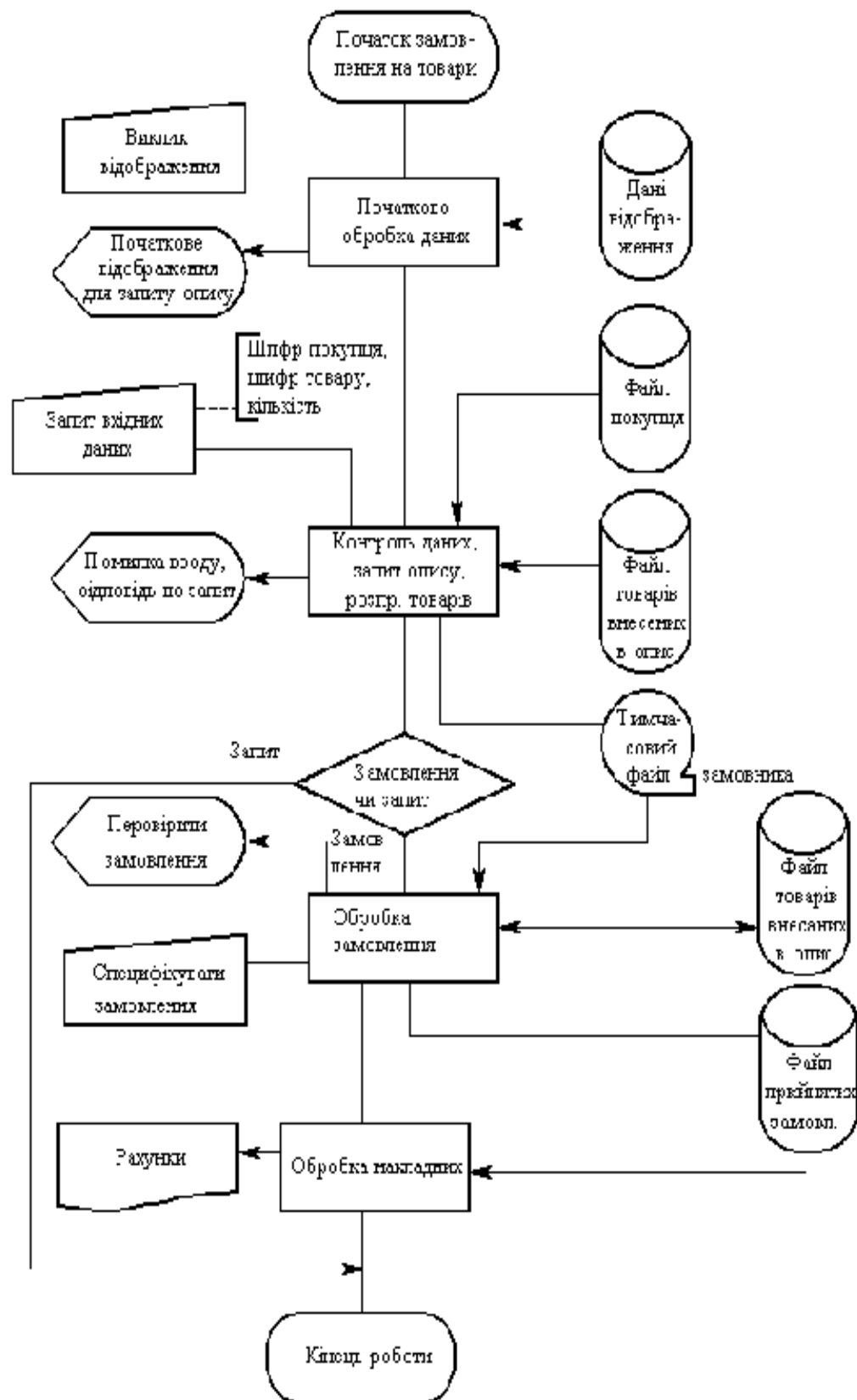


- символів даних, що вказують на наявність даних (символи даних можуть також вказувати вид носія даних);
- символів процесу, що вказують операції, які потрібно виконати над даними, а також над тими, які визначають логічний шлях, якого потрібно дотримуватись;
- лінійних символів, що вказують потоки даних між процесами і (або) носіями даних, а також потік керування між процесами;
- спеціальних символів, що використовуються для полегшення написання і читання блок-схеми.

Схеми взаємодії програм відображають шлях активації програм і взаємодії з відповідними даними. Схеми ресурсів системи відображають конфігурацію блоків даних і обробляючих блоків, яка потрібна для розв'язання задачі або набору задач. Приклади виконання окремих схем. Блок-схема програми.



Блок-схема роботи системи



Виклик  
зображення

Початкове  
гідсбразження  
для запиту опису

Запит вхідних  
даних

Шифр покуття,  
шифр твару,  
кількість

Помилка проду,  
одрісоді по саят

|                                                 |  |
|-------------------------------------------------|--|
| Контр. даних,<br>затит опису,<br>розпр. товарів |  |
|-------------------------------------------------|--|

Файл.  
покупщик

Файл  
ГЛАВНОЕ  
УПРАВЛЕНИЕ  
В ОУПРАВ

Тимчасовий файл

### 3.2. MOBILE

3.  $\pi$ 

ЗЕМСЫПЕННЯ  
ЧИ ЗЕМЛІ

Г. еровірити  
замовлення

Специфікувати  
замовлення

|                  |
|------------------|
| броска наглядных |
|------------------|

Рахуны

Кінець роботи

Файл  
товарів  
внесених  
в ГТШ

Принято  
Замол.

*Правила використання символів і виконання блок-схем*

### Правила використання символів:

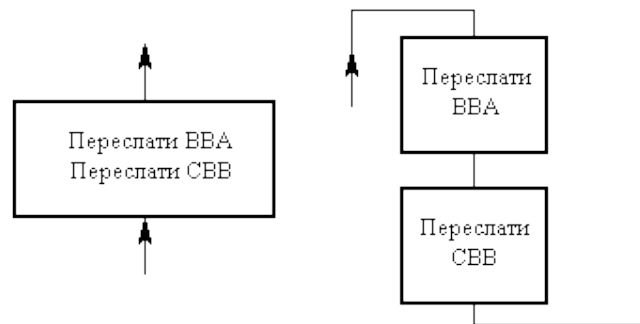
1. Символ призначений для графічної ідентифікації функції, яку він відображає, незалежно від тексту всередині цього символу.

2. Символи у схемі повинні бути розміщені рівномірно. Потрібно дотримуватись потрібної довжини з'єднань і мінімальної кількості довгих ліній.

3. Символи повинні бути вміру можливості одного розміру, не повинні змінюватися кути та інші параметри, які впливають на форму символів.

4. Мінімальну кількість тексту, потрібного для розуміння функції даного символу, потрібно вміщувати всередині даного символу. Текст повинен записуватись зліва направо і зверху вниз незалежно від спрямування потоків.

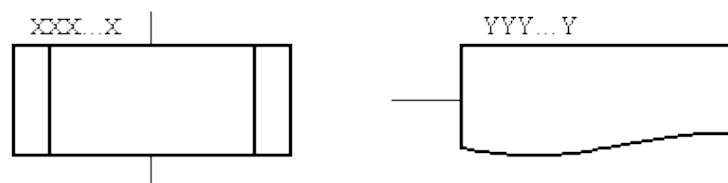
#### Приклад



Якщо текст, що вміщується всередині символу, перевищує його розміри, потрібно використовувати символ коментаря.

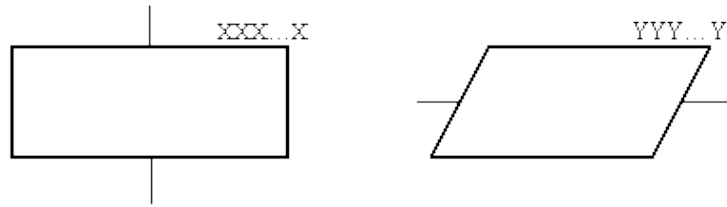
5. У схемах може використовуватись ідентифікатор символів. Ідентифікатор символу повинен розміщуватись зліва над символом.

#### Приклад



6. Опис символу повинен бути розміщений справа над символом.

#### Приклад



#### Правила виконання з'єднань:

1. Потіки даних або потоки керування у схемах показуються лініями. Напрямок потоку зліва направо і зверху вниз вважається стандартним. Якщо потік має напрям, що відрізняється від стандартного, стрілки повинні вказувати цей напрям.

2. В схемах потрібно не допускати перетину ліній. Лінії, які перетинаються, не мають логічного зв'язку між собою, тому зміна напрямку в точках перетину не допускається.

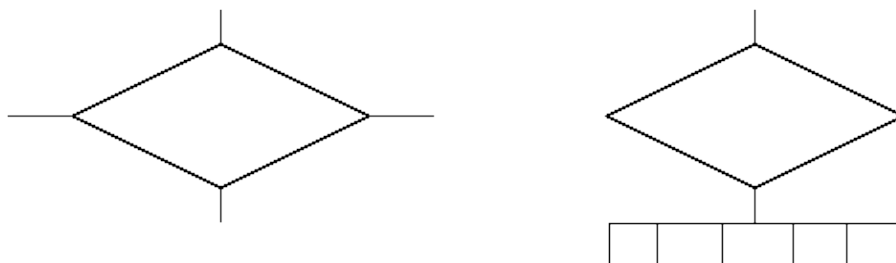
3. Лінії у схемах повинні підходити до символу або зліва, або зверху, а виходити або справа, або знизу. Лінії повинні бути спрямовані до центру символу.

#### Спеціальні умовні позначення:

1) Кілька виходів можуть зображуватись як:

- декілька ліній від даного символу до інших символів;
- одна лінія від даного символу, яка потім розгалужується у відповідне число ліній.

#### Приклад

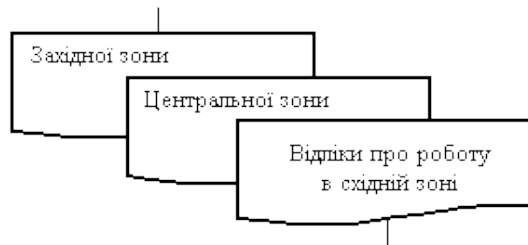


2. Зображення, що повторюється.

Замість одного символу можуть бути використані кілька з перекриттям

зображення, кожен з яких містить описовий текст. Лінії можуть виходити з довільної точки перекритих символів. Приклад розробки алгоритму РТК ГАД для штампування деталей за одну операцію.

#### *Приклад*



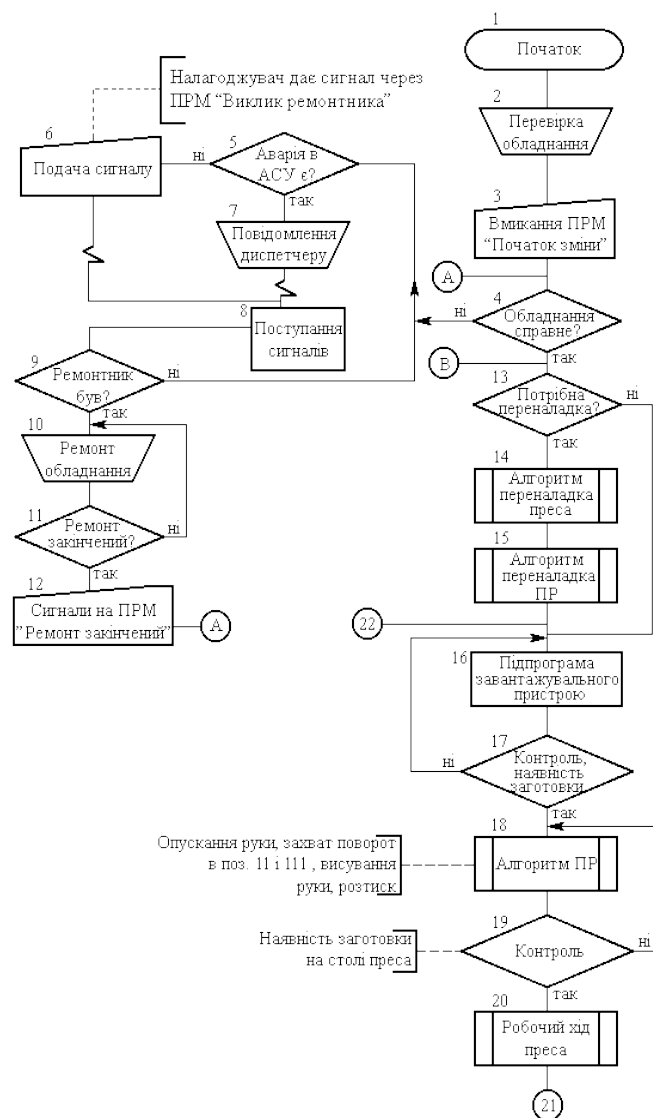
До складу РТК для штампування двох деталей за одну операцію включені два встановлених в ряд преси модифікації КД2130Б з номінальним зусиллям 1000 кН, що обслуговуються ПР типу "Циклон-5.01" у дворукому виконанні з вакуумними захоплювачами. Подавання кожної заготовки у позицію захоплення роботом здійснюється бункерним завантажувальним пристроєм, який забезпечений автономним пневмоприводом. Приймально-передавальних пристрій призначений для передавання відштампованих деталей у спеціальну тару. Пристрій виконано у вигляді спеціалізованого автономного пристрою з пневмоприводом.

Пристрій виконано у вигляді спеціалізованого автономного пристрою з пневмоприводом. Блок-схема алгоритму роботи РТК, що характеризує послідовність операцій при штампуванні деталей. Задання циклу роботи РТК проводиться за допомогою пристроїв програмного керування типу УМЦ-20, які об'єднані між собою з іншим обладнанням комплексу засобами автоматики, що змонтовані в електрошафах, і електропневморозводкою. На шафах знаходяться пульти керування з перемикачами режиму роботи РТК.

Для автоматичного режиму роботи необхідне оснащення комплексу додатковими давачами контролю положення повзуна преса зі штампом, знімання деталі зі штампу і наявності деталі в приймально-передаючому пристрої, а також наявності оператора у зоні загородження. Пристрої контролю

наявності заготовки і знімання деталі зі штампу преса виконані у вигляді стійок, на яких змонтовані безконтактні шляхові вимикачі. В момент проходження над площиною давачів заготовки або готової деталі у коло блокування надходить електричний сигнал на продовження циклу РТК. Якщо в захоплювачі ПР не буде заготовки (деталі), то при русі захоплювача над відповідними давачами їх сигнали не формуються, що викликає блокування циклу РТК.

Блок-схема роботи РТК ГАД для штампування деталей за одну операцію.



### Функціональні структури

У функціональній структурі кожна частина призначена для виконання

визначеної функції.

Розрізняють схеми двох видів, представлених у вигляді функціональних структур:

- 1) структурні схеми АСУ ТП;
- 2) функціональні схеми засобів автоматизації (схеми автоматизації).

#### *Структурна схема АСУ ТП*

Структурна схема АСУ ТП розробляється на стадії "Проект" при двостадійному проектуванні й відповідає такому складу системи:

1. Технологічні підрозділи (відділення, ділянки, цехи, виробництва).
2. Пункти контролю й керування (місцеві щити, операторські й диспетчерські пункти, блокові щити і т.д.).
3. Технологічний (експлуатаційний) персонал і додаткові спеціальні служби, що забезпечують оперативне керування.
4. Основні функції й технічні засоби, що забезпечують їхню реалізацію у кожному пункті контролю й керування.
5. Взаємозв'язок між підрозділами і з вищестоящою АСУ.

Функції АСУ ТП шифрують і на схемі позначають у вигляді чисел.

Наприклад:

- контроль параметрів;
- дистанційне керування устаткуванням і виконавчими механізмами;
- вимірювальні перетворювачі;
- контроль і сигналізація стану устаткування;
- стабілізуюче регулювання;
- вибір режиму роботи регулятора і ручне керування задавачами;
- ручне введення даних;
- реєстрація параметрів і т.д. (розрахунок, облік, діагностика, оптимізація, аналіз, прогнозування).

Приклад виконання структурної схеми АСУ ТД наведено на рис.8.9.



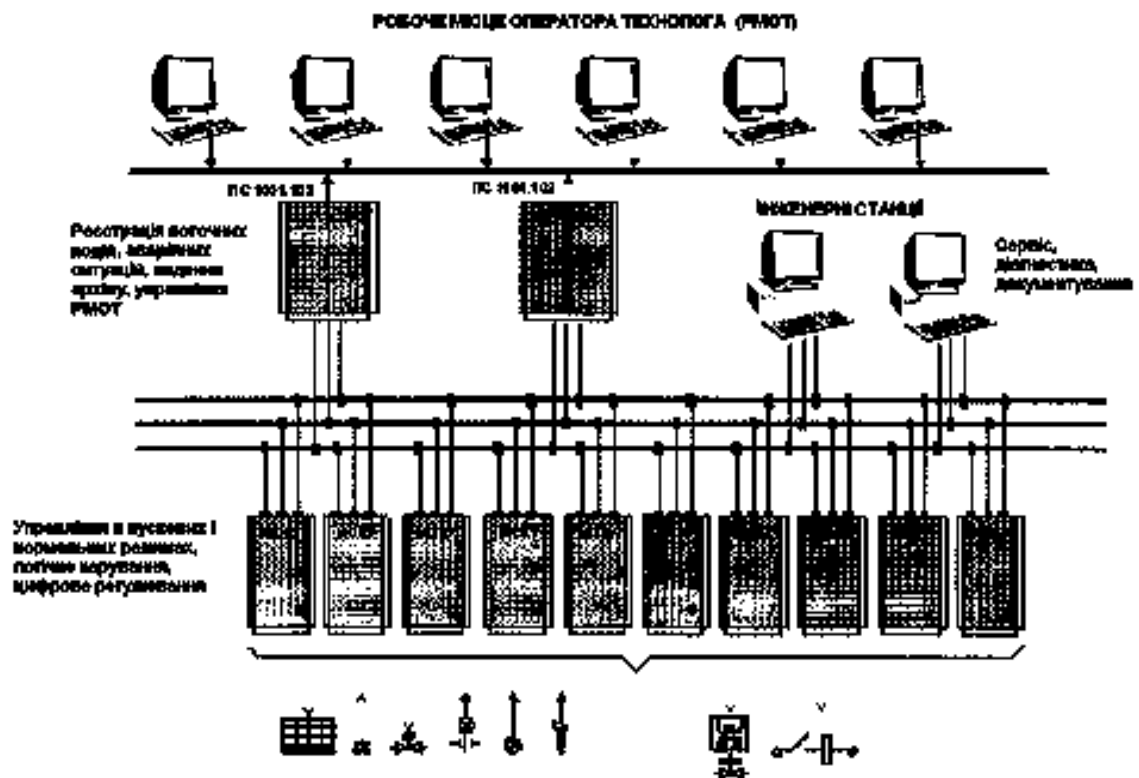


Рисунок 8.9. Структурна схема АСУ ТП енергоблока 800 МВт Запорізької ГРЕС

### *Правила виконання схем автоматизації (ГОСТ 21.408-93)*

Схеми автоматизації розробляють загалом на технологічну (інженерну) систему або її складову – технологічну лінію, блок обладнання, установку або агрегат.

Схему автоматизації допускається суміщати зі схемою з'єднань (монтажною), що виконується у складі основного комплекту, або зі схемами інженерних систем.

На схемі автоматизації зображають:

1) технологічне й інженерне обладнання та комунікації (трубопроводи, газоходи, повітропроводи) об'єкта, що автоматизується (далі – технологічне обладнання);

2) технічні засоби автоматизації або контури контролю, регулювання і керування (сукупність окремих функціонально пов'язаних приладів, що

виконують певне завдання з контролю, регулювання, сигналізації, керування і т.п.) ;

3) лінії зв'язку між окремими технічними засобами автоматизації або контурами (за необхідності).

Структурні схеми системи автоматизації виконуються по вузлах і включають усі елементи системи від датчика до регулюючого органа зі вказуванням місця розташування та їх взаємозв'язку між собою.

Схеми автоматизації визначають:

- функціонально-блокову структуру окремих вузлів автоматичного контролю, сигналізації, керування й автоматичного регулювання;
- оснащення об'єкта керування приладами і засобами автоматизації, у тому числі засобами обчислювальної техніки (ЗОТ).

При розробленні схем вирішують такі завдання:

- отримання інформації про стан технологічного устаткування;
- безпосередній вплив на технологічний процес для керування ним;
- стабілізація технологічних параметрів;
- контроль і реєстрація технологічних параметрів процесу і стану устаткування.

Ці функціональні задавання вирішують на базі технічних засобів автоматизації (ТЗА), включаючи ЗОТ.

Результатом розроблення схем автоматизації є:

- вибір методів вимірювання технологічних параметрів;
- вибір основних технічних засобів автоматизації;
- визначення приводів виконавчих механізмів регулюючих і запірних органів, керованих автоматично чи дистанційно;
- розміщення ТЗА на щитах і пультах, технологічному устаткуванні й трубопроводах.

Умови розроблення функціональних схем (схем автоматизації):

1. Повинна зберігатися можливість нарощування функцій керування (принцип відкритості системи).
2. Система повинна будуватися на базі ТЗА державної системи промислових приладів і засобів автоматизації (ДСП).
3. Система повинна будуватися на базі уніфікованих комплексів, що дає значні переваги при монтажі, налагодженні, експлуатації й ремонті.
4. ТЗА вибирають, виходячи з таких умов:
  - виробництва (пожежо- і вибухонебезпечність, запиленість, агресивність і токсичність середовища);
  - параметрів вимірюваного середовища;
  - відстаней, що допускаються від давачів і виконавчих механізмів до регулюючих пристроїв;
  - вимог до точності й швидкодії роботи системи.

Схеми автоматизації виконують двома способами:

- 1) розгорнений, за яким на схемі зображують склад і місце розташування технічних засобів автоматизації кожного контуру контролю й керування;
- 2) спрощений, за яким на схемі зображують основні функції контурів контролю й керування (без виділення окремих технічних засобів автоматизації, що входять в них і вказування місця розташування).

*Розгорнений спосіб виконання схем автоматизації*

Технологічне устаткування зображують верхній частині схеми.

Прилади, що вбудовуються в технологічні комунікації, показують у розриві ліній комунікацій відповідно до рис. 8.10, а встановлювані на технологічному устаткуванні (за допомогою заставних пристроїв) показують поруч – відповідно до рис.8.11.



Рисунок 8.10. Приклад зображення приладу, який вмонтовують технологічні комунікації

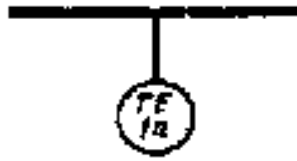


Рисунок 8.11. Приклад зображення приладу, який встановлюють на технологічному устаткуванні

Решту технічних засобів автоматизації показують умовними графічними позначеннями в прямокутниках, розташованих у нижній частині схеми. Кожному прямокутнику присвоюють заголовки, що відповідають показаним у них технічним засобам.

Першим розміщують прямокутник, в якому показані позащитові прилади, конструктивно не пов'язані з технологічним устаткуванням, із заголовком "Прилади місцеві", нижче – прямокутники, в яких показані щити і пульти, а також комплекси технічних засобів (за необхідності).

На схемі автоматизації буквено-цифрові позначення приладів указують в нижній частині кола (овалу) або з правого боку від нього, позначення електроапаратів – праворуч від їх умовного графічного позначення.

При цьому позначення технічних засобів присвоюють за специфікацією устаткування й складають з цифрового позначення відповідного контуру і буквеного позначення (великими літерами російського алфавіту) кожного елемента, що входить у контур (залежно від послідовності проходження сигналу).

При великій кількості приладів допускається застосовувати позначення, у яких перший знак відповідає умовному позначенню вимірюваної величини, наступні знаки – порядковому номеру контуру в межах вимірюваної величини.

Лінії зв'язку допускається зображати з розривом при великій протяжності або при складному їх розташуванні. Місця розривів ліній зв'язку нумерують арабськими цифрами в порядку їх розташування в прямокутнику із заголовком "Прилади місцеві".

Допускається перетин ліній зв'язку із зображеннями технологічного устаткування. Перетин ліній зв'язку з позначеннями приладів не допускається.

На лініях зв'язку вказують граничні (максимальні або мінімальні) робочі значення вимірюваних (регульованих) величин за ГОСТом 8.417 або в одиницях шкали вибраного приладу. Для позначення розрідження (вакууму) ставлять "мінус". Для приладів, які вбудовують безпосередньо в технологічне устаткування, і що не мають ліній зв'язку з іншими приладами, граничні значення величин вказують поряд з позначенням приладів.

Технологічне устаткування допускається не зображати на схемі у випадках, коли точки контролю й керування в технологічних цехах нечисленні (наприклад, у робочій документації з диспетчеризації). В цьому випадку у верхній частині схеми замість зображення технологічного устаткування наводять рис. 8.12, у графах якої вказують найменування устаткування і комунікацій.

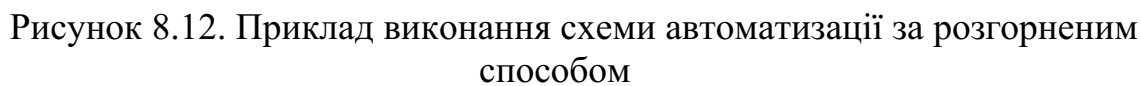
#### *Спрощений спосіб виконання схем автоматизації*

При спрощеному способі виконання схем автоматизації контури контролю і управління, а також одиничні прилади наносять поряд з зображенням технологічного устаткування|обладнання| і комунікацій (або в їх розриві) .

В таблиці контурів вказують номери контурів і номер аркуша основного комплексу, на якому приведений склад кожного контуру.

Контур (незалежно від кількості вхідних в нього елементів) зображають у вигляді кола (овалу), розділеного горизонтальною межею. У верхню частину кола записують буквене позначення, що визначає вимірюваний (регульований) параметр і функції, що виконуються даним контуром, в нижню - номер контуру. Для контурів систем автоматичного регулювання, крім того, на схемі зображують виконавчі механізми, регулюючі органи і лінію зв'язку, що сполучає контури з виконавчими механізмами.

Приклад виконання схеми автоматизації за розгорнутим способом наведено на рис.8.12.



Склад кожного контуру має бути наведений на:

- принциповій (електричній, пневматичній) схемі контролю, регулювання й керування;

- схемі з'єднань зовнішніх проводок.

Коли на схемах автоматизації складно навести повний склад елементів контуру, розробляють структурну схему контуру, приклад виконання якої наведено на рис.8.13.

Приклад виконання схеми автоматизації спрощеним способом наведено на рис. 8.14.

Кількість приладів, апаратури сигналізації й керування, що встановлюються на оперативних щитах і пультах, повинна бути мінімальною і достатньою.

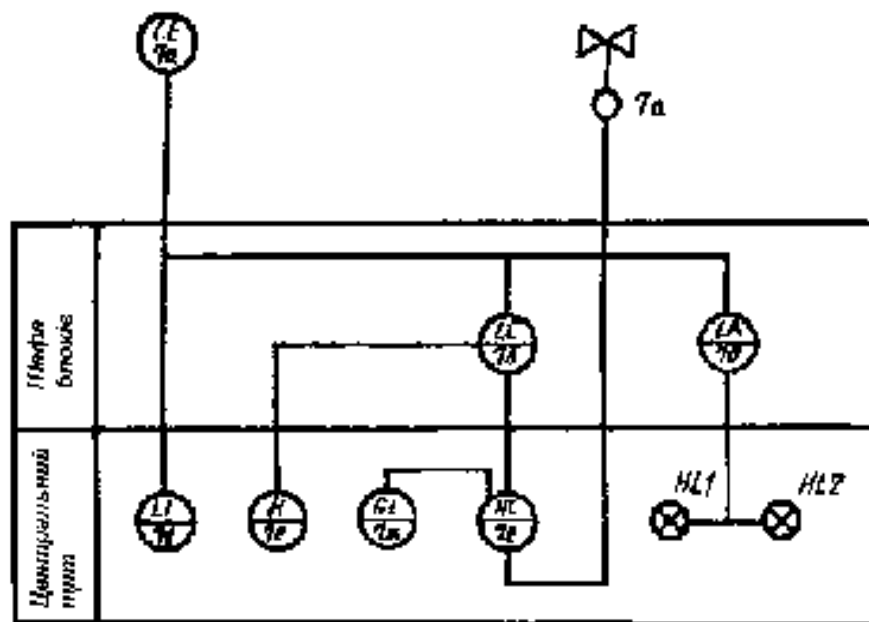


Рисунок 8.13. Приклад виконання структурної схеми контуру

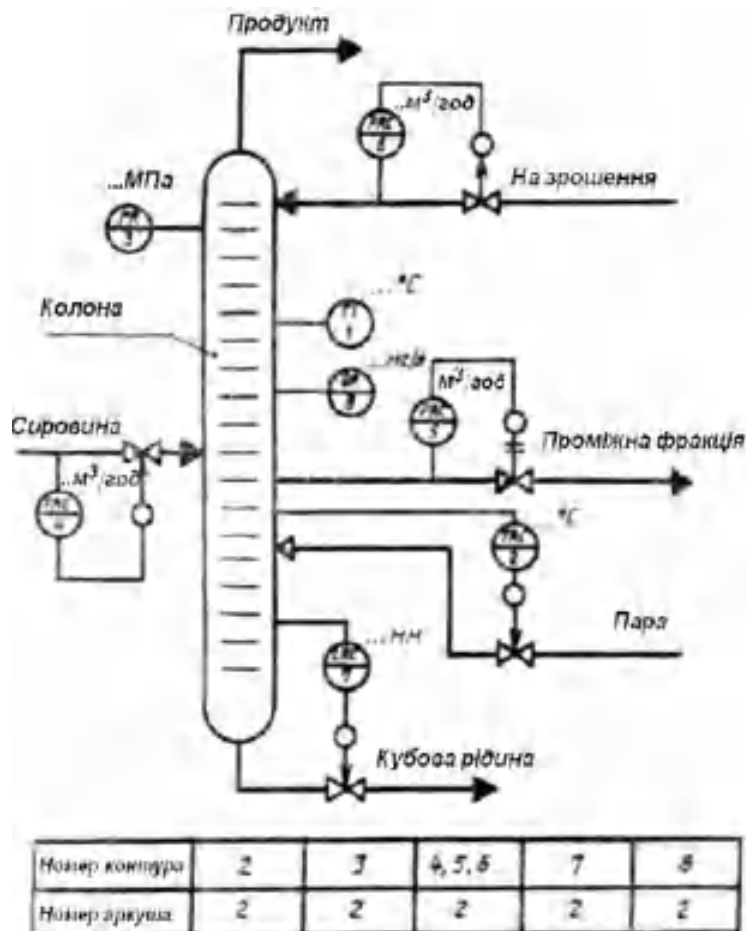


Рисунок 8.14. Приклад виконання схеми автоматизації за спрощеним способом

Технологічне устаткування й комунікації (трубопроводи) на схемах зображують спрощено, при цьому не показують допоміжні апарати і трубопроводи (рис. 8.15). На трубопроводах показують регулюючу і запірну арматуру, що безпосередньо бере участь у системі автоматизації чи допомагає визначитися з місцями відбору імпульсів. Трубопроводи зображують відповідно до ГОСТу 2.784-96. На трубопроводах із установленими регулювальними клапанами і запірними засівками показують умовні діаметри.



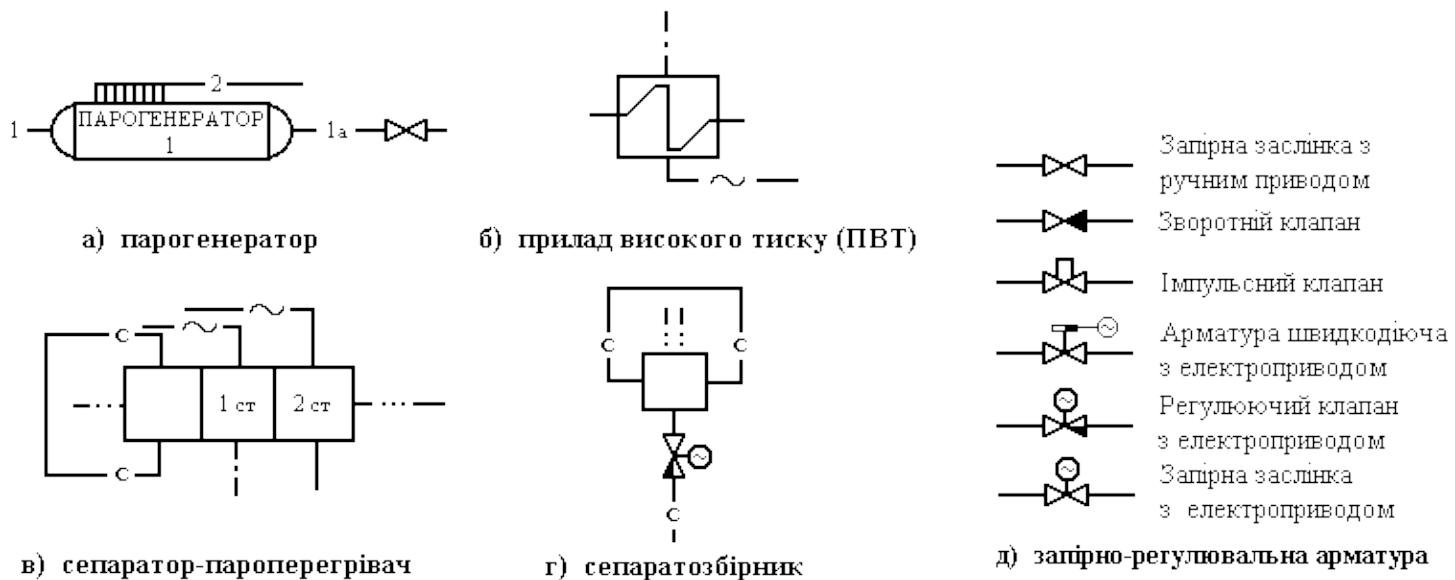


Рисунок 8.15 Зображення технологічного устаткування і трубопроводів.

Умовні позначки трубопроводів на функціональних схемах:

1 – вода, 2 – пара, 3 – повітря, 4 – азот, 5 – кисень, ... , 12 – кислота й ін.

Зображення засобів вимірювання й автоматизації на схемах автоматизації (ГОСТ 21.404-85)

Зображення засобів вимірювання й автоматизації на функціональних схемах формується відповідно до ГОСТу 21.404-85 умовними літерними позначеннями (до п'яти позицій – рис. 8.16).

Основні буквені позначення (ГОСТ 21.404-85) вимірювальних величин і функціональних ознак приладів наведено у таблиці 8.3.

При побудові умовних позначень варто вказувати не усі функціональні ознаки приладу, а лише ті, які використовуються в даній схемі. Наприклад, при позначенні показуючого і самописного приладу температури, якщо функція показання не використовується, варто писати TR замість TIR. Сигналізатор рівня, блок сигналізації якого є безшкальним приладом, оснащений контактним пристроєм і вбудованими сигнальними лампами, варто позначати залежно від використовуваних функцій: LS, LA, LSA, LC.

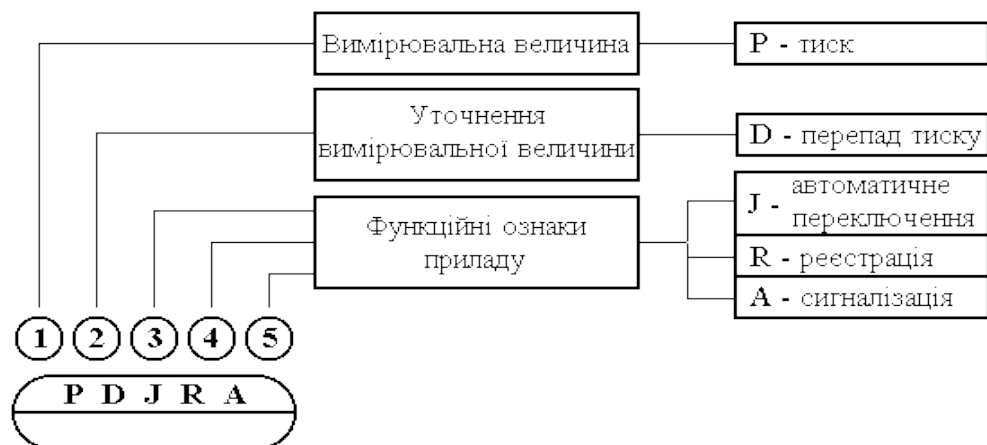
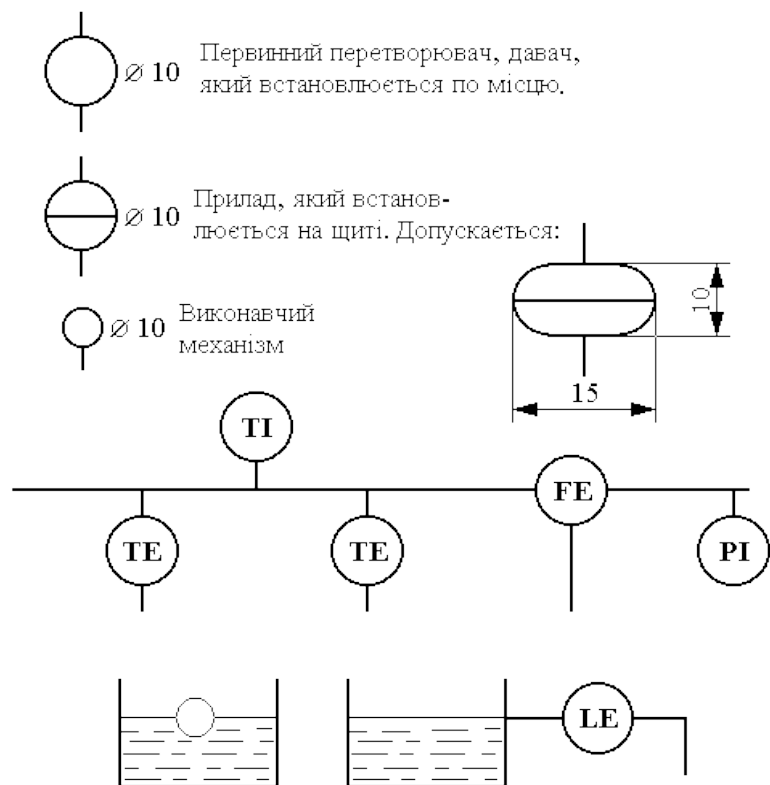


Рисунок 8.16 Зображення засобів вимірювання й автоматизації

Таблиця 8.3. Основні позначення функціональних схем

| Позна- | Вимірювана величина | Функціональна ознака приладу |
|--------|---------------------|------------------------------|
|--------|---------------------|------------------------------|

| чення | Основне<br>позначення<br>вимірюваної<br>величини | Додаткове<br>позначення, що<br>уточнює<br>вимірювану<br>величину | Відобра-<br>ження<br>інформац<br>ії | Формуван-<br>ня<br>вихідного<br>сигналу       | Додаткове<br>значення                            |
|-------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| A     | +                                                | -                                                                | Сигналі-<br>зація                   | -                                             | -                                                |
| B     | +                                                | -                                                                |                                     |                                               |                                                  |
| C     | +                                                | -                                                                | -                                   | Автоматичне<br>регулюван-<br>ня,<br>керування | -                                                |
| D     | Густина                                          | Різниця,<br>перепад                                              | -                                   | -                                             | -                                                |
| E     | Електрична<br>величина                           | -                                                                | +                                   | -                                             | -                                                |
| F     | Витрата                                          | Співвідношен-<br>ня, доля, дріб                                  | -                                   | -                                             | -                                                |
| G     |                                                  |                                                                  |                                     |                                               |                                                  |
| H     | Розмір,<br>положення,<br>переміщення             | -                                                                | +                                   | -                                             | Верхня<br>межа<br>вимірю-<br>вальної<br>величини |
| I     | +                                                | -                                                                | Показ                               | -                                             | -                                                |
| J     | +                                                | Автоматичне<br>перемикання,<br>пробігання                        | -                                   | -                                             | -                                                |
| K     | Час, часова<br>програма                          | -                                                                | -                                   | +                                             | -                                                |
| L     | Рівень                                           | -                                                                | -                                   | -                                             | Нижня<br>межа<br>вимірю-<br>вальної<br>величини  |

закінчення таблиці 8.3

|   |                                                              |                                       |            |                                                 |   |
|---|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------|-------------------------------------------------|---|
| M | Вологість                                                    | -                                     | -          | -                                               | - |
| N | +                                                            | -                                     | -          | -                                               | - |
| O | +                                                            | -                                     | -          | -                                               | - |
| P | Тиск, вакуум                                                 | -                                     | -          | -                                               | - |
| Q | Величина, що характеризує якість: склад, концентрація і т.п. | Інтегрування, підсумовування за часом | -          | +                                               | - |
| R | Радіоактивність                                              | -                                     | Реєстрація | -                                               | - |
| S | Швидкість, частота                                           | -                                     | -          | Ввімкнення, вимкнення, переключення, блокування | - |
| T | Температура                                                  | -                                     | -          | -                                               | - |
| U | Кілька різнорідних вимірювальних величин                     | -                                     | -          | -                                               | - |
| V | В'язкість                                                    | -                                     | +          | -                                               | - |
| W | Маса                                                         | -                                     | -          | -                                               | - |
| X | Не рекомендована резервна буква                              | -                                     | -          | -                                               | - |
| Y | +                                                            | -                                     | -          | +                                               |   |
| Z | +                                                            | -                                     | -          | +                                               |   |

Примітка. Буквені позначення, відмічені знаком "+" є резервними, а знаком "-" – не використовуються.

Додаткові позначення, що відображають функціональні перетворення сигналів, наведено у таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 Додаткові позначення функціонального перетворення сигналів

| Назва                               | Позначення | Призначення                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Чутливий елемент                    | Е          | <p>Пристрої, що виконують первинне перетворення: перетворювачі термоелектричні, термоперетворювачі опору, датчики пірометрів, звужуючі пристрої витратомірів і т.п.</p> <p>Прилади безшкальні з дистанційним передаванням сигналу: манометри, дифманометри, манометричні термометри</p> <p>Прилади, що мають перемикач для вибору виду керування і пристрій для дистанційного керування</p> <p>Для побудови позначень перетворювачів сигналів і обчислювальних пристроїв</p> |
| Дистанційна передача                | Т          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Станція керування                   | К          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Перетворення, обчислювальні функції | У          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Додаткові буквені позначення, що застосовуються для побудови перетворювачів сигналів, обчислювальних пристроїв, наведено в таблиці 8.5

Таблиця 8.5. Додаткові буквені позначення для побудови перетворювачів сигналів

| Назва                   | Позначення |
|-------------------------|------------|
| 1. Вид енергії сигналу: |            |
| електричний             | Е          |
| пневматичний            | Р          |
| гідравлічний            | Г          |
| 2. Види форм сигналу:   |            |
| аналоговий              | А          |
| дискретний              | Д          |



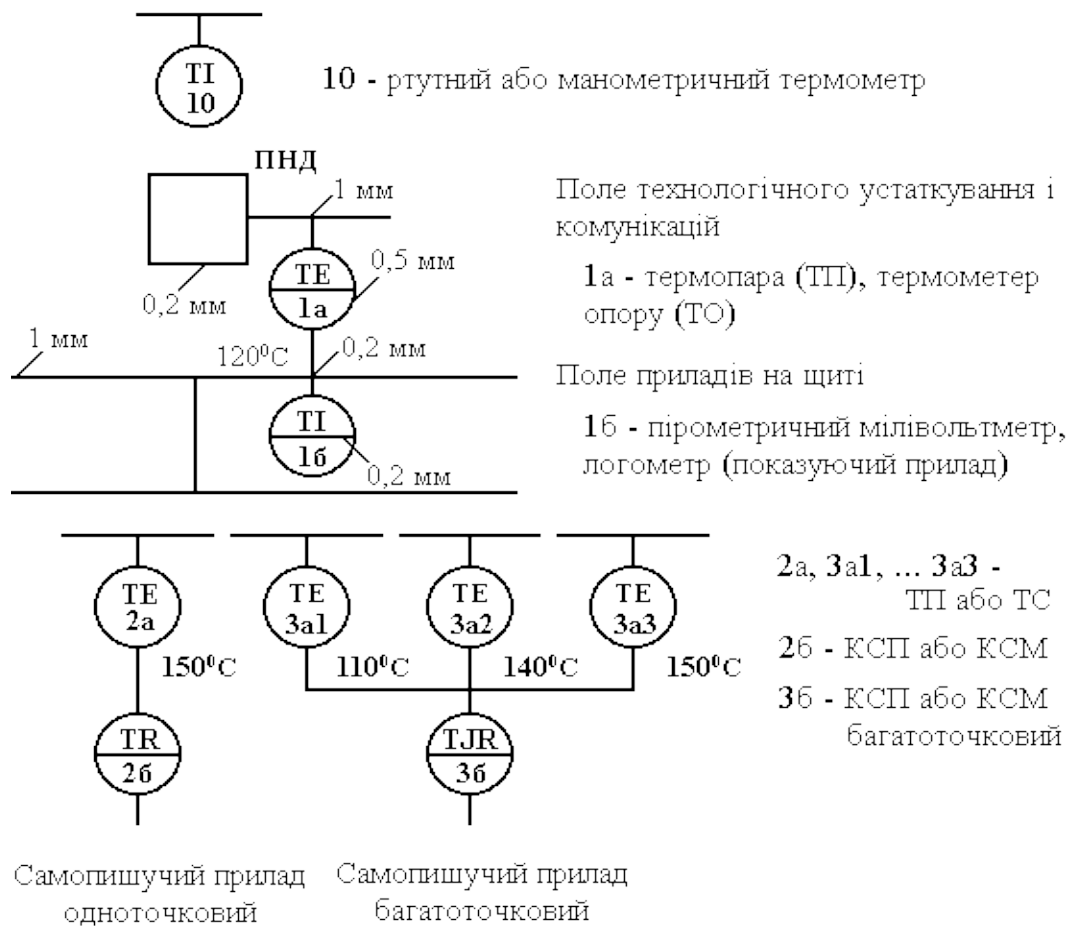


Рисунок 8.18. Автоматичний контроль температури

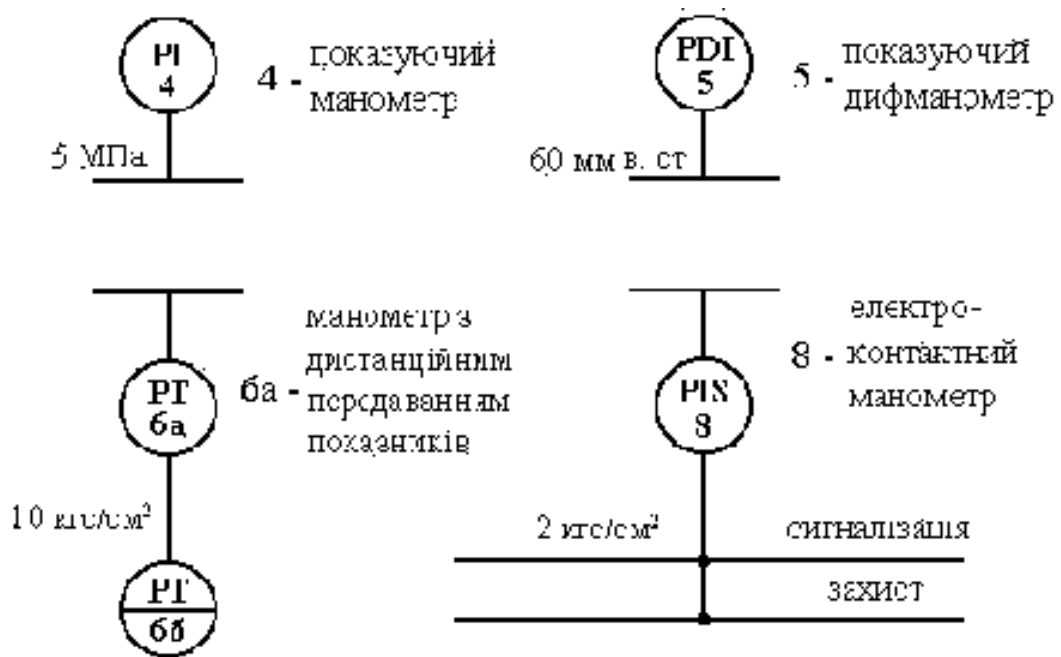


Рисунок 8.19. Автоматичний контроль тиску

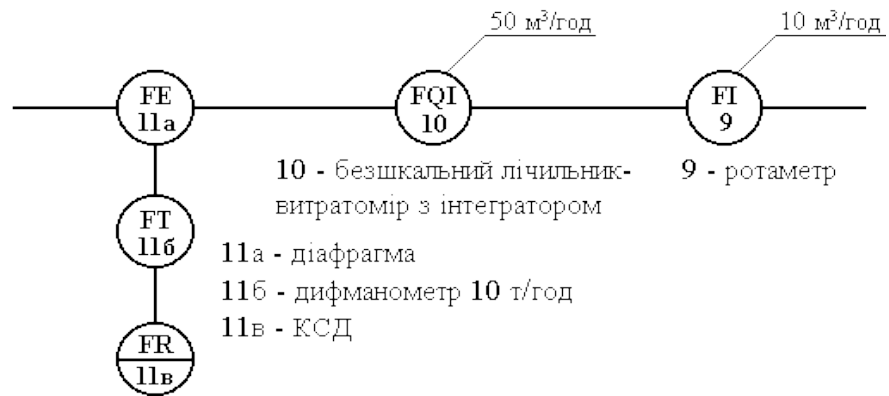


Рисунок 8.20. Автоматичний контроль витрати

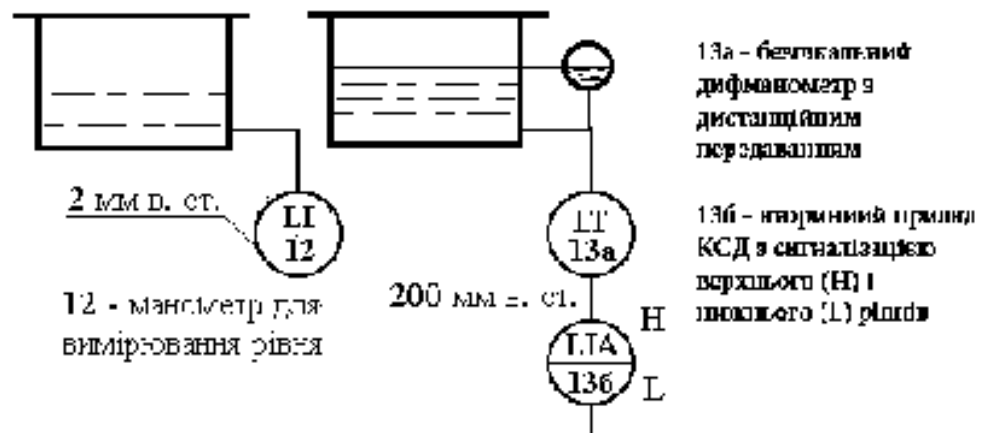


Рисунок 8.21. Автоматичний контроль рівнів

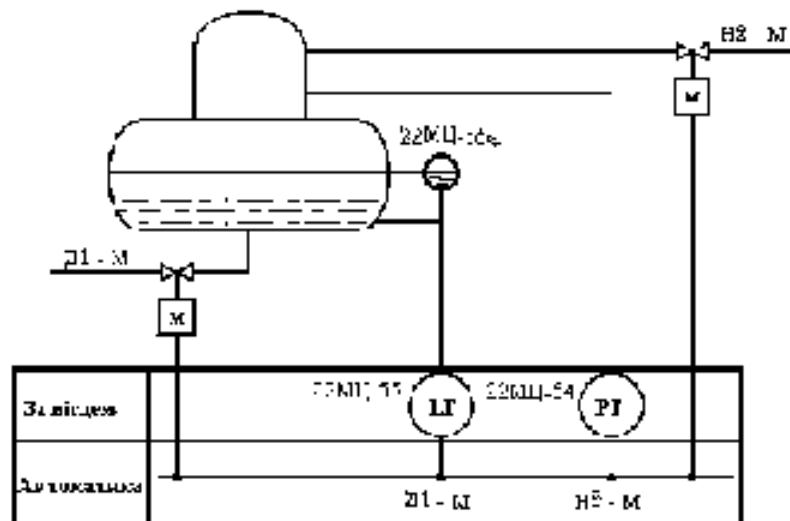


Рисунок 8.22. Автоматичне регулювання деаератора



### 8.3. Керування гідромеханічними процесами

В якості об'єкта управління приймемо трубопровід 6, по якому транспортується рідина від апарата 1 до апарата 8, і відцентровий насос (компресор) 2 з приводом від асинхронного двигуна 4 (рис. 8.23). Параметром, який характеризує виконання завдання, поставленого перед установкою переміщення, є витрата рідини, що переміщується. Процес переміщення необхідно проводити таким чином, аби забезпечувався ефективний режим основного процесу (хімічного, масообмінного), що обслуговується даною установкою переміщення. У зв'язку з цим необхідно підтримувати певне, найчастіше постійне, значення витрати  $F$ . При пуску, налагодженні й підтриманні нормального режиму процесу переміщення необхідно контролювати тиск на всмоктуючій та нагнітаючій лініях насоса. Для правильної експлуатації установки переміщення потрібно контролювати температуру підшипників і обмоток електродвигуна насоса, температуру і тиск змазки і холодоагента; для підрахунку техніко-економічних показників процесу слід контролювати кількість енергії, що використовується приводом.

Розглянемо ряд найпоширеніших установок переміщення й особливості їх автоматизації:

- Регулювання при різних цілях керування.
- Регулювання методом дроселювання потоку в байнасному

трубопроводі:

- Регулювання зміною частоти обертання вала насоса.
- Регулювання зміною частоти ходів і довжини кроку поршня.
- Регулювання зміною кута нахилу робочих лопастей або лопаток.
- Регулювання роботи насосної станції.

Спеціальні методи регулювання поршневих компресорів:

- Спеціальні методи регулювання відцентрових компресорів.
- Регулювання роботи дозувальних насосів.
- Автоматизація компресорів, що переміщують горючі продукти.
- Автоматизація систем пневмотранспорту мікродисперсних твердих

горючих продуктів.

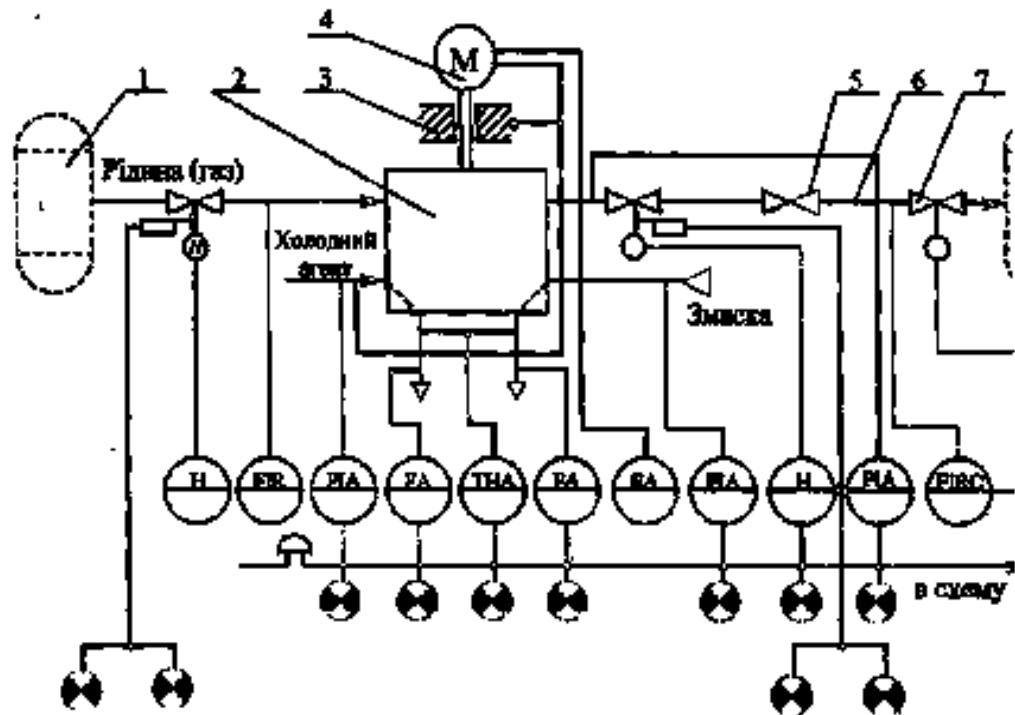


Рисунок 8.23. Схема автоматизації процесу переміщення потоку

### Математичні моделі й системи автоматизації процесів

Процес змішування полягає в перемішуванні будь-яких нереагуючих між собою рідких або твердих сипучих компонентів. Для отримання сумішей використовують змішувачі у вигляді апаратів з мішалками періодичного або безперервного змішування, а також трубчасті змішувачі або змішувачі з рециклом безперервної дії.

Змішування (перемішування) широко використовується в різних галузях харчової промисловості для рівномірного розподілу складових у сумішах рідких, твердих і сипучих компонентів. Наприклад, у хлібопекарному виробництві перемішуються різні види тіста, на маргаринових заводах змішують різні компоненти маргаринової емульсії, в консервному виробництві – м'ясні й овочеві фарші і т. д. Отримані однорідні суміші повинні володіти повністю визначеними фізико-хімічними властивостями.

Для отримання сумішей використовують змішувачі, де перемішування відбувається механічним, пневматичним, перкуляційним і проточним

методами.

Основні принципи автоматизації процесу змішування розробимо на прикладі ємності, в якій змішуються дві рідини А і Б (рис. 8.24). В якості показника ефективності процесу перемішування прийнемо концентрацію компонента в суміші ( $Q_{CM}$ ), а ціллю керування буде отримання суміші з певною концентрацією цього компонента.

Концентрація досліджуваного компонента в суміші залежить від витрати рідин А і Б, а також від концентрації в них досліджуваного компонента. Всі ці параметри визначаються технологічним режимом попередніх процесів, і впливати на них з метою досягнення цілі керування процесом змішування неможливо. Тому існують інші методи:

- Регулювання рівня шляхом зміни витрати суміші.
- Регулювання за допомогою регулятора співвідношень.
- Регулювання борботажних змішувачів.

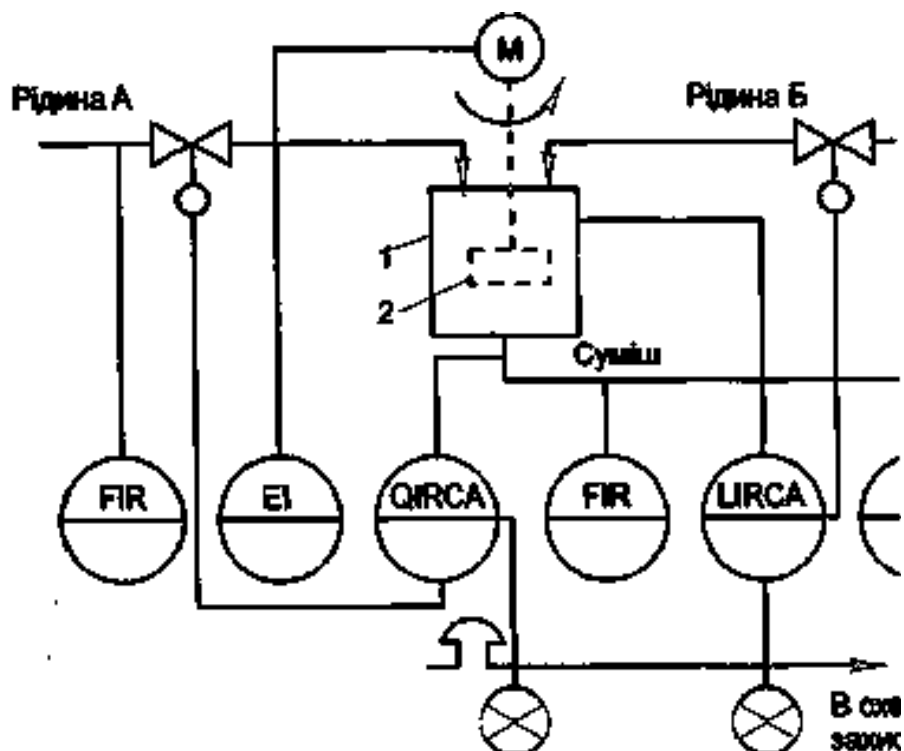


Рисунок 8.24. Схема автоматизації процесу змішування рідини:

1 — ємність; 2 — механічна мішалка

При автоматизації процесів змішування найпростішими є системи стабілізації витрати компонентів, що подаються в суміш. Інколи при сталій витраті компонентів склад суміші буде відрізнятися від заданого, тоді вводяться коректуючі сигнали в систему керування за тими параметрами, які визначають якість суміші.

Змішування (перемішування) використовується також для інтенсифікації масообмінних, теплових і хімічних процесів.

Завданням керування процесом змішування є підтримка заданого складу суміші. Для отримання математичної моделі процесу змішування використовують рівняння матеріального балансу, складені для всієї суміші в цілому і для окремих компонентів. Вид керування суттєво залежить від типу апарата й режиму роботи апарата з мішалками безперервної дії рівняння матеріального балансу для всієї суміші і для того компонента будуть мати відповідно такий вигляд:

$$\frac{\partial g}{\partial \tau} = \sum_{i=1}^n G_{i,bx} - \sum_{i=1}^n G_{i,bux}; \quad (8.1)$$

$$\frac{d(\eta_h g)}{d\tau} = G_{i,bx} - G_{i,bux} . \quad (8.2)$$

Математична модель процесу змішування містить рівняння (8.1) і рівняння виду (8.2).

В якості критерію оптимальності найдоцільніше прийняти мінімум відхилення від заданого стану суміші. Керуючими впливами є витрата компонентів, що подаються. Схема автоматизації з автоматичною системою регулювання, що стабілізує цю витрату на заданому оптимальному значенні, зображена на рис. 8.25а. Якщо витрати одного з компонентів неможливо стабілізувати, то витрата інших компонентів повинна змінюватися в заданих пропорціях відносно зміни витрати некерованого компонента, регулятором співвідношення з метою підтримки заданого складу суміші (рис. 8.25). При можливості безперервного вимірювання складу суміші доцільна установка коректуючого регулятора, який отримує сигнал від датчика, що вимірює склад

суміші, і впливає на задатчик регулятора співвідношення (рис 8.25в).

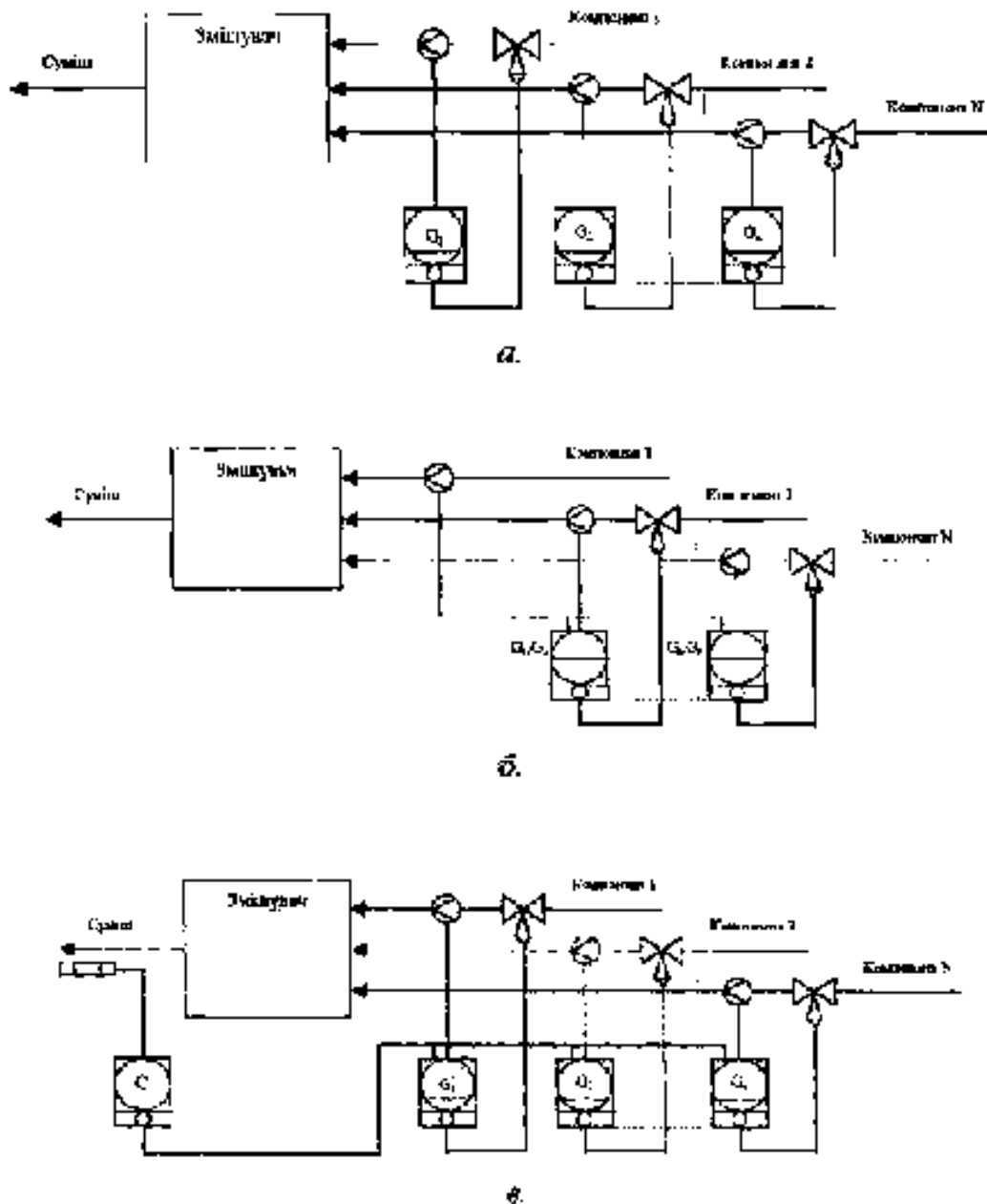


Рисунок 8.25 Схема автоматичного процесу змішування:

а) – зі стабілізацією заданих оптимальних значень витрат; б) – з регулюванням співвідношення витрат; в) – з введенням сигналу за складом суміші

### Центрифугування рідких систем

В якості об'єкта керування при автоматизації процесу центрифугування розглянемо центрифугу неперервної дії (рис.8.26). Отриманий у результаті центрифугування осад, як правило, надходить у сушку, енергетичні затрати

якої визначаються, в основному, вологістю осаду, тому при керуванні центрифугами ставиться завдання отримання заданої, мінімально можливої за даних умов, вологості осаду (вона може коливатися, наприклад, при відстійному центрифугуванні, від 10 до 30 відсотків). Це й буде ціллю керування:

- Регулювання відстійних центрифуг.
- Керування центрифугами періодичної дії.
- Регулювання швидкості обертання центрифуг періодичної дії.

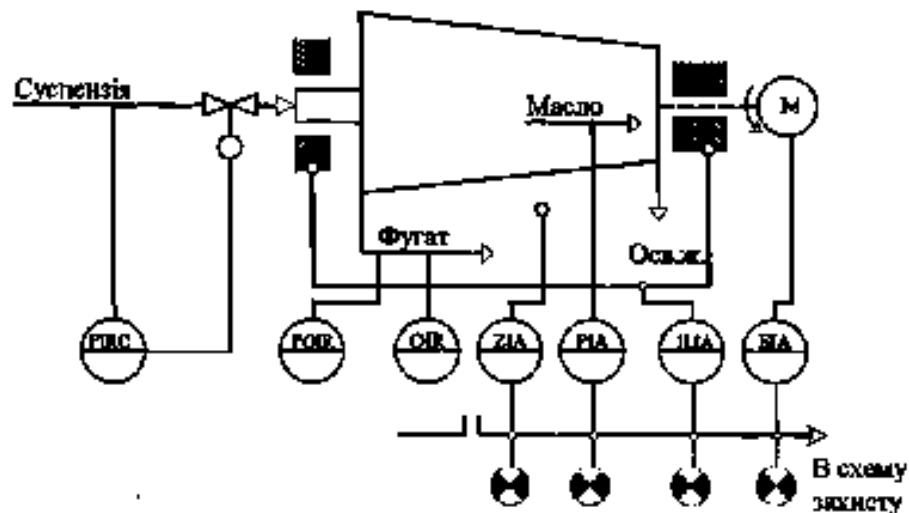


Рисунок 8.26. Схема автоматизації процесу центрифугування рідких систем: В – момент на валу електродвигуна; Z – рівень вібрації

### Фільтрування рідких систем

В якості об'єкта керування при фільтруванні рідких систем приймемо барабанний (дисковий) вакуум-фільтр (рис. 8.27). Фільтрувальні апарати встановлюють, як правило, з тією ж метою, що й центрифуги.

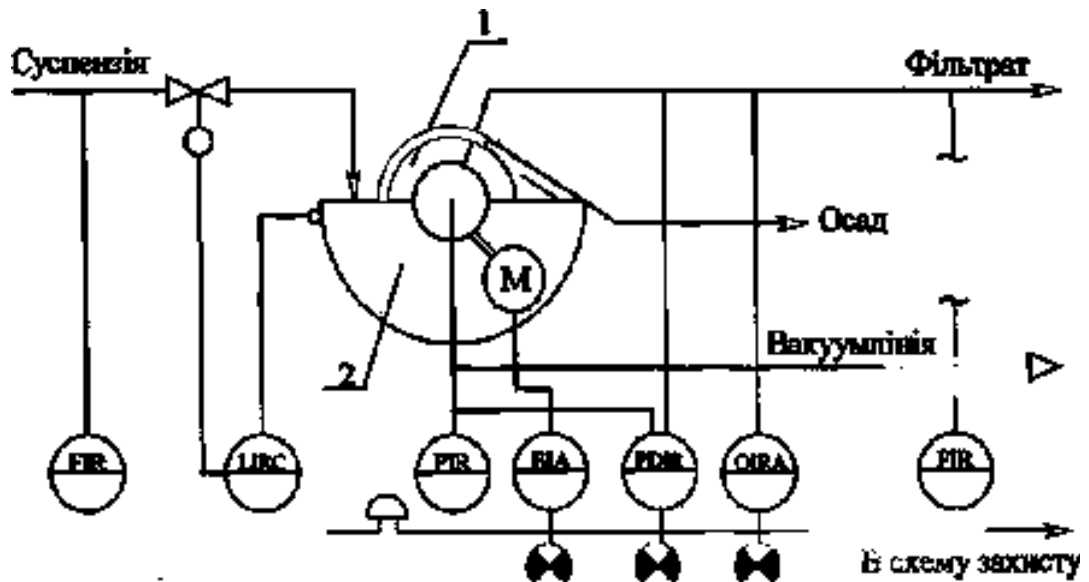


Рисунок 8.27. Схема автоматизації процесу фільтрування рідких систем:

1 – барабан (диск); 2 – ванна; Б – момент на валу електродвигуна.

Керування в обох випадках співпадають

### Фільтрування газових систем

Об'єктом керування в даному випадку буде рукавний фільтр з імпульсним продуванням (рис. 8.28). Рукавні фільтри встановлюють для повного очищення газу від шкідливих речовин, що є цінним продуктом, тому показником ефективності процесу будемо вважати концентрацію твердої речовини в газі на виході з фільтра, а ціллю керування – підтримання його на заданому значенні.

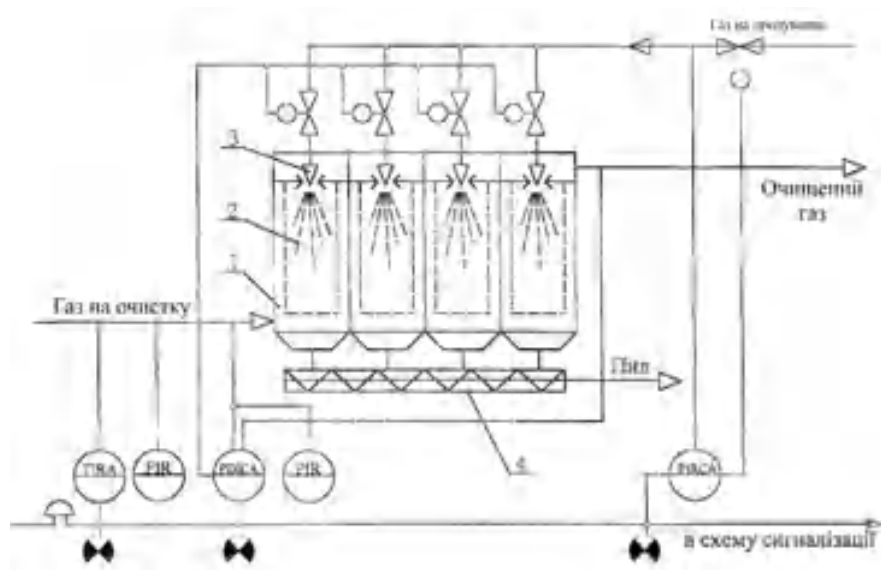


Рисунок 8.28. Схема автоматизації процесу фільтрування газових систем

## Мокре очищення газів

В якості об'єкта керування розглянемо форсункову трубу Вентурі, в якій рідина під невеликим тиском подається через розпилювач, встановлений паралельно газовому потоку, що рухається з великою швидкістю (рис.8.29). Ціль керування даним процесом фільтрування газових систем.

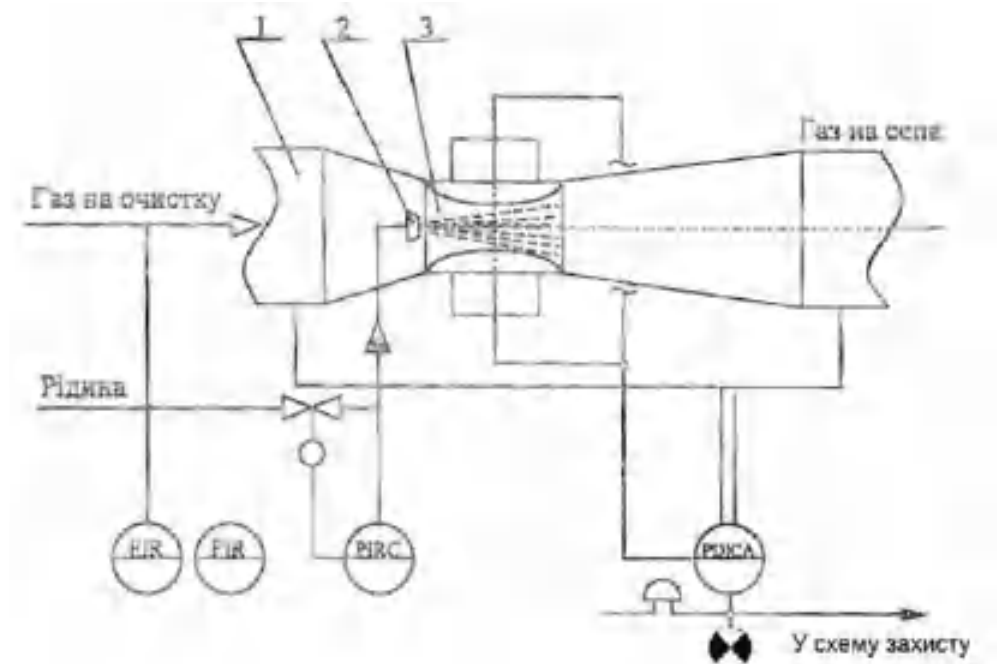


Рисунок 8.29. Схема автоматизації процесу мокрого очищення газів:

1 – корпус труби Вентурі; 2 – форсунки; 3 - регулююча головка

## Керування тепловими процесами

Нагрівання рідин. Основні принципи керування процесом нагрівання розглянемо на прикладі поверхневого кожухотрубчатого теплообмінника (рис.8.30), в який подають нагріваючий продукт і теплоносії. Показником ефективності даного процесу є температура  $t$  продукту на виході з теплообмінника, а ціллю керування – підтримання цієї температури на певному рівні.



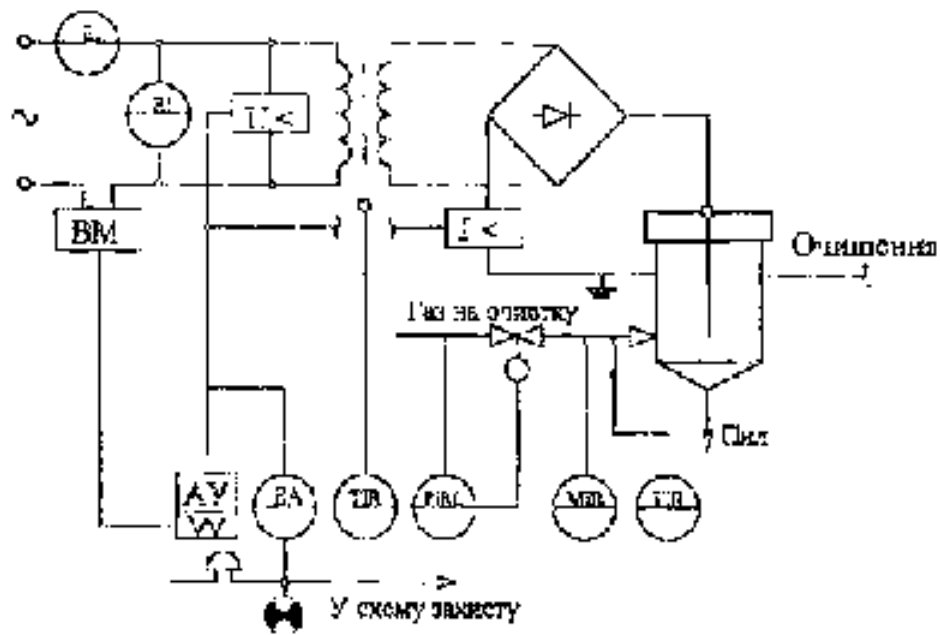


Рисунок 8.30. Схема автоматизації процесу електричного очищення газу:

1 – трансформатор; 2 – високовольтний випрямляч; 3 – електрофільтр; 4 – коронуючий електрод; 5 – реле максимального струму; 6 – реле мінімальної напруги; 7 – автоматичний пристрій керування; 8 – виконавчий механізм

Витрату теплоносія  $F_n$  можна легко стабілізувати або використати для внесення ефективних регулюючих дій. Витрата продукту визначається іншими технологічними процесами, а не процесом нагрівання, тому він не може бути ні стабілізованим, ні використаним для внесення регулюючих дій; при зміні витрати  $F_n$  в теплообмінник будуть надходити сильні коливання.

Початкові температури продукту  $t'_n$  і теплоносія  $t'_m$ , а також їх питомі теплоємності  $C_n$  і  $C_m$  визначаються технологічними режимами інших процесів, тому стабілізувати їх при проведенні процесу нагрівання неможливо. До збуджень, які неможливо ліквідувати, відносяться також зміни температури навколишнього середовища і властивостей теплопередаючої стінки внаслідок відкладання солей, а також корозії.

В якості величин, що контролюються, слід приймати витрати теплоносіїв, їх кінцеві і початкові температури, тиски. Знання поточних значень цих параметрів необхідне для нормального пуску, налагодження й експлуатації

Існують такі види регулювання процесу нагрівання: каскадно-зв'язане регулювання; регулювання зміною витрати конденсату гріючої пари; регулювання зміною температури гарячого теплоносія; регулювання зміною витрати продукту; регулювання процесу в теплообмінниках змішування; регулювання роботи трубчастих печей; регулювання роботи парокотельних установок.

Щоб уникнути вибухонебезпечної ситуації в поверхневих теплообмінниках, необхідно передбачити методи і засоби, що попереджують взаємне проникнення теплоносіїв (якщо воно може призвести до утворення вибухонебезпечного середовища). Особливо це стосується теплообмінників, в яких тиск горючого теплоносія вищий, ніж тиск негорючого.

При зниженні рівня горючої рідини, що нагрівається, в теплообміннику і оголенні поверхні теплообміну (що може призвести до перегрівання, висушування і розкладу горючого продукту, розвитку незворотних процесів) повинні спрацювати системи сигналізації і блокування (останні повинні припинити подачу гріючого агента).

### Штучне охолодження

Типове вирішення автоматизації розглянемо на прикладі встановлення охолодження, що складається із поршневого компресора 1, конденсатора 2, випарника 3 (з киплячим холодоагентом у міжтрубному просторі) та дроселюючого елемента 4 (рис. 8.32). В якості показника ефективності приймемо кінцеву температуру охолоджуваного продукту  $t_k$  (часто розсолу). Підтримання її на постійному значенні шляхом коректування технологічних режимів апаратів, що входять до об'єкта керування, буде ціллю керування процесом штучного охолодження:

- Регулювання компресорів установок штучного охолодження .
- Регулювання перегріву парів після випарника.

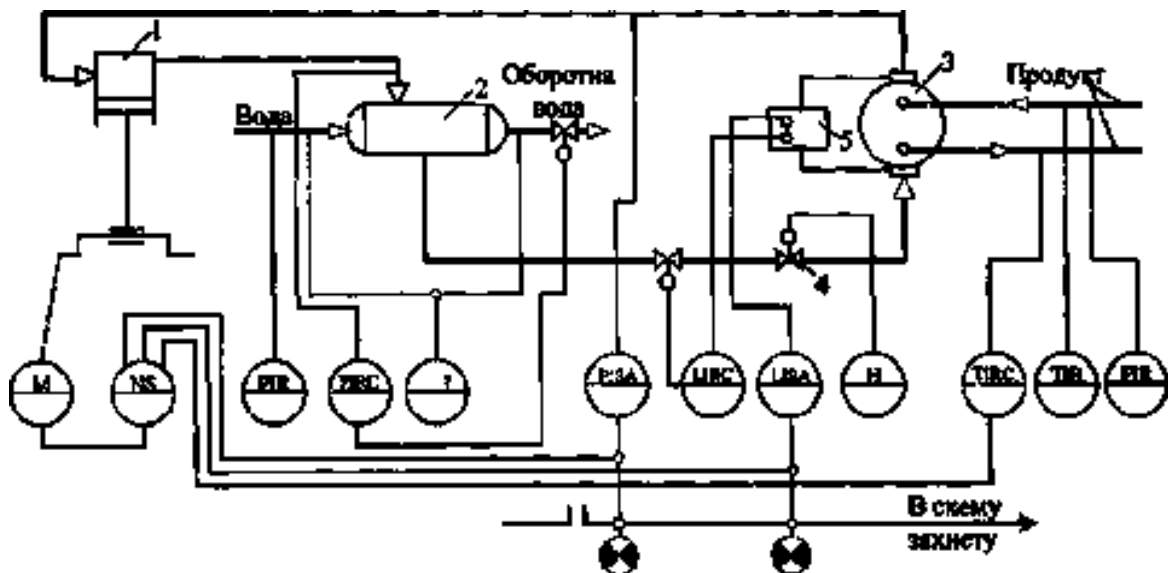


Рисунок 8.32. Схема автоматизації процесу штучного охолодження:

- 1 — компресор; 2 — конденсатор; 3 — випарювач; 4 — дроселюючий елемент; 5 — виносна камера

## Випарювання

Основні принципи керування процесом випарювання розглянемо на прикладі однокорпусної випарної установки природної циркуляції (рис. 8.33).

Показником ефективності процесу є концентрація випареного розчину  $Q_{ep}$ , а ціллю керування – підтримання певного значення цієї концентрації.

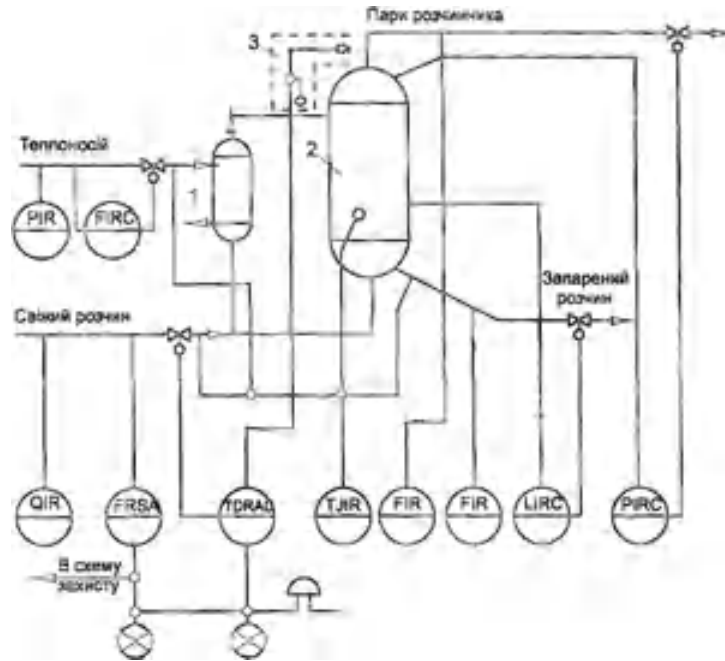


Рисунок 8.33. Схема автоматизації процесу випарювання:

1 — кип'ятильник; 2 — випарний апарат; 3 — пристрій для вимірювання температурної депресії

## Кристалізація

Основні принципи керування процесом кристалізації розглянемо на прикладі кристалізатора з виносним холодильником (рис. 8.34). Показником ефективності процесу є розмір отриманих кристалів. Для забезпечення текучості кристалічних речовин необхідно отримати кристали однакового розміру, що і є ціллю керування. Розмір кристалів визначається, з одного боку, умовами, за яких проводиться процес (температурою в апараті, інтенсивністю охолодження і перемішування розчину), а з другого – властивостями розчину, що надходить на кристалізацію (стелінню насичення твердою фазою, тобто

початковою концентрацією, а також температурою та вмістом домішок):

- Регулювання концентрації кристалів в суспензії.
- Регулювання кристалізатора випарного типу.

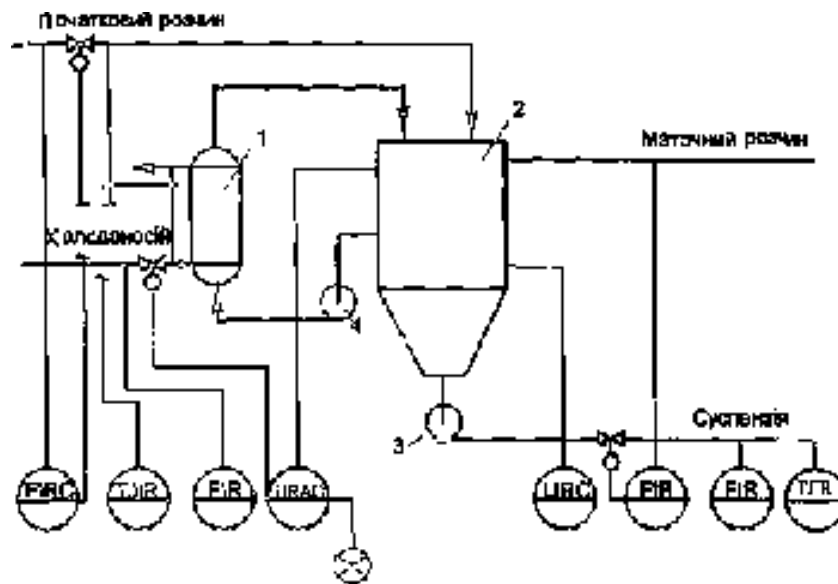


Рисунок 8.34. Схема автоматизації процесу кристалізації:

1 – холодильник; 2 – кристалізатор; 3 – насос для суспензії; 4 – циркуляційний насос

## 8.4. Керування масообмінними процесами

### Ректифікація

Процес ректифікації відноситься до основних процесів хімічної технології. Показником ефективності цього процесу є склад цільового продукту. Залежно від технологічних особливостей в якості цільового продукту можуть виступати як дистилат, так і кубовий залишок. Підтримання постійного складу цільового продукту I буде ціллю керування. Склад другого продукту при цьому може коливатись в певних межах унаслідок зміни складу вихідної суміші. В подальшому цільовим продуктом будемо вважати дистилат.

В якості об'єкта керування при автоматизації процесу ректифікації приймемо установку для розділення бінарної суміші, що складається з тарілчастої ректифікаційної колони 2, виносного кип'ятильника 4, дефлегматора 3 і теплообмінника для підігрівання вихідної суміші 1 (рис. 8.35):

- Регулювання параметрів на контрольних тарілках.
- Перехресне регулювання температури і рівня в кубі ректифікаційної колони.
- Регулювання фізико-хімічних змінних цільових продуктів.
- Регулювання температури.
- Регулювання тиску в верхній частині колони.
- Регулювання тиску в кубі колони.
- Регулювання витрати флегми.
- Регулювання температури парів, які повертаються з кип'ятильника в колону.
- Регулювання процесу відбору проміжної фракції.
- Каскадно - зв'язане регулювання.
- Регулювання процесу в колоні з дефлегматором і конденсатором.
- Регулювання при використанні екстремальних регуляторів і обчислювальних машин.
- Регулювання періодичної ректифікації.
- Регулювання процесу екстрактивної ректифікації.
- Автоматизація процесу ректифікації горючих продуктів.

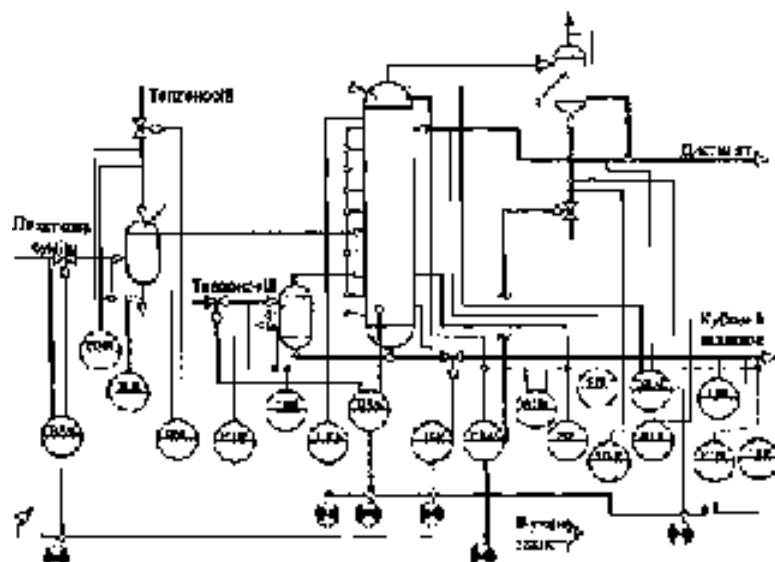


Рисунок 8.35. Схема автоматизації процесу ректифікації:

- 1 – теплообмінник вихідної суміші; 2 – ректифікаційна колона;  
3 – дефлегматор; 4 – кип'ятильник

## Абсорбція

В якості об'єкта керування процесом абсорбції приймемо абсорбційну установку, що складається з абсорбційної колони і двох холодильників – на лініях абсорбенту і газової суміші (рис. 8.36). Показником ефективності процесу є концентрація  $y_k$  компонента, що видаляється в збідненій суміші, а ціллю керування – досягнення певного значення цієї концентрації.

- Регулювання концентрації компонента, що видаляється в насиченому абсорбенті.

- Регулювання складу при змішаній витраті газової суміші.

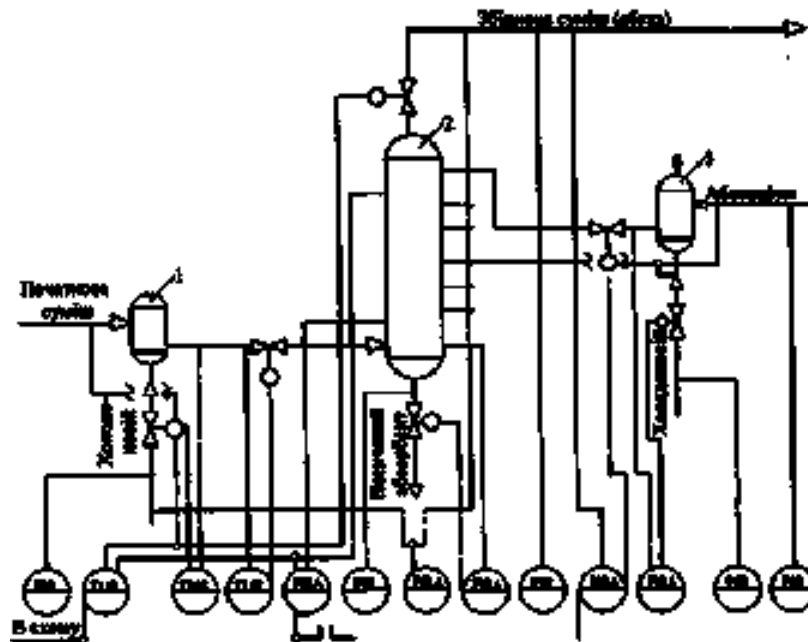


Рисунок 8.36. Схема автоматизації процесу абсорбції:

1,3 – кип'ятильник; 2 – абсорбційна колонка

- Регулювання процесу ізотермічної абсорбції.
- Регулювання перепаду тиску в колоні.
- Регулювання процесу при рециклі абсорбенту.
- Регулювання складу абсорбенту, який надходить в абсорбційну колонку.
- Регулювання з використанням багатоконтурних систем.

## Адсорбція

В якості об'єкта керування візьмемо протиральний апарат неперервної дії 1 з киплячим шаром дрібнозернистого адсорбенту на тарілках 2 (рис. 8.37). На верхню тарілку такого апарата подається адсорбент за допомогою дозатора 3. Під дією сили тяжіння адсорбент проливається з тарілки на тарілку і виводиться з нижньої частини адсорбенту; газ рухається знизу вгору і виводиться з верхньої частини апарата. Показник ефективності, ціль керування й закономірності такого процесу адсорбції аналогічні процесу абсорбції, тому рішення з автоматизації цих процесів однакові. Основним контуром регулювання є регулятор концентрації компонента, що адсорбується в газі, який відходить, а регулююча дія здійснюється зміною витрати адсорбента (коректуванням роботи дозатора 3):

- Регулювання гідравлічного опору колони.
- Регулювання апаратів з провальними тарілками змінного перерізу.
- Регулювання адсорбентів із киплячим шаром.
- Регулювання адсорбентів з нерухомим шаром адсорбенту.
- Автоматизація процесу адсорбції горючих процесів.

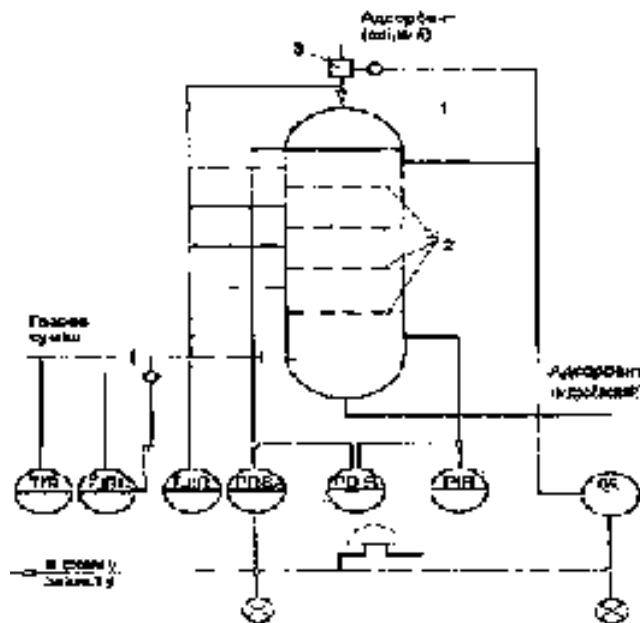


Рисунок 8.37. Схема автоматизації процесу адсорбції:

1 — адсорбційна колонка; 2 — тарілки; 3 — дозатор



## Екстракція

В якості об'єкта керування процесом екстракції приймемо протиральний насадковий екстрактор (рис. 8.38), у нижню частину якого подають вихідний розчин, а в верхню – розчинник. У зв'язку з тим, що процеси адсорбції й екстракції в багатьох випадках характеризуються аналогічними залежностями, більша частина рішень, розроблених для адсорбції, може також використовуватись і для екстракції. Показником ефективності процесу екстракції є концентрація компонента, що видаляється в рафінаді, а ціллю керування – досягнення певного значення цієї концентрації. В об'єкт керування надходять коливальні дії (зі зміною концентрації компонента, що видаляється у вихідному розчині, температур вихідного розчину і розчинника, складу розчинника, витрати вихідного розчину), тому в якості головної регулюючої величини приймають концентрацію видаляемого компонента, що видаляється в рафінаді або будь-який параметр, що не просто характеризує цю концентрацію, в'язкість, густину, коефіцієнт дифракції, показник заломлення. Єдиним каналом внесення регулюючих дій є регулювання співвідношення витрат вихідного розчину й розчинника шляхом зміни витрати розчинника. Витрату вихідного розчину слід стабілізувати для ліквідації коливань.

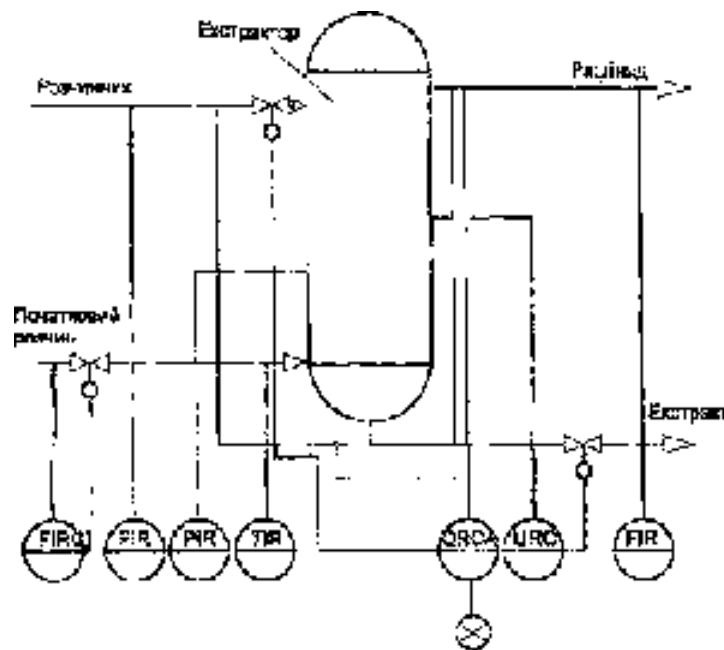


Рисунок 8.38. Схема автоматизації процесу екстракції

## **8.5. Практика комп'ютерної автоматизації**

### **Системна інтеграція**

Автоматизацію виробництва часто зводять до заміни людини автоматичним пристроєм. При цьому нові можливості автоматизації обмежуються низьким потенціалом пристосованої до людини технології – малими робочими швидкостями, неможливістю одночасного виконання кількох операцій, неточною інформацією про процес, залежністю якості продукції від кваліфікації робітників.

Грамотна стратегія автоматизації зводиться не лише до вивільнення людини з існуючого виробництва, але й до створення високоефективних технологій з автоматично працюючим устаткуванням, які неможливо застосовувати без автоматизації. В результаті узагальнення фахівці досвідчені з автоматизації виробництва виробили такі принципи:

- головна мета автоматизації – не заміна ручної праці, а підвищення ефективності виробництва. Економія зарплати при автоматизації складає 10 – 15% економічного ефекту, тоді як 60–70% ефекту формується за рахунок підвищення продуктивності виробництва і 15–20% – за рахунок поліпшення якості продукції. Застосування роботів у процесах зварювання, фарбування чи гальванічної обробки підвищує швидкість і якість операцій. Заміна робітника роботом для завантаження верстата без зміни технології збільшує час робочого циклу при невеликій економії зарплати;

- автоматизація повинна охоплювати виробничий ланцюг повністю, включаючи обслуговування й забезпечення кадрами. На відміну від ручного виробництва, відмова однієї автоматизованої ланки призводить до зупинки усього технологічного ланцюга;

- засоби автоматизації слід застосовувати не там, де їх можна пристосувати до виробництва, а там, де без них не можна обійтися і першочерговими є такі об'єкти автоматизації, де людина нездатна конкурувати з автоматичними пристроями;

- упровадження не перевічених технічних рішень і ненадійних пристроїв

автоматики дискредитує ідеї автоматизації.

Особливого значення набуває системність підходу до комп'ютерної автоматизації виробництва. При несистемному підході спочатку розробляють елементи, з яких компонують систему в цілому (рис. 8.39а). В процесі компонування деякі елементи не узгоджуються один з одним або не відповідають вимогам до системи, тому їх доводиться замінювати.

Системний підхід відрізняється тим, що спочатку формують концепцію системи в цілому (рис. 8.39б). Потім розбивають систему на елементи і розробляють кожен елемент згідно з концепцією системи. Після розроблення елементів їх об'єднують у реальну систему.

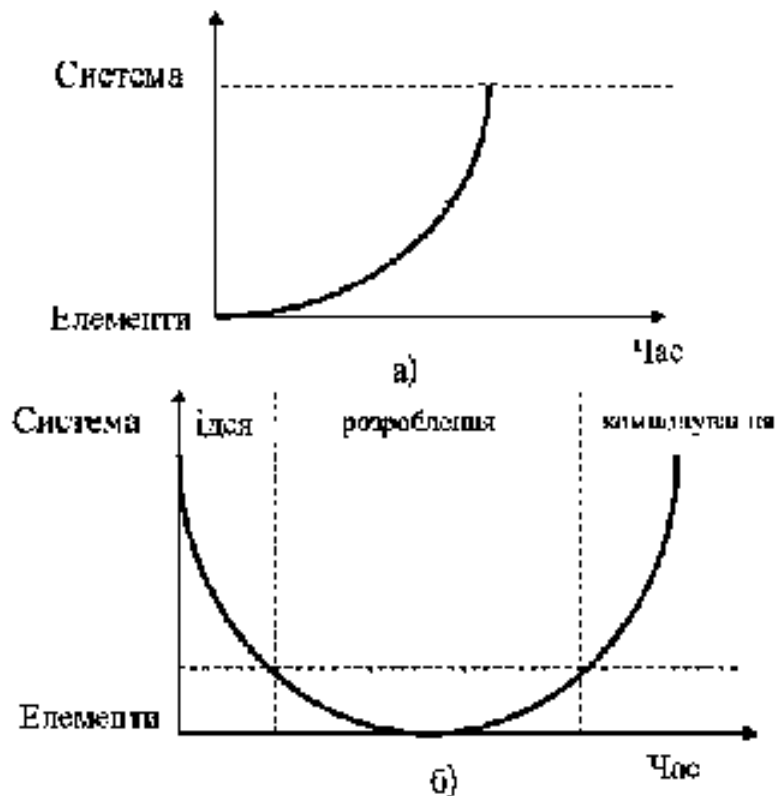


Рисунок 8.39 Несистемний (а) і системний (б) підходи до створення комп'ютерно-інтегрованого виробництва

Порівняємо обидва підходи на прикладі розвитку міста. При несистемному підході спочатку будують будівлі в зручних місцях, потім визначають положення вулиць. При системному підході спочатку розробляють план міста з майбутніми вулицями, потім будують будівлі уздовж вулиць.

У практиці автоматизації вітчизняних підприємств вибирають одну зі стратегій, перерахованих у порядку зниження витрат:

- постачання і монтаж зарубіжною фірмою-постачальником системи автоматизації "під ключ" (Siemens);
- постачання зарубіжною фірмою типової системи автоматизації з виконанням її монтажу і наладки місцевою спеціалізованою організацією;
- залучення зарубіжної фірми-проектанта для розроблення й упровадження системи автоматизації на підприємстві;
- розроблення й упровадження системи автоматизації на базі зарубіжних пристроїв (Schneider-Electric) силами вітчизняної фірми –системного інтегратора.

Перший або другий варіанти вибирають, якщо операції, наприклад, на лінії розливу чи пакування, не можуть виконуватись без автоматизації. Після введення автоматизованої лінії в експлуатацію виникає необхідність підтримки роботоздатності устаткування, зміни алгоритмів керування, швидкого усунення відмов. Виклик представників фірми-розробника призводить до значних втрат часу і грошей. У третьому варіанті фахівці підприємства, котрі повинні експлуатувати системи автоматизації, усуваються від її попереднього вивчення.

Досвід показує, що в більшості випадків найвигіднішим є четвертий варіант, який дозволяє врахувати особливості об'єкта автоматизації і скоротити експлуатаційні витрати. Процес вироблення концепції автоматизації підприємства, підбору технічних засобів і розроблення проекту системи автоматизації називають системною інтеграцією. Спочатку системи комп'ютерної автоматизації будували на базі вітчизняних датчиків, виконавчих пристроїв і програмованих контролерів типу "Ремиконт", "Ломиконт", МКП, "Униконт", ФК5501. Це дозволило здолати упередження замовників перед мікропроцесорною технікою і знизити витрати на автоматизацію. Проте низька надійність вітчизняних пристроїв автоматики призводила до зростання втрат від простоїв устаткування. Особливо часто відмовляли периферійні пристрої: датчики, електропневматичні клапани, гідро- і пневмоциліндри, регулятори

швидкості електродвигунів. Обмежені функціональні можливості вітчизняної техніки автоматизації не дозволяли доводити систему до періоду ефективної експлуатації.

Тому в системах автоматизації стали застосовувати зарубіжні пристрої автоматизації й програмне забезпечення, які могли поєднуватися один з одним і відповідали міжнародним стандартам промислових шин. Такі системи місяцями не вимагали ремонту й легко модернізувалися на підприємстві.

### **Облік споживання енергії**

Нині витрати на електроенергію, газ, тепло і воду складають 20–30 %, а для енергоємних виробництв – 40–50 % собівартості продукції. Створення системи комп'ютерного контролю й обліку витрати енергоресурсів, що дозволяє знизити витрати підприємства, стає дуже актуальним.

Розрахунок підприємства з постачальником енергоресурсів проводиться за однією з трьох схем (рис. 8.40):

- однотарифною, при якій уся спожита за розрахунковий період  $T$  енергія оплачується за фіксованою ціною;
- двотарифною, при якій встановлюється ліміт споживаної потужності нижче за ліміт, оплата енергії здійснюється за звичайною ціною вище за ліміт – за підвищеною;
- багатотарифною, при якій споживана потужність ділиться на кілька рівнів з диференційованою для кожного рівня оплатою витрати енергії (рис. 8.40в).

У однотарифній схемі (рис. 8.40а) лічильник енергії враховує загальну витрату енергії  $P_{\text{сер.}}$ , хоча її вартість залежить від часу доби. Захищаючись від штрафів за неповну сплату, підприємство вимушене переплачувати постачальникові енергії. У міру здорожчання енергії обсяг переплати зростає.

У двотарифній схемі (рис. 8.40б) постачальник і споживач енергії погоджують деякий ліміт споживаної потужності  $P_{\text{лім.}}$ . При його перевищенні вартість енергії для споживача різко зростає. Для такої форми розрахунку,

окрім лічильника енергії, потрібен реєстратор часу перевищення ліміту.

У багатотарифній схемі (рис. 8.40в) встановлюють кілька лімітів споживання  $P_1, \dots, P_n$  з різними тарифами за споживану потужність. Це дозволяє диференціювати оплату енергії залежно від рівня її споживання, погоджувати оплату з урахуванням протилежних інтересів постачальника і споживача енергії, уникати зайвих витрат споживача на оплату енергії. Але її застосування неможливе без автоматизованої системи контролю й обліку витрати енергії. У такій системі можуть бути додатково враховані спеціальні тарифи, наприклад, за перевищення реактивної потужності.

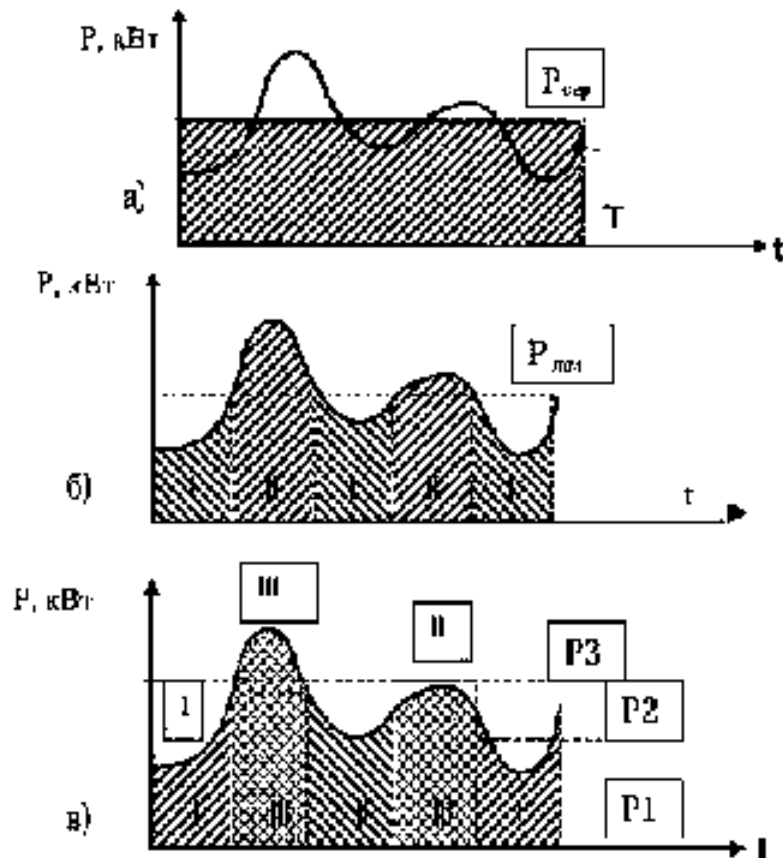


Рисунок 8.40. Розрахунок за енергію за однотарифною (а), двотарифною (б) і багатотарифною (в) схемах

Автоматизована система контролю й обліку енергії включає три рівні (рис. 8.41):

- рівень датчиків;
- рівень збору і обліку цих показів датчиків по кожному споживачеві;
- рівень опрацювання і відображення узагальнених даних.

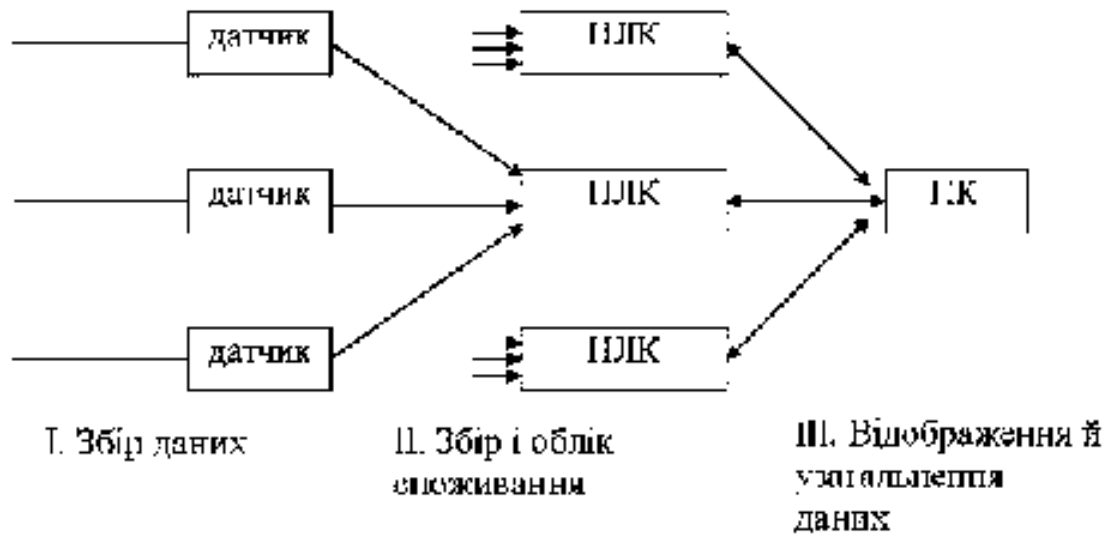


Рисунок 8.41. Рівні системи автоматизованого контролю й обліку енергоспоживання

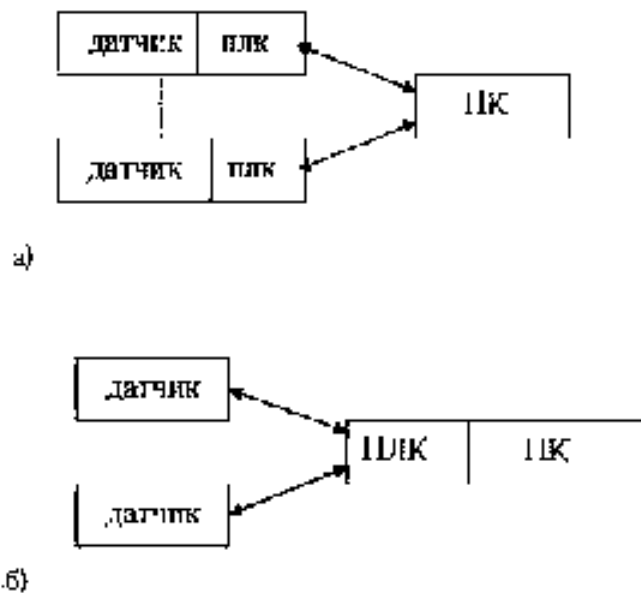


Рисунок 8.42. Дворівнева система обліку споживання енергії з інтелектуальними лічильниками (а) і концентратором даних на вході комп'ютера (б)

Для контролю електроенергії на нижньому рівні застосовують вимірювальні трансформатори струму і напруги, електричні лічильники. Цю інформацію, як і дані про витрату інших видів енергії, передають на другий рівень, де програмовані логічні контролери ПЛК проводять накопичення даних по кожному споживачеві. З виходів контролерів інформацію передають через дроти, телефонну лінію чи радіоканал на комп'ютер ПК головного енергетика. Запит енергетиком споживача і передавання інформації про витрату кожного виду енергії ведуть по стандартному протоколу, наприклад RS-232, що забезпечує передавання даних на відстань до 900 м зі швидкістю 1,2 кбіт/с. Контролер ПЛК часто вбудовують у датчик, отримуючи дворівневу схему з "інтелектуальними" лічильниками, які сполучають з комп'ютером енергетика (рис. 8.42а). В іншому варіанті контролер встановлюють на вході комп'ютера енергетика і використовують його як концентратор даних від датчиків споживачів (рис. 8.42б).

Автоматизовані системи контролю й обліку енергії ділять на комерційні та технічні. Комерційні системи призначені для узгодження розрахунків між споживачем і постачальником. У них застосовують сертифіковані пристрої і методи обліку споживання енергії підприємством, узгоджені між постачальником і споживачем енергії. У технічних системах проводять поточний аналіз споживання енергії на об'єктах підприємства і застосовують звичайні пристрої обліку.

У мінімальному варіанті система забезпечує комерційний і технічний облік енергії по підприємству і в його підрозділах, диференційований контроль споживання енергоресурсів за видами, об'єктами і часом, виявлення і сигналізацію про відхилення від встановленого енергоспоживання. Для цього вона повинна мати базу даних про споживачів, тарифи і засоби обліку, збирати і накопичувати поточні дані про споживання енергії, опрацювати дані за різними цінами, порівнювати фактичне споживання з нормативним, виявляти відхилення від норми, прогнозувати споживання енергоносіїв, проводити діагностику споживачів.



У повному варіанті, окрім вирішення перерахованих завдань, система забезпечує:

- прогнозування споживання енергії по окремих споживачах;
- автоматичний розподіл енергоспоживання з урахуванням пріоритетів споживачів;
- розрахунки за енергоспоживання між підрозділами одного рівня;
- розрахунки за енергоспоживання між споживачами різних рівнів.

В міру розвитку системи стає можливим автоматично перемикати споживачів за програмою, що забезпечує зниження витрат підприємства на споживання енергії.

Завдяки швидкій окупності комп'ютерний контроль і облік енергоспоживання став першим застосуванням комп'ютерної автоматизації виробництва. Для більшості впроваджених систем економічний ефект досягає 15-20% від витрат на річне енергоспоживання підприємства при терміні окупності системи 6–9 місяців.

За рахунок чого він утворюється? Енергоспоживання підприємства містить базову і організаційно-технічну складові. Перша складова визначається енергоспоживанням встановленого технологічного устаткування, тому не може бути знижена за допомогою автоматизованого обліку й контролю. Друга складається з шести частин:

- договірна, пов'язана з розрахунком не за фактичним споживанням енергії, а за узгодженим з постачальником;
- тарифна, пов'язана з розрахунком за фактичним споживанням з не вигідним для споживача тарифом через відсутність у нього системи диференційованого обліку витрати;
- режимно-тарифна, пов'язана з відходом від вигідного тарифу через неоптимальне під'єднання не пріоритетних споживачів, наприклад увімкнення насосів вдень, а не вночі;
- технологічна, пов'язана зі споживанням, не узгодженим між споживачами;
- особова, пов'язана з використанням устаткування в особистих цілях;

- безгосподарність, пов'язана з незацікавленістю персоналу в економії енергії.

Друга складова досягає 30% загального споживання енергії і може бути значно зменшена за допомогою комп'ютерного обліку й контролю енергоспоживання.

### Гнучке виробництво

Машинобудування виявилось найбільш підготовленим до впровадження комп'ютерної автоматизації виробництва, оскільки в ньому вже застосовувалися устаткування з числовим програмним керуванням (ЧПК) і групова технологія виробництва. З'явилися системи прямого числового програмного керування DNC, при якому керуючі програми передають від центральної ЕОМ до кількох одиниць устаткування, що виконують закінчений технологічний процес. Стала розвиватися концепція САПР/АСТПВ/ГВС (CAD/CAM) – система автоматизованого проектування/автоматизована система технологічної підготовки виробництва/гнучка виробнича система. Її відмінність від традиційної системи САПР+АСТПВ+ГВС полягає в тому, що усі три підсистеми мають спільну базу даних (БД) (рис. 8.43).

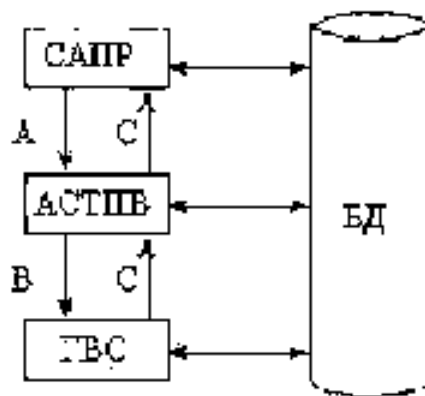


Рисунок 8.43. Виробництво за схемою САПР/АСТПВ/ГВС:

А – проектно-конструкторська документація; В – програми для пристроїв ЧПК; С – технологічні обмеження

Це дозволило супроводжувати процеси проектування, виготовлення і відвантаження виробів одночасним переміщенням блоку інформації про цей виріб. Три підсистеми стали взаємно коригувати стадії проектування і виготовлення виробу через канали обміну інформацією.

Комп'ютеризоване машинобудівне виробництво містить підсистеми (рис. 8.44):

- оперативно - календарного планування (ОКП);
  - технологічної підготовки виробництва (ТПВ);
  - керування інструментальним забезпеченням (УІЗ);
  - керування технологічним процесом (УТП);
  - керування автоматизованою транспортно - складською системою (УАТСС).
- (УАТСС).

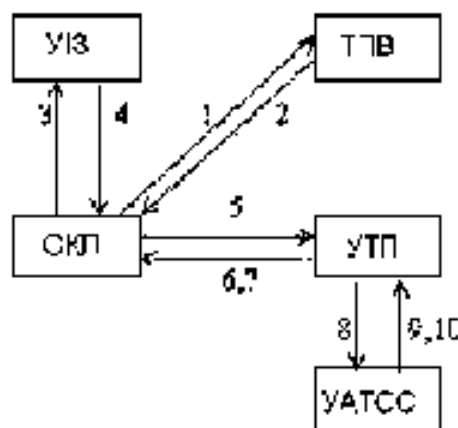


Рисунок 8.44. Послідовність інформаційної взаємодії підсистем гнучкої виробничої системи

Обмін інформацією між комп'ютерами цих підсистем відбувається в такому порядку. При надходженні замовлення на партію певних деталей підсистема оперативно-календарного планування (ОКП) формує завдання 1 на підготовку технологічного процесу (код деталі, номер операції, код устаткування) і завдання 3 на підготовку комплектів інструментів (термін обробки і підготовки, код комплекту, тип і число деталей, номер маршруту, код

устаткування). Потім ОКП приймає інформацію 2 від підсистеми технологічної підготовки виробництва ТПВ про готовність комплексу технологічних документів (карт налагодження і програм, що керують) та інформацію 4 від підсистеми керування інструментальним забезпеченням КІЗ про результат підготовки комплектів інструментів (код комплексу, готовність) про виконання цих завдань. Якщо підготовка виробництва завершена, то ОКП передає підсистемі керування технологічним процесом (КТП) змінно-добове завдання 5, в якому вказується номер партії, число деталей, код верстата і відповідної програми його роботи. Виконання змінно-добового завдання контролюється в ОКП шляхом отримання інформації 6 від КТП. У ході виконання завдання ОКП слідкує за станом устаткування 7, аналізуючи дані про аварію, поломку інструменту, брак, початок і закінчення роботи за керуючою програмою.

Підсистема керування технологічним процесом КТП обмінюється заготовками, напівфабрикатами і готовими виробами з підсистемою керування автоматизованою транспортно-складською системою (КАТСС). Комп'ютер, що керує дільницею, формує завдання на транспортування і складування 8, вказуючи код деталі, адреси призначення й отримання. При цьому аналізують дані про вміст комірок складу 9. Переміщення деталі закінчується звітом про виконання запиту і зміною даних про вміст комірок складу 10. Після випуску замовленої партії КТП подає в ОКП звіт про виконання змінно-добового завдання 6.

Проходження замовленої партії через усі етапи проектування і виготовлення супроводжується синхронною передачею інформації про партію, що містить коди інструментів, керуючих програм, креслень напівфабрикатів і деталей. Наприклад, код інструментів використовують для обліку його наявності й подавання заявок на склад, підготовки й заміни інструментів, переналадження верстатів, адресації комірок автоматизованого складу й інструментального магазину. Код керуючої програми містить інформацію про розмір партії, номер деталі, технологічний маршрут, номер керуючої програми для кожної одиниці устаткування.

## Металургія

Технологія електроплавильного виробництва вважається дуже перспективною в металургії. На відміну від традиційної технології виплавки вона вимагає безперервного керування великою кількістю технологічних параметрів. У рудотермічну піч з електродами засипають багатокomпонентну шихту. Електроди і днище печі обдувають повітрям. Необхідно точно дозувати співвідношення компонентів шихти і підтримувати задані параметри технологічного процесу. Система комп'ютерної автоматизації повинна керувати електроприводами дозаторів для подавання компонентів шихти в рухомий візок, затворами візка для висипання шихти в піч, переміщенням електродів у процесі виплавки, а також вентиляторами обдування електродів і днища печі. На її вхід подається інформація про споживання електроенергії, температуру електродів і днища печі, положення електродів, ваги компонентів шихти. Система розділена на рівні печі й цеху. На рівні печі працюють три підсистеми автоматизації (рис. 8.45):

1. Керування переміщенням і обдуванням електродів.

Фактичне положення електродів контролюють вимірювачами лінійних переміщень, обмежуючи верхнє і нижнє положення. Керування переміщенням електродів проводять, вимірюючи напругу і струм у первинній і вторинній обмотках трансформатора. Температуру повітря навколо електрода вимірюють термоопором, а температуру самого електрода – термопарою. За сигналами цих датчиків контролер керує подаванням повітря для обдування електродів. На панелі оператора відображують положення й температуру електродів.

2. Подавання електроенергії і контроль за її споживанням, керування обдуванням днища, накопичення поточної інформації.

Термопари, встановлені в днищі печі, вимірюють температуру днища і подають сигнали в контролер (ПЛК), що керує вентиляторами обдування днища. Одночасно вимірюють струми і напругу, активну й реактивну складові споживаної електроенергії. Ці сигнали також вводять у контролер для

перемикання захистів трансформатора та накопичення інформації про поточне споживання електроенергії.

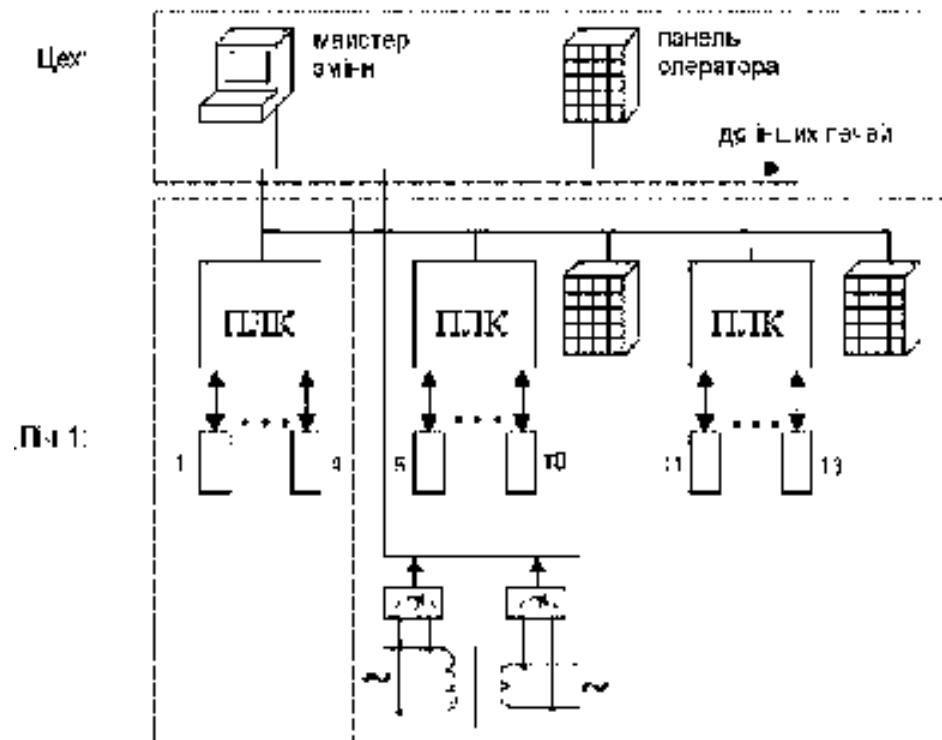


Рисунок 8.45. Структура системи автоматизованого керування рудотермічною піччю

### 3. Керування дозаторами компонентів шихти

У підвіску дозаторів вбудовані датчики ваги, сигнали з яких надходять у контролер, що керує подаванням компонентів. Це дозволило змінювати співвідношення компонентів у шихті згідно із заданим рецептом. Крім того, контролер керує переміщеннями візка і розвантаженням компонентів шихти в піч. Склад шихти і процес завантаження печі виводяться на пульт оператора.

На рівні цеху система проводить автоматичну діагностику технологічного устаткування і пристроїв електропостачання, забезпечує захист від помилкових дій персоналу. Для вироблення системою рекомендацій із запобігання розвитку аварійних ситуацій оператор повинен підтверджувати прийом будь-якого з 300 повідомлень про аварію. У комп'ютері майстра зміни зберігається інформація про час появи аварії, часу її сприйняття черговим персоналом і часу усунення

аварії. Програмне забезпечення передбачає роботу системи в автоматичному, ручному, налагоджувальному і дистанційному режимах керування.

### **Харчова промисловість**

Пивоварні, хлібобулочні, молочні, м'ясопереробні, цукрові й інші харчові виробництва зі швидким поверненням інвестицій краще за інших адаптуються до ринкової економіки. Для цього вони вводять високопродуктивні автоматизовані технологічні лінії, що дозволяють підвищити якість продукції та знизити її собівартість.

Як приклад розглянемо систему автоматизації спиртового комбінату. Система має 128 аналогових і 238 дискретних входів, 109 аналогових і 73 дискретних виходів. Вона забезпечує:

- контроль технологічних параметрів з їх архівацією у вигляді графіків;
- дистанційне керування технологічним процесом з автоматичним регулюванням параметрів;
- контроль роботи електроприводів технологічного устаткування;
- сигналізацію диспетчерові про відхилення фактичних параметрів від заданих;
- реєстрацію повідомлень про неполадки;
- контроль і запис дій операторів.

Кожен із трьох етапів виробництва має три рівні автоматизації, пов'язані між собою мережею FIPWAY.

На рівні устаткування контролери (ПЛК) за сигналами датчиків забезпечують автоматичне керування старанними пристроями технологічного устаткування. На рівні операторів відображають роботу устаткування в цілому і проводять облік технологічних параметрів. На рівні АСУ виробництвом здійснюють контроль виробництва в цілому. Мережа Ethernet цього рівня сполучена з шиною FIPWAY нижніх рівнів через маршрутизатор M.

На етапі варіння сировини здійснюються: контроль і регулювання

температури й витрати води для замішування сировини; контроль і регулювання густини замісу; контроль і керування температурним режимом; керування потоком замісу через технологічні місткості; керування відбором сусла для наступного відділення; контроль роботи електроприводів і насосів.

На етапі бродіння здійснюються: контроль і регулювання температури в дріжджових і бродильних апаратах; контроль рівня і часу заповнення, бродіння і спорожнення бродильних апаратів; контроль і керування подачею браги; контроль і керування електроприводами й насосами.

На етапі ректифікації здійснюються: контроль і регулювання витрати браги і води, відведення відходів; контроль і керування насосами.

Розроблення й упровадження системи на комбінаті зайняли менше шести місяців.

### **Джерела ефективності автоматизації**

Особливостями комп'ютерної автоматизації є великі початкові витрати і різносторонній вплив на ефективність виробництва. Після її впровадження у підприємства з'являється здатність швидко реагувати на зміни ринкової ситуації. Економляться витрати на утримання виробничих приміщень і робочої сили. Виникає можливість оперативного планування й оптимізації виробництва. Завдяки повторному використанню перепрограмованих пристроїв скорочуються витрати на модернізацію виробництва.

За результатами опитування фірми виділяють такі мотиви впровадження систем гнучкої автоматизації: зниження витрат виробництва (61%); підвищення гнучкості виробництва (39%); зниження браку (29%); компенсація нестачі кваліфікованих робітників (25%); зменшення травматизму (21%); поліпшення умов праці на робочому місці (19%); зменшення стомлюваності робітників на монотонних операціях (13%); зменшення залежності нововведень від кваліфікації персоналу (13%); компенсація нестачі робочої сили (10%); поліпшення довкілля (8%).

Однак комп'ютерна автоматизація іноді не забезпечує очікуваного ефекту з



ряду причин:

- орієнтація розробників на традиційні форми виробництва, пристосовані для людини;
- формальне обґрунтування доцільності автоматизації, що не враховує багатоваріантності побудови автоматизованої системи;
- некомплексність автоматизації, що призводить до обмеження її можливостей неавтоматизованими ділянками виробництва (ручна підготовка програм, комплектів інструменту і технологічного оснащення; неритмічна подача матеріалів з суміжних ділянок);
- несумісність нових можливостей автоматизованої системи з існуючою організаційно - інформаційною структурою виробництва;
- відсутність методів оцінювання непрямой ефективності комп'ютерної автоматизації.

Розділимо джерела ефективності автоматизації на прямі й непрямі. До прямих відносяться підвищення продуктивності, зниження витрат на робочу силу, економія матеріалів і енергії, повніше використання устаткування. Їх можна оцінити звичайними методами.

### **Підвищення продуктивності устаткування шляхом збільшення його завантаження**

Використання дорогого устаткування в неавтоматизованому виробництві не перевищує 8 % можливого часу його роботи. Решта часу втрачається через відсутність обслуговуючого персоналу в другу і третю зміни (40%), ручної установки і зняття напівфабрикатів (4 %), ручних переналагоджень і вимірювань (7%), ручної зміни інструменту (7%), появи й усунення несправностей (6%), відсутність обслуговуючого персоналу в період відпусток і свят (28 %). Крім того, можливості ручного обслуговування устаткування обмежені такими властивостями людини, як низька швидкість сприйняття й опрацювання кількісної інформації, необхідність накопичення досвіду, потреба в перервах на відпочинок, погане запам'ятовування кількісної інформації.

Ефект від автоматизації досягається за рахунок підвищення коефіцієнта змінності з 1,6 (при двозмінній роботі і ручному керуванні) до 3,0, що додає 1260 годин за рік; експлуатації автоматизованого устаткування у вихідні й святкові дні – додатково 2735 годин за рік; вимкнення внутрішньозмінних і міжзмінних простоїв у зв'язку з відпочинком персоналу (400 годин за рік) і очікуванням оператора при багатOVERSTATному обслуговуванні (близько 300 годин за рік).

У результаті коефіцієнт завантаження підвищується з 0,4–0,6 до 0,85–0,90. Завдяки цьому для випуску колишнього об'єму продукції вимагається менша кількість одиниць устаткування.

### **Підвищення продуктивності за рахунок скорочення часу обробки виробу**

Це досягається шляхом збільшення числа технологічних операцій, що виконуються в одиницю часу. Автоматизоване устаткування може працювати зі швидкостями, недоступними людині, внаслідок чого підвищується продуктивність.

### **Економія зарплати робітників, що вивільняються**

З 70-х років витрати на годину роботи робітника в США перевищили вартість години роботи робота. У кінці 80-х років вартість години роботи робота склала 6 доларів при вартості години роботи робітника США – 15 доларів. У 1991 р. одна година роботи робота в США приносила прибуток 13 доларів при вивільненні 2–7 чоловік.

### **Скорочення збитків від незавершеного виробництва**

До незавершеного виробництва відносять запаси матеріалів, напівфабрикатів і деталей у проміжних складах, необхідні для продовження роботи при простой попередньої ділянки. Зберігання в проміжних складах призводить до збитків від оплати праці, вкладеної в ще непродану продукцію.

Збільшуються втрати від браку, допущеного на попередній ділянці. Збитки залежать від обсягів незавершеного виробництва і термінів його зберігання в проміжних складах. У міру збільшення складності продукції, що випускається, зростають число етапів її виробництва і збитки від зберігання незавершеного виробництва між ділянками. Погіршується адаптація виробництва до ринку. Автоматизація дозволяє організувати ритмічну роботу ділянок виробництва в режимі "робити те, що потрібно, коли потрібно і скільки треба". За досвідом обґрунтування доцільності автоматизації скорочення незавершеного виробництва є основним джерелом ефективності автоматизації.

### **Скорочення виробничих площ**

Підвищення завантаження устаткування після автоматизації дозволяє виконувати замовлення, що надходять, меншим числом одиниць устаткування. Це призводить до скорочення площі під устаткування. Можливість швидкого перепрограмування виробництва на випуск нових виробів зменшує число спеціалізованих технологічних ліній. Ефект від скорочення виробничих площ оцінюється за економією капітальних витрат на будівництво приміщень і поточних витрат на їх утримання.

### **Зниження втрат від браку**

До цього призводять незалежні від індивідуальних особливостей робітника стабілізація операцій обробки й дотримання технологічної дисципліни.

### **Економія матеріалів і енергії**

Забезпечується за рахунок раціонального виконання операцій в автоматичному режимі: мінімізації відходів при розкрої матеріалів; скорочення витрати фарби при нанесенні покриттів; оптимізації режимів зварювання.

### **Виручка від продажу замінюваного устаткування**

Оцінюється як ліквідаційна вартість устаткування, що демонтується, при

його заміні на автоматизоване. Надалі замість модернізації механічної частини устаткування змінюють програму керування. Однак на деяких підприємствах досі працюють перші промислові роботи "Versatran" і "Unimate", випущені у 1992 р., але оснащені мікропроцесорними пристроями керування. Непрямими джерелами ефективності автоматизації є поліпшення умов праці персоналу, зниження плинності кадрів, стабілізація операцій, скорочення витрат на модернізацію виробництва, збільшення конкурентоспроможності продукції.

На відміну від прямих джерел ефективності для їх виявлення і оцінювання вимагаються спеціальні методи.

### **Поліпшення соціальних характеристик праці робітників**

Проявляється у вигляді скорочення соціальних витрат, які зумовлені безпосередньою участю робітників у технологічному процесі й приховані в загальних витратах підприємства. До них відносяться: втрати від травматизму, стомлюваності, професійних захворювань і плинності кадрів; витрати на охорону праці й підготовку кадрів, дотації на житло і соціально-побутове обслуговування, різні компенсації та пільги. За деякими оцінками, на шахтах доля соціальних чинників ефективності автоматизації складає 80–120% економії зарплати робітників, що вивільняються.

### **Зниження витрат на технологічну підготовку виробництва**

Ефект утворюється внаслідок перепрограмованості універсального устаткування й автоматизованої підготовки програм керування устаткуванням. Комп'ютерна підготовка техдокументації й безпосереднє передавання технологічних завдань до пристроїв керування устаткуванням дозволяють у кілька разів підвищити продуктивність праці проектувальників і технологів, оптимізувати конструкції виробів і технологічні маршрути.

### **Зниження витрат на експлуатацію і ремонт устаткування**

Утворюється за рахунок виконання замовлень меншим числом одиниць

устаткування. Оцінюється як економія витрат на зарплату ремонтників і запчастини.

### **Підвищення якості продукції за рахунок стабілізації процесів і виключення впливу суб'єктивного чинника**

Утворюється за рахунок автоматичного повторення раціональних циклів керування незалежно від ступеня втоми і кваліфікації робітника, наприклад, при фарбуванні, забарвленні, нанесенні покриттів. При ручному фарбуванні 10–20% виробів повертають для виправлення дефектів фарбування. Автоматизація виключає появу дефектів, підвищує продуктивність в 1,7 раза за рахунок більшої швидкості руху розпилювача, скорочує витрату фарб на 30%, вимикає пристрої вентиляції, дозволяє наносити малюнки за заданими програмами.

### **Скорочення витрат на набуття досвіду й кваліфікації робітником**

Хоча підготовка кадрів для комп'ютерної автоматизації вимагає підвищених витрат, в автоматизованому виробництві немає необхідності в тривалому накопиченні робітниками професійного досвіду, наприклад для зварювання, фарбування, складання або різання матеріалів. Адаптивне керування цими операціями по раціональних алгоритмах і з високими швидкостями призводить до незалежності якості процесу від досвіду робітника.

### **Скорочення збитків від нещасних випадків**

Страхові виплати у випадках травматизму або загибелі робітника на виробництві досягають великих сум. Це призводить до зростання обов'язкових страхових відрахувань для фірм, які не впроваджують автоматизовані технології виробництва. Ефект оцінюють як скорочення страхових виплат і компенсацій у зв'язку з нещасними випадками. Крім того, висока вірогідність нещасних випадків на робочих місцях призводить до нестачі кадрів і вимагає компенсуючого підвищення зарплати, не пов'язаної з продуктивністю і якістю

праці.

### **Повторне використання пристроїв автоматизації при модернізації виробництва**

На відміну від традиційного виробництва, розвиток комп'ютерно-автоматизованого виробництва не вимагає заміни промислових комп'ютерів, програмованих контролерів і персональних ЕОМ. Застаріле програмне забезпечення просто замінюють на нове. Ефект проявляється в скороченні витрат на оновлення виробництва.

### **Підвищення конкурентоспроможності продукції**

Комп'ютерно-автоматизоване виробництво здатне швидко переходити на випуск нової продукції відповідно до коливань попиту, забезпечуючи фірмі ринкову ініціативу. У машинобудуванні стає рентабельним випуск одиничних екземплярів продукції за замовленням споживача, що виставляє індивідуальні вимоги. Передача через Інтернет технологічної інформації від головного підприємства в бази цих дочірніх підприємств, розподілених по світу, дозволяє прискорити вихід з новою продукцією на ринок і отримати підвищений прибуток.

### **Інтеграція підсистем виробництва**

Упровадження тільки локальної автоматики, як правило, неефективне й чинить слабкий вплив на виробництво. При об'єднанні автоматизованого устаткування в мережу з'являються можливості узгодження роботи суміжних ланок і ділянок виробництва, введення оперативного керування устаткуванням, планування й організації виробництва. Інтеграція підсистеми автоматизованого виробництва з підсистемами автоматизованого проектування й автоматизованої технологічної підготовки виробництва призводить до якісної зміни усіх ступенів виробництва.

## **Скорочення термінів дослідно-конструкторських робіт**

Собівартість виробів, що виготовляються за індивідуальними замовленнями, в 10 і більше разів вища, ніж при масовому виробництві. Це зумовлено необхідністю частої зміни інструменту і налаштування устаткування, індивідуального проектування, зміни технологічних маршрутів. Властива автоматизованому виробництву гнучкість дозволяє швидко перебудовуватися на випуск нових виробів, роблячи рентабельним оперативний випуск виробів за індивідуальними замовленнями. З'являється можливість випуску експериментальної перевірки нових вузлів і машин, швидкого освоєння принципово нової продукції. Це призводить до прискорення науково-технічного розвитку суспільства.

## **Умови ефективності автоматизації**

Звичайно, технічне і програмне забезпечення комп'ютерної автоматизації набагато дорожче простих знарядь виробництва. Як порівняти витрати на автоматизацію з ефектом від її застосування? Виділимо поняття живої і матеріалізованої праці. Жива праця – це витрати праці людини, безпосередньо зайнятої у виробничому процесі. Наприклад, це деяка кількість людино-годин землекопа, витрачених на викопування ями лопатою. Матеріалізована праця – це витрати праці людини, вкладеної у створення знарядь живої праці. У цьому прикладі – це витрати праці, вкладені у створення лопати. На викопування ями витрачається багато живої праці й мало матеріалізованої. Такий же результат можна отримати, застосувавши екскаватор. При цьому на викопування ями буде витрачено мало живої праці й багато матеріалізованої, вкладеної у створення екскаватора.

У ткацькому виробництві вимагається виявити дефекти в рулоні тканини перед його відправленням замовникові. Зазвичай це завдання вирішують за рахунок живої праці, коли людина розглядає рухому перед нею смугу тканини. Швидкість руху смуги обмежена здатністю людини до розпізнавання нової інформації. Це ж завдання можна вирішити шляхом заміни живої праці на

матеріалізовану, встановивши систему технічного зору з еталонним образом у вигляді бездефектного зразка тканини. За рахунок цього вдасться значно збільшити швидкість руху тканини, забезпечити цілодобову роботу контрольної ділянки, точно фіксувати місця дефектів, швидко адаптуватися до різних видів тканини. Але у створення системи технічного зору була вкладена матеріалізована праця, яка має бути компенсована випереджувальним скороченням живої праці. Вони залежать від вартості праці людини, вартості системи технічного зору, зміни продуктивності, витрат на переобладнання контрольної ділянки. Представимо річні витрати праці на випуск деякого обсягу продукції  $Q$  у вигляді суми

$$T = T_o + N(T_T + T_{ж}), \quad (8.3)$$

де  $T_o$  – витрати матеріалізованої праці людей, вкладеної у створення устаткування;  $T_T$  – витрати матеріалізованої праці, вкладеної в матеріали й енергію;  $T_{ж}$  – витрати живої праці людей, зайнятих у технологічному процесі;  $N$  – термін експлуатації устаткування.

На етапі ручної праці витрати праці  $T_o$ , матеріалізованої в знаряддях виробництва, невеликі й основною складовою загальних витрат праці  $T$  є жива праця  $T_{ж}$  (рис. 8.46).

У міру підвищення технологічного рівня виробництва  $M$  відбувається перерозподіл витрат праці – зростає доля матеріалізованої праці і зменшується доля живої. Зміни живої і матеріалізованої праці можуть відбуватися з різною інтенсивністю.

1. Витрати матеріалізованої праці  $T_o + NT_T$  зросли більше, ніж скоротилися витрати живої праці  $NT_{ж}$ . У результаті загальні витрати праці  $T$  збільшилися.

У цьому випадку автоматизація недоцільна. Наприклад, пропонується розробити робот зі штучним інтелектом для автоматичного пошуку несправностей і ремонту технологічного устаткування. Замість цього доцільно вкласти кошти в підвищення надійності устаткування.

2. Збільшення витрат матеріалізованої праці  $T_o + NT_T$  дорівнює зменшенню витрат живої праці  $T_{ж}$ . Загальні витрати праці  $T$  не змінилися.



Це – гранична умова доцільності автоматизації. Слід проаналізувати, чи немає додаткових джерел ефективності, чи є потенційна ефективність автоматизації.

4. Витрати матеріалізованої праці  $T_o + NT_T$  вирости менше, ніж скоротилися витрати живої праці  $NT_{жс}$ . У результаті загальні витрати праці  $T$  зменшилися.

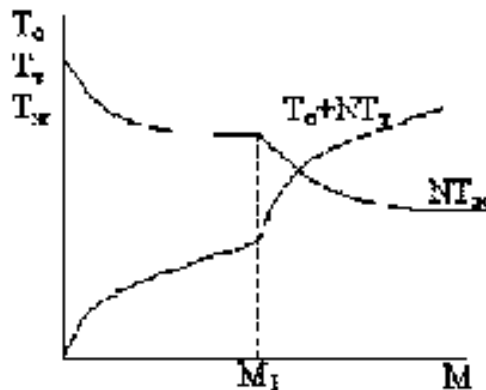


Рисунок 8.46. Співвідношення витрат живої і матеріалізованої праці в міру розвитку продуктивних сил  $M$  ( $M_I$  – технологічна революція)

Тільки в цьому випадку автоматизація доцільна, оскільки тут сталася випереджаюча заміна живої праці на матеріалізовану.

Рівень досконалості технології можна оцінити відносно об'єму випущеної продукції до загальних витрат на її випуск

$$I^P = \frac{QN}{T} = \frac{QN}{T_o + N(T_T + T_{жс})} \quad , \quad (8.4)$$

де  $Q$  – річний випуск продукції;  $N$  – термін експлуатації устаткування;  $T$  – загальні витрати одноразового матеріалізованого  $T_o$ , поточного матеріалізованого  $T_T$  і поточної живої праці  $T_{жс}$  на випуск продукції.

Зміст цього виразу простий: чим більший випуск продукції і менші витрати на її виробництво протягом терміну служби устаткування, тим вищий рівень

досконалості технологічного процесу.

Залежно від терміну експлуатації  $N$  обсяг випущеної продукції лінійно зростає, якщо вважати річний випуск продукції  $Q_i$  постійним (рис. 8.47). Одноразові витрати на устаткування  $K_i$  розподіляються на увесь термін експлуатації  $N_i$ . Тому слід мати на увазі, що  $N_i$  на рисунку є не поточним, а загальним часом роботи устаткування. До витрат  $K_i$  додаються витрати на робочу силу  $Z_i$ , матеріали й енергію  $C_i$ , що лінійно зростають у міру збільшення терміну експлуатації  $N_i$ .

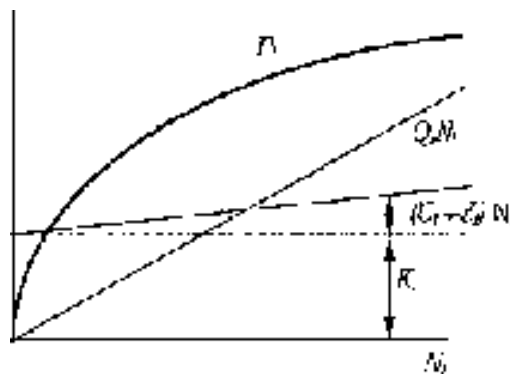


Рисунок 8.47. Оцінювання рівня досконалості технологічного процесу

У результаті ділення обсягу продукції на сумарні витрати залежність рівня досконалості  $i$ -го технологічного процесу  $P_i$  від загального терміну експлуатації устаткування  $N_i$  набуває форми гіперболи. У міру збільшення  $N_i$  одноразові витрати матеріалізованої праці  $K_i$  розподіляються на все більший випуск продукції, і рівень технічної досконалості  $P_i$  стає вищим при наближенні до межі морального зносу

$$P_{\text{макс}} = \frac{Q_i}{C_i + Z_i} \quad (8.5)$$

Але і для неавтоматизованої технології можна також побудувати криву рівня досконалості технологічного процесу

$$P_i(N_0) = \frac{Q_i N_0}{K_0 + N_0 (C_0 + Z_0)} \quad (8.6)$$

Вона може знаходитися вище, нижче або перетинати гіперболу для автоматизованого технологічного процесу  $P_i$  (рис. 8.48).

Таким чином, якщо рівень досконалості автоматизованого технологічного процесу вищий, ніж неавтоматизованого, то повинна виконуватися нерівність

$$S = \frac{P_i(N_i)}{P_o(N_o)} = \frac{Q_i N_i [K_o + N_o (C_o + Z_o)]}{Q_o N_o [K_i + N_i (C_i + Z_i)]} > 1. \quad (8.7)$$

На графіку ця умова виконується після перетину кривої  $P_o(N_o)$  існуючої технології кривою  $P_i(N_i)$  автоматизованої технології (рис. 8.48). Проекція точки перетину кривих на горизонтальну вісь показує мінімальний термін експлуатації системи автоматизації  $N_o$ . Залежність критерію  $S$  від терміну експлуатації  $N$  на рисунку також має гіперболічну форму. При збільшенні терміну експлуатації приріст продуктивності сповільнюється.

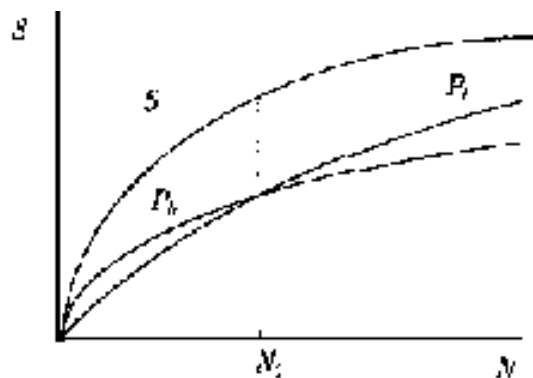


Рисунок 8.48. Порівняння рівнів досконалості існуючої  $P_o$  і автоматизованої  $P_i$  технологій

Аналіз умов, за яких гіпербола  $P_i(N_i)$  перетинає гіперболу  $P_o(N_o)$ , дозволяє вирішувати стратегічні завдання автоматизації: визначення терміну морального старіння технології, порівняння альтернатив автоматизації, ранжирування цілей застосування і джерел ефективності автоматизації, оцінювання мінімального обсягу автоматизації, вибір оптимальних термінів заміни неавтоматизованого устаткування на автоматизоване, оцінювання терміну служби пристроїв автоматики.

Для визначення меж доцільності автоматизації введемо умову  $S > 1$  і розв'яжемо зворотні задачі.

Вимагається визначити ліміт витрат  $K_i$  на засоби автоматизації, якщо відомі вартість існуючого устаткування  $K_o$ , продуктивність  $Q_o$ ,  $Q_i$ ; річні витрати на робочу силу  $Z_o$ ,  $Z_i$  матеріали і енергію  $C_o$ ,  $C_i$  до і після автоматизації. Перетворимо вираз за умови зростання продуктивності праці  $S > 1$

$$K_i < \frac{Q_i}{Q_o} [K_o + N(C_o - C_i) + N(Z_o - Z_i)] \quad (8.8)$$

Використовуючи перетворення формули для  $S$ , можна визначити, на яку величину повинна підвищитися продуктивність у результаті автоматизації, якщо відомі витрати на існуючу й автоматизовану  $K_i$  технології, річні витрати на робочу силу  $Z_o$ ,  $Z_i$ , матеріали й енергію  $C_o$ ,  $C_i$ :

$$\frac{Q_i}{Q_o} > \frac{K_i + NC_i + NZ_i}{K_o + NC_o + NZ_o} \quad (8.9)$$

Таким чином, розглянутий метод дозволяє порівняти в одній формулі витрати й ефект від модернізації виробництва, а потім зробити висновок про доцільність автоматизації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Усов Б. А. Выбор параметров струйных захватов для промышленных роботов и манипуляторов [Текст] / Б. А. Усов, Я. И. Проць // Известия вузов. Машиностроение, 1986. №1. - С.152-156.
2. Спыну Г. А. Промышленные роботы конструирование и применение [Текст] / Г. А Спыну – К.: Высшая школа, 1991. - 331с.
3. Промышленная робототехника [Текст] / под ред. Я. С. Ямпольского. – К.: Техника, 1984, -243с.
4. Автоматизированные системы управления предприятиями и объединениями [Текст] / под ред. М. А. Соломина. – М.: Экономика, 1985. - 248 с.
5. Волчкевич Л. И. Надежность автоматических линий [Текст] / Л. И. Волчкевич – М.: Машиностроение, 1969. - 309 с.
6. Волчкевич Л. И. Комплексная автоматизация производства [Текст] / Л. И. Волчкевич, М. П. Ковалев, М. М.Кузнецов. – М.: Машиностроение, 1983. - 262 с.
7. Егоров В.А. Транспортно-накопительные системы для ГПС [Текст] / В. А. Егоров, В. Д.Лузанов, С. М. Щербаков. – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отделение. 1989. -293 с.
8. Автоматизация производственных процессов [Текст] / под. ред. Г. А. Шаумяна. – М.: Высшая школа, 1978. - 431 с.
9. Васильев В. Н. Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении [Текст] / В. Н. Васильев – М.: Машиностроение, 1986. - 312 с.
10. Воеводин В. М. Гибкие Автоматические линии: Классификация. Принципы построения [Текст] / А. П. Гавриш. Б.М. Воронеж// Станки и инструмент.- 1985. - № 10. - С.2-15.
11. Гавриш А. П. Роботизированные механообрабатывающие комплексы машиностроительного производства /[Текст] А. П. Гавриш, Б. М. Воронеж. – К.: Техніка, 1984. -198 с.

12. Гибкие производственные комплексы [Текст] / под ред. П. Н. Беянина, В. А. Лещенко. – М.: Машиностроение, 1984.- 384 с.
13. Костюк В. И. Промышленные роботы [Текст] / В. И. Костюк, А. П. Гавриш, Л. С. Ямпольский. – К.: Вища школа, Головное изд-во, 1985. - 360 с.
14. Митрофанов С. П. Групповая технология машиностроительного производства [Текст] / С. П. Митрофанов. В 2 т. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. - Т.1: Организация группового производства. - 407 с.
15. Соломенцев Ю. М. Автоматизированная разработка структуры оборудования технологических систем [Текст] / Ю. М. Соломенцев, А. Ф. Прохоров, В. В. Калинин // Вестн. Машиностроения, 1984. - № 10. - С.46-48.
16. Беянин П. Н. Промышленные роботы [Текст] / П. Н. Беянин – М.: Машиностроение, 1975. - 398 с.
17. Козырев Ю. Г. Рациональные области применения автоматических манипуляторов с программным управлением (ПП) при механической обработке [Текст] / Ю. Г. Козырев // Станки и инструмент. 1976. №7. - С.1- 4.
18. Норицын И. А. Автоматизации и механизации техпроцессовковки и штамповки [Текст] / И. А.Норицын, В. И.Власов – М.: Машиностроение 1967. - 580 с.
19. Рабинович А. Н. Автоматическое ориентирование и загрузка штучных деталей [Текст] /А. Н. Рабинович – Киев: Техника, 1968. - 360 с.
20. Юревич Е.И. Классификация промышленных роботов [Текст] / Е. И. Юревич, Б. Г. Аветиков, О. Б. Корытко// Промышленные роботы. – Л.: Машиностроение, № 1. 1977. - С. 91 – 97.
21. Белоусов А. П. Основи автоматизації виробництва в машинобудуванні [Текст] / А. П.Белоусов, А. І. Дашенко – М.: Вища школа, 1982.
22. Стенцель Й. І. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв [Текст] / Й. І. Стенцель. Навч. посібник – К.:ІСДО.1995. – 360с.
23. Бородин И. Ф. Автоматизация технологических процессов [Текст] / И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. – М.: Колос, 2004, - 344с.

24. Вальков В. М. Автоматизированные системы управления технологическими процессами [Текст] / В. М. Вальков, В. Е. Вершин. – Л.: Политехника, 1991. – 269с.
25. Волчкевич Л. И. Автоматизация производственных процессов [Текст] /Л. И. Волчкевич Учебное пособие. – 2-е изд., стер. – М.: Машиностроение, 2007. – 380с.
26. Втюрин В. А. Автоамтизировинные системы управления технологическими процессами [Текст] / В. А. Втюрин. Основы АСУТП: Учебное пособие. – Санкт–Петербург, 2006. – 152с.
27. Капустин Н. М. Автоматизація производственных процессов в машиностроении Учеб. для вузов. [Текст] /Под ред. Н. М. Капустина. – М.: Высшая школа, 2004. – 415с.
28. Капустин Н. М. Комплексная автоматизация в машиностроении [Текст] / Н. М. Капустин – М.: Издательский центр Академия, 2005. – 368с.
29. Ладанюк А. П. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості [Текст] / А. П. Ладанюк, В. Г. Трегуб, І. В. Ельперін. – Київ, 2001. – 224с.
30. Медведев А. Е. Автоматизация производственных процессов [Текст] / А. Е. Медведев, А. В. Чупин. Учеб. Пособие. Кузбас. гос. техн. ун-т. – Камерово, 2009. – 325с.
31. Проць Я. І., Данилюк О. А., Лобур Т. Б. Автоматизація неперервних технологічних процесів [Текст] / Я. І. Проць, О. А. Данилюк, Т. Б. Лобур. Навчальний посібник (укр. яз.) для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Тернопіль: ТДТУ ім. І. Пулюя, 2008. – 239с.
32. Соснин О.М. Основы автоматизации технологических процессов и производств [Текст] / Соснин О. М. – М.: Издательский центр Академия, 2007. – 240с.
33. Федотов А. В. Автоматизация управления в производственных системах [Текст] / А. В. Федотов – Омськ: Изд-во Омського ГТУ, 2001. – 358с.
34. Проць Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів [Текст] /

Я. І. Проць. Навчальний посібник для вищих технічних навчальних закладів. –  
Тернопіль : ТДТУ, 2008. - 232 с.