

**Ю. І. Муляр, С. В. Репінський**

# **Автоматизація виробництва в машинобудуванні**

## **Частина II**



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

Автоматизація виробництва  
в машинобудуванні

Частина II

*Навчальний посібник*

Вінниця  
ВНТУ  
2020

УДК 621.0  
М90

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 13 від 30.05.2019 р.)

Рецензенти:

**Л. К. Поліщук**, доктор технічних наук, професор

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

**М. І. Іванов**, кандидат технічних наук, професор

**Муляр, Ю. І.**

**М90** Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина II : навчальний посібник / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 123 с.

Посібник присвячений матеріалам лекційного курсу з дисципліни «Автоматизація виробництва в машинобудуванні» для студентів, що навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» денної та заочної форм навчання.

Мета посібника – надати студентам можливість більш детально вивчити аудиторний матеріал, опрацювати теми відведені на самостійну роботу і підготуватися до іспиту, а також застосувати отримані знання для подальшої фахової роботи.

Перелік та зміст тем відповідає програмі вказаної вище дисципліни.

**УДК 621.0**

© ВНТУ, 2020

## ЗМІСТ

<b>1 КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВЕЛИКОСЕРІЙНОГО І МАСОВОГО ВИРОБНИЦТВА</b> .....	5
1.1 Особливості обробки в умовах великосерійного і масового виробництва. Визначення автоматичної лінії.....	5
1.2 Класифікація автоматичних ліній (АЛ).....	6
1.3 Основні вузли та механізми АЛ.....	8
1.3.1 Силові головки.....	8
1.3.2 Транспортні засоби АЛ.....	10
1.3.3 Механізми затискання та фіксації деталей.....	14
1.4 Допоміжні механізми АЛ.....	15
1.4.1 Агрегати накопичення та видавання деталей.....	15
1.4.2 Механізми зміни положення деталей.....	18
1.4.3 Пристрої для видалення стружки.....	19
1.5 Конструкції АЛ.....	21
1.5.1 АЛ з агрегатних верстатів.....	21
1.5.2 АЛ із спеціальних верстатів.....	21
1.5.3 АЛ із спеціалізованих верстатів.....	21
1.5.4 Роторні та роторно-конвеєрні АЛ.....	21
<b>2 ЗАСОБИ ТА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РОЗМІРІВ ТА ОСНОВНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ</b> .....	27
2.1 Значення автоматичного контролю у сучасних виробничих процесах машинобудівної галузі промисловості.....	27
2.2 Основні відомості про автоматичний контроль.....	27
2.3 Вимірювальні прилади для здійснення активного контролю.....	29
2.4 Автоматичні підналадчики.....	33
2.5 Автоматичні блокувальні пристрої.....	35
<b>3 КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦІЯ ШИРОКОНОМЕНКЛАТУРНОГО ВИРОБНИЦТВА</b> .....	37
3.1 Передумови до створення ГАВ.....	37
3.2 Історія розвитку ГАВ.....	39
3.3 Соціально-технічні та соціально-економічні аспекти гнучкої автоматизації виробництва.....	42
3.4 Науково-технічні та технологічні можливості й задачі впровадження ГАВ.....	45
3.5 Методика створення ГАВ.....	47
3.6 Технічно-економічна та організаційна ефективність впровадження ГАВ.....	48
3.7 Надійність роботи автоматизованих комплексів.....	53
3.8 Економічна ефективність ГАВ.....	54
3.9 Технологічне обладнання. Багатоцільовий верстат з ЧПК.....	57
3.10 Промислові роботи та маніпулятори.....	67

3.11 Автоматизована транспортно-накопичувальна система.....	75
3.12 Роботизовані комплекси.....	86
<b>4 МЕХАНІЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ СКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ</b> .....	93
4.1 Загальні поняття та означення.....	93
4.2 Шляхи і засоби механізації та автоматизації технологічних процесів складання.....	93
4.3 Методи проектування автоматизованих технологічних процесів складання.....	96
4.4 Технологічність конструкції деталей вузлів машин при переході на автоматичне складання.....	97
4.5 Обладнання, яке застосовується при автоматизованому складанні.....	97
4.6 Автоматизація подачі деталей на складання.....	101
4.7 Автоматичне орієнтування деталей у завантажувальних пристосуваннях.....	102
<b>5 МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА ТА КОНТРОЛЕРИ – НАЙЕФЕКТИВНІШИЙ ЗАСІБ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ</b> .....	106
5.1 Загальні відомості про мікропроцесорну техніку та контролери..	106
5.2 Приклади застосування мікропроцесорної техніки у системах керування верстатів з ЧПК, промислових роботів та роботизованих технологічних комплексах.....	109
<b>ВИСНОВОК</b> .....	120
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	121

# **1 КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВЕЛИКОСЕРІЙНОГО І МАСОВОГО ВИРОБНИЦТВА**

## **1.1 Особливості обробки в умовах великосерійного і масового типу виробництва. Визначення автоматичної лінії**

Відомо, що в умовах великосерійного і масового типів виробництва обробці підлягає вузька номенклатура деталей – мінімум найменувань, але кожне найменування – це виготовлення великої їх кількості. Це може бути або велика серія, для переходу обробки від однієї серії (одне найменування) до іншої потрібне певне переналагодження обладнання, або це може бути велика партія деталей одного найменування. Але, оскільки технологічний процес обробки передбачає застосування декількох різних за технологічним призначенням одиниць обладнання, то потрібно організувати процес передавання об'єкта обробки між ними. Як правило, у звичайному виробництві (дрібносерійне, середньосерійне) можуть для цього використовувати різний транспорт – починаючи від ручних візків і закінчуючи застосуванням автоматизованого транспорту, наприклад, автороботарів. Застосування міжопераційного транспорту, вказаного вище, є однією з основних причин невисокої продуктивності процесу обробки. Крім того, на продуктивність впливають також втрати часу на встановлення – зняття об'єкта з кожного верстата, процеси затискання – розтискання об'єкта, контрольні заходи. Багато деталей складних конструкцій з причини великої кількості поверхонь, які необхідно обробляти, не можуть бути повністю виготовлені на одному верстаті. В цих випадках операції обробки розподіляють таким чином, щоб їх можна було виконати на мінімальній кількості верстатів. Якщо розміри деталей дозволяють вести обробку на багатоцільових верстатах, то будують поточну лінію з декількох багатоцільових верстатів, при обробці деталей великих розмірів – поточну лінію з однопозиційних верстатів. Якщо в такій поточній лінії здійснити автоматичне передавання деталей від верстата до верстата, а також автоматизувати затискання та розтискання деталей в робочих позиціях, то поточна лінія перетвориться в **автоматичну**.

Таким чином, **автоматична лінія (АЛ)** – це система верстатів, розташованих за ходом технологічного процесу, для автоматичного перетворення заготовки у готову деталь шляхом виконання різних технологічних, контрольних, складальних та інших операцій з автоматичним пересуванням деталей від верстата до верстата та перезатисканням або перебезуванням їх безпосередньо в пристосуваннях або в спеціальних пристосуваннях-супутниках. Перетворення потокової лінії у автоматичну пов'язане зі значними витратами і не завжди економічно виправдане. У випадку обробки

складних за конструкцією деталей, якщо для їх базування та затискання потрібно застосовувати пристосування-супутники, вартість автоматичного транспорту та супутників інколи становить до 40% вартості всієї лінії. Якщо випуск деталей не особливо великий, доцільніше обробляти їх на багатосторонніх верстатах поточної лінії, ніж будувати автоматичну лінію, де кожний верстат буде мати менше інструментів і, відповідно, буде потрібна більша кількість верстатів.

## 1.2 Класифікація автоматичних ліній

Застосування автоматичних ліній для виготовлення найрізноманітніших деталей з виконанням різноманітних операцій механічної обробки, складання, контролю, пакування та інших операцій викликало необхідність у великій кількості конструктивних рішень автоматичних ліній. У експериментальному науково-дослідному інституті металорізальних верстатів (ЕНІМВ – організація бывшего СРСР) розроблена класифікація ліній за основними ознаками.

За принципом роботи лінії поділяються на два класи: **синхронні (жорсткі)** та **несинхронні (гнучкі)**. На **синхронних АЛ** заготовки під час обробки передаються безпосередньо від одного верстата до іншого без транспортування до магазинів-накопичувачів або бункера (рис. 1.1).

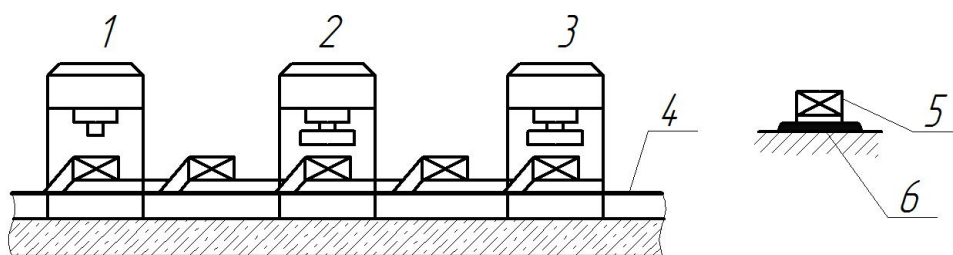


Рисунок 1.1 – Схема синхронної АЛ

**Примітка.** На рис. 1.1–1.3 позначено: 1, 2, 3 – верстати; 4 – транспортер; 5 – виріб; 6 – супутник; 7 – накопичувач; 8 – живильник.

**Несинхронні АЛ** складаються з верстатів, кожний з яких оснащений бункером (або магазином-накопичувачем) для зберігання деталей та автоматичним завантажувально-розвантажувальним пристроєм.

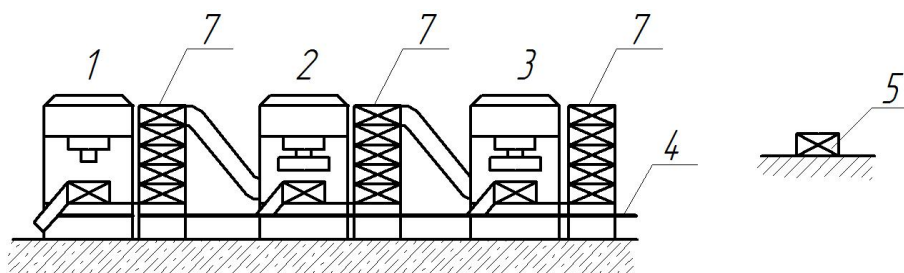


Рисунок 1.2 – Схема несинхронної АЛ

Синхронні та несинхронні лінії проектують як з пристосуваннями-супутниками, так і без них (**супутникові та безсупутникові лінії**). Автоматичні лінії можуть складатися із одно- та багатопозиційних верстатів з **наскрізним та ненаскрізним транспортером**.

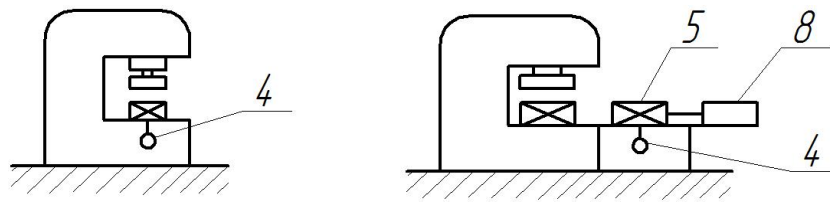


Рисунок 1.3 – Схема АЛ з наскрізним та ненаскрізним транспортером

Наскрізний транспортер найбільш простий і тому лінії з таким транспортером отримали значне поширення. Лінії з ненаскрізним (верхнім та фронтальним) транспортом проектується у тому випадку, якщо конструкції верстатів не дозволяють здійснити наскрізне транспортування виробів. Недолік – їх складність та необхідність мати на кожній робочій позиції свій завантажувально-розвантажувальний пристрій.

Верстати об'єднані жорстким транспортом і утворюють прямоточну (**нерозгалужену**) лінію або окремі секції лінії з **розгалуженими потоками**.

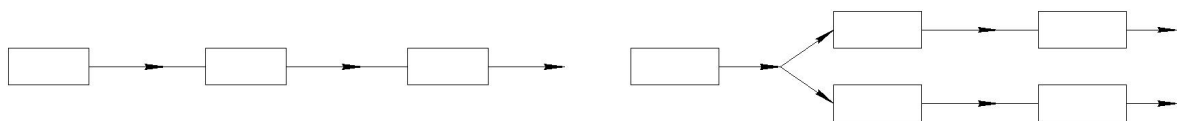


Рисунок 1.4 – Схеми АЛ з нерозгалуженим та розгалуженим потоками

За характером транспортування виробів в процесі обробки або складання АЛ можна поділити на **стаціонарні та роторні**. На стаціонарних АЛ деталі в процесі обробки не змінюють свого положення відносно верстата і лише після закінчення обробки на черговій позиції транспортуються на наступну позицію. На роторних АЛ деталі переміщуються безперервно. Кожний роторний верстат обертається безперервно навколо своєї осі з певною швидкістю. Частина часу, яка витрачається на обробку деталей, суміщується з транспортуванням, інший час витрачається на підведення та відведення інструмента та передавання деталей від одного верстата-ротора до іншого.

За технологічним призначенням розрізняють АЛ для **виконання одного виду операцій (різання, складання і т. ін.) та комбіновані для виконання декількох видів операцій (механо-складання)**.

За типом обладнання, яке застосовується, АЛ поділяють на лінії з універсальних, агрегатних, спеціалізованих та спеціальних верстатів.



## 1.3 Основні вузли та механізми АЛ

### 1.3.1 Силкові головки

Силкові головки є основними вузлами автоматичних ліній та агрегатних верстатів.

За технологічним призначенням головки можна поділити на свердлильні, фрезерувальні, розточувальні, різьбонарізні, токарні, шліфувальні, хонінгувальні, протягувальні, складальні та інші (головки різного спеціального призначення). Залежно від потужності двигуна силкові головки поділяють на мікро-, малі, середні та великі (потужність від 0,05 кВт до 30 кВт). За типом привода головного руху силкові головки можна поділити на головки з електричним, пневматичним та гідравлічним двигунами.

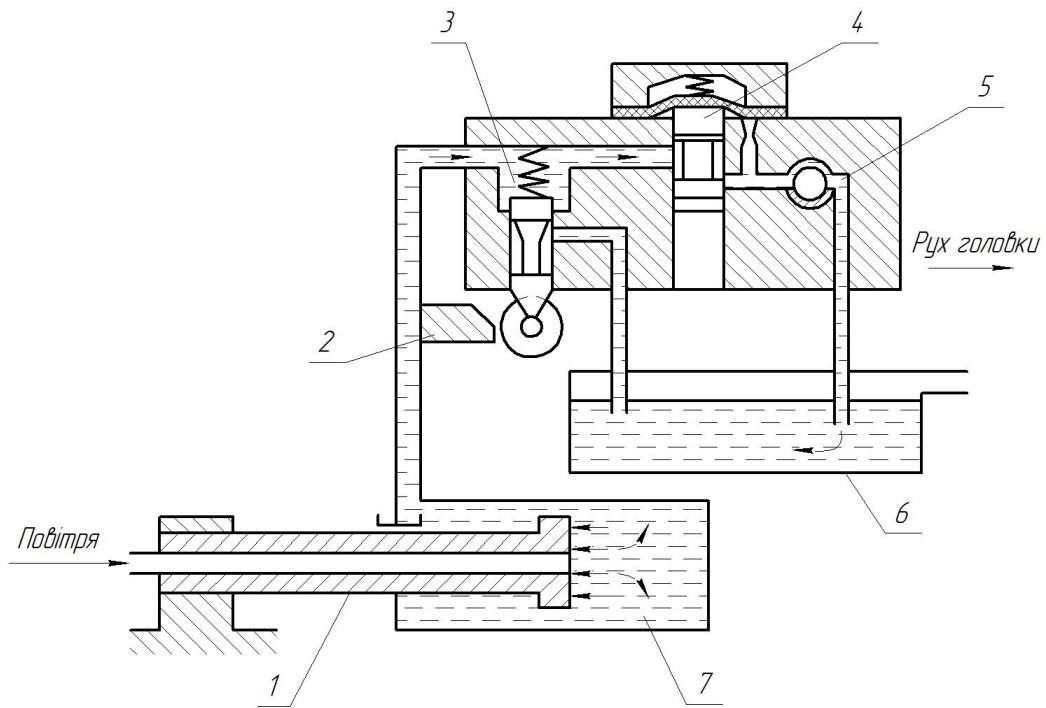
За типом привода на верстаті головки мають три конструктивних види: з висувною піноллю, з рухомим корпусом, з рухомим корпусом та висувною піноллю. Інколи на автоматичних лініях встановлюють інструментальні бабки (нерухомі головки), шпинделі яких отримують тільки обертний рух. Інструментальні бабки застосовують переважно при компонованні розточувальних та фрезерувальних верстатів, на яких потрібна підвищена жорсткість. В цьому випадку рух подачі здійснюється деталлю. Головки з рухомим корпусом та головки з висувною піноллю використовують для виконання розточувальних, фрезерувальних та інших операцій. За типом привода подачі головки поділяють на механічні (кулачкові та гвинтові), пневматичні, пневмогідравлічні і гідравлічні. Останнім часом з'явилися головки з пневмогідромеханічними та іншими комбінованими механізмами подачі. Найбільшу кількість головок мають гідравлічні та гвинтові приводи. Вони застосовуються як для малих, так і для великих потужностей.

Залежно від місця встановлення привода подачі силкові головки можна поділити на головки з індивідуальним приводом, розташованим всередині самої головки – **самодійні** та з приводом поза головкою – **несамодійні**.

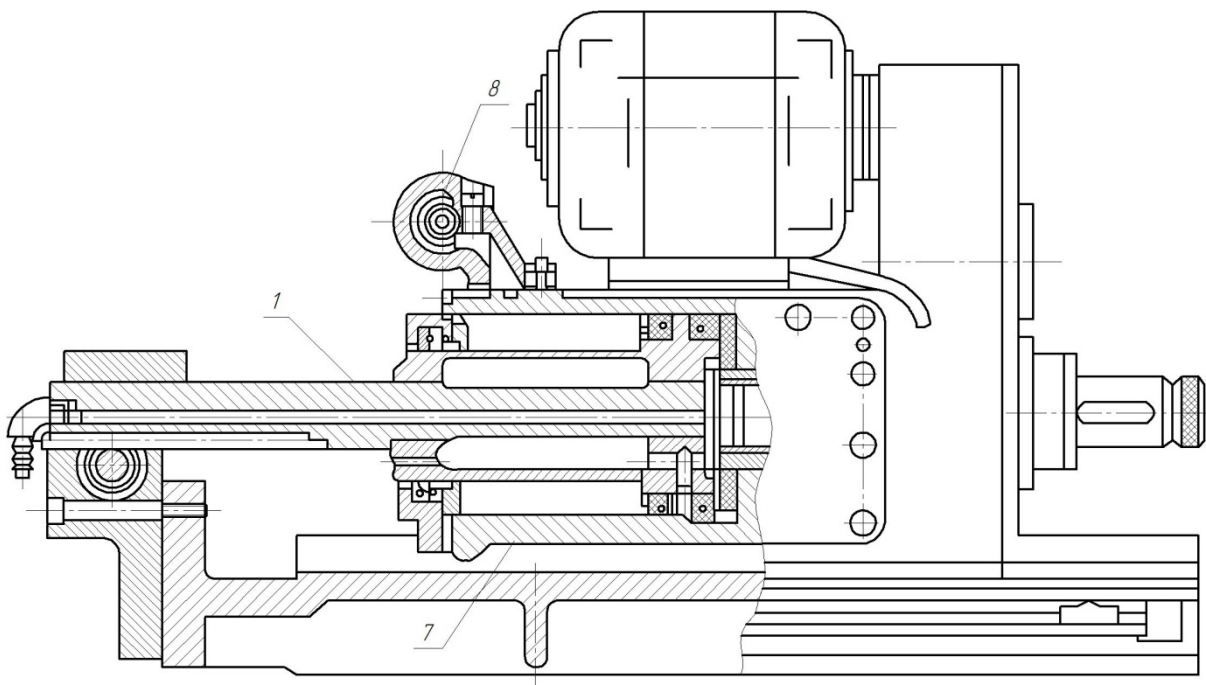
На рис. 1.5 показані принципова схема пневмогідравлічної головки з рухомим корпусом (а) та її будова (б).

Стиснуте повітря через отвір у штоці поршня 1 подається до циліндра 7. Оскільки поршень нерухомий, циліндр разом з головкою переміщується по напрямних. При цьому масло із штокової порожнини циліндра вільно зливається у бак. При вивільненні плунжера 3 кулачок 2 перекриває зливання масла у бак. З цього моменту масло проходить через редуційний клапан 4 та дросель 5, при цьому головка переміщується зі швидкістю робочої подачі. Повертання головки відбувається при подачі стиснутого повітря до масляного бака 6, що здійснюється шляхом перемикавання електропневматичного розподільчого клапана. Пройшовши через

форкамеру 8, повітря витісняє масло із бака у штокову порожнину циліндра, повертаючи головку у вихідне положення.



а)



б)

Рисунок 1.5 – Пневмогідролічна головка

Окрім силових головок у машинобудуванні широко застосовують силові столи з гвинтовими механізмами. Силові столи, як і силові головки, є нормалізованими взаємозамінними вузлами. Перевага їх в тому, що на силовий стіл можуть бути встановлені будь-які інструменти або бабки з інструментами, що підвищує гнучкість та технологічні можливості агрегатних верстатів, із яких компонують лінії. Так, на силовому столі можуть бути встановлені протяжки, пристрої для запресування деталей, складальні та контрольні пристрої. Силові столи спрощують виконання фрезерування та розточування із застосуванням жорстких шпинделів.

### 1.3.2 Транспортні засоби АЛ

Транспортні засоби являють собою комплекс елементів, які передають об'єкти з однієї операції на іншу. Конструкція, принцип дії обладнання визначається габаритами, розмірами об'єктів, які переміщуються. До транспортних засобів відносяться накопичувачі, транспортери, підіймачі, допоміжне обладнання. Тобто в процесі транспортування може виконуватися і ряд допоміжних операцій (поворот, розподілення потоку, створення запасів для забезпечення надійної роботи). Від правильного вибору типів транспортних засобів залежить продуктивність і надійність лінії.

Транспортне обладнання поділяється на 2 основні класи:

- транспортні засоби з жорстким зв'язком;
- транспортні засоби з гнучким зв'язком.

Окрему частину транспортних засобів становлять транспортні засоби для виділення стружки.

#### 1.3.2.1 Транспортні засоби автоматичних ліній з жорстким зв'язком

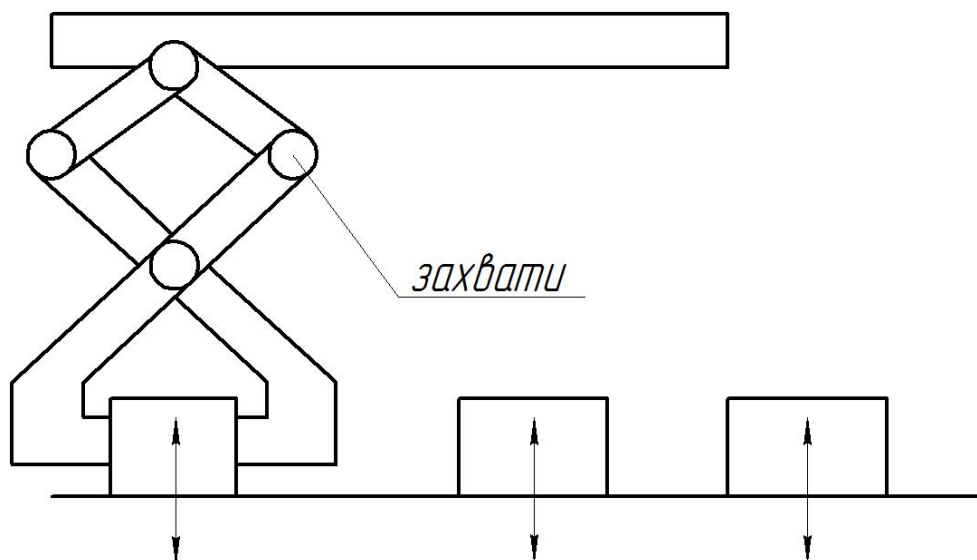


Рисунок 1.6 – Рейнерний кроковий конвеєр

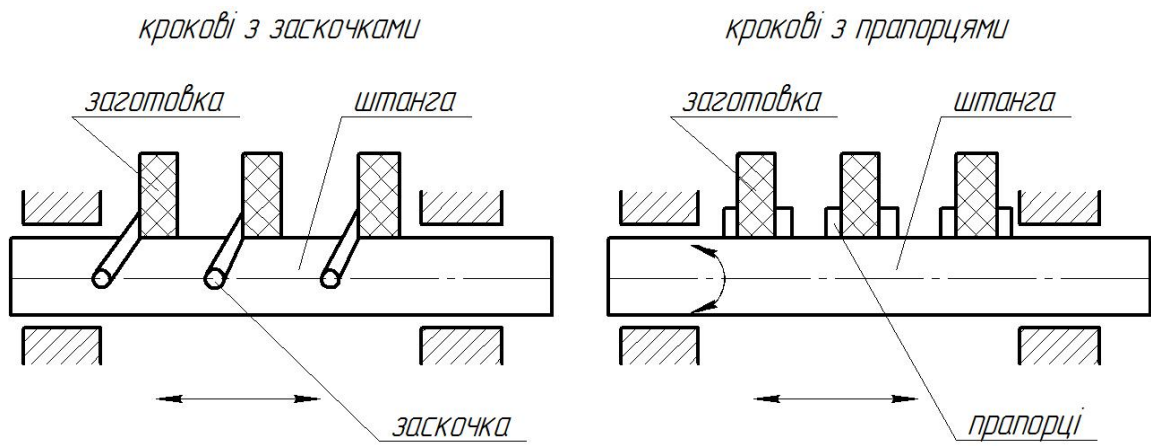


Рисунок 1.7 – Конвеєри крокові з заскочками та з прапорцями

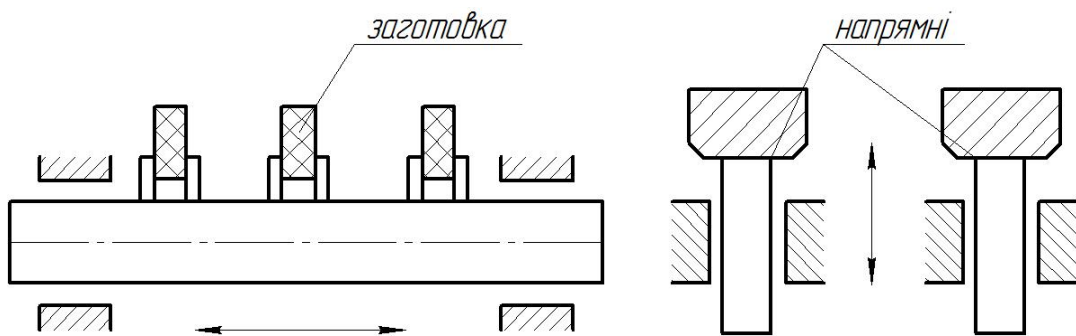


Рисунок 1.8 – Грейферні крокові конвеєри

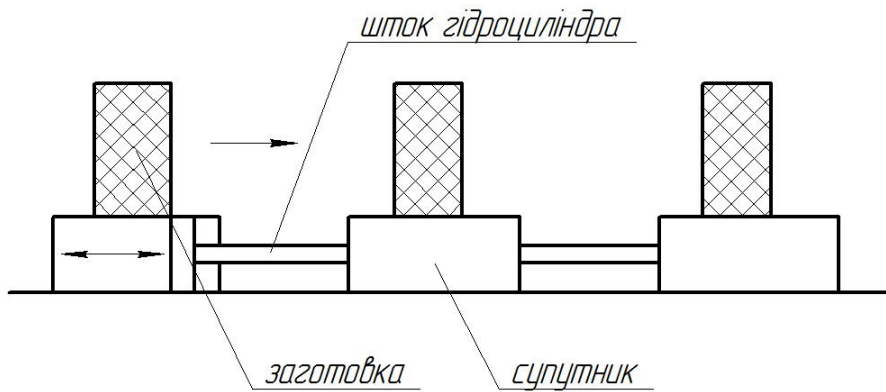


Рисунок 1.9 – Штовхаючий кроковий конвеєр

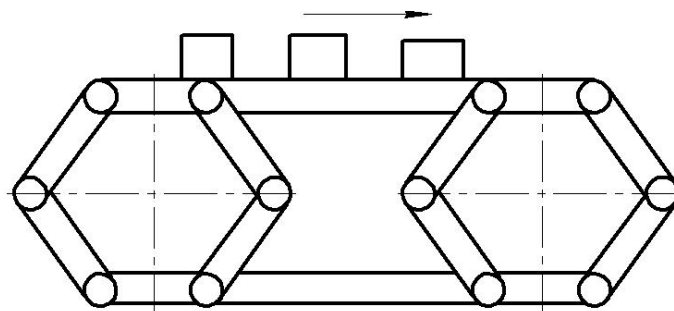


Рисунок 1.10 – Ланцюговий конвеєр

*Крокові з заскочками* (див. рис. 1.7) найбільш поширені. На штанзі встановлені підпружинені заскочки. Під час руху вправо заскочки захоплюють заготовку і рухають на наступну позицію. При зворотному русі заскочки втоплюються в пази штанги і проходять під заготовкою.

**Переваги:**

- простота руху (зворотно-поступальний);

- простота привода.

**Недоліки:**

- складність точного позиціонування заготовки на робочій позиції з огляду на можливість її зміщення через інерцію;

- можливість потрапляння стружки в гнізда, пружини, заскочки і їх заклинювання (періодичне технічне обслуговування, обмежений доступ стружки).

Щодо першого недоліку, то потрібно зменшити масу або швидкість. Зменшення швидкості краще, тому що масу змінити неможливо. Швидкість не має не перевищувати 10 м/хв.

В деяких випадках 10 м/хв, а в кінці руху можна зменшити швидкість. При цьому виграємо в часі, а програємо в продуктивності.

*Крокові – з прапорцями* (див. рис. 1.7). Перед рухом вперед штанга повертається на певний кут і прапорці захоплюють заготовку. Після цього здійснюється рух вправо на потрібний крок. Далі повертають штангу, прапорці виходять зі зчеплення і повертаються в початкове положення. Оскільки прапорці з двох боків, то маємо більшу швидкість і точніше позиціонування.

*Грейферні крокові* (див. рис. 1.8) використовуються не часто, а в тих випадках, коли необхідно заготовки піднімати. Коли базувальна площина і два пальці нерухомі. Перш ніж рухати заготовку її потрібно зняти з пальців. Але простіше зробити рухомими пальці.

*Рейнерні крокові* транспортери (див. рис. 1.6) – це ускладнений тип грейферних. Здійснюється захоплення заготовки захватами, що знаходяться на штанзі, яка розташована над верстатом. Значно поширена така система для ліній обробки валів. Вони спрощують компонування ліній, але і мають низьку надійність роботи.

*Штовхальні* транспортери (див. рис. 1.9) найбільш прості. Шток гідроциліндра діє на останню заготовку, рухаючи всі попередні.

**Недолік:** накопичення похибки установа заготовки внаслідок накопичення або похибки розмірів заготовки, або розмірів супутників.

*Ланцюгові* (див. рис. 1.10) використовують як транспортування і для безперервного, і для крокового рухів. Ланцюг отримує зворотно-поступальний рух на крок. Заготовки, які вільно лежать на ланцюзі, рухаються на потрібну відстань. Вони встановлюються на пристроях, а ланцюг рухається в зворотному напрямку.

Транспортні системи складаються з транспортерів з прямолінійним рухом супортів, зворотним рухом супортів і двох сполучних транспортерів, які розміщені на початку і в кінці лінії.

Транспортери призначені повертати супутник на завантажувальні позиції. Для одержання комплексної лінії такий транспортер розміщують або над основним транспортером або під ним (рис. 1.11). Супутник за допомогою піднімачів опускається чи піднімається на транспортер. Нижнє розташування транспортера ускладнює його ремонт і обслуговування та усунення стружки з лінії.

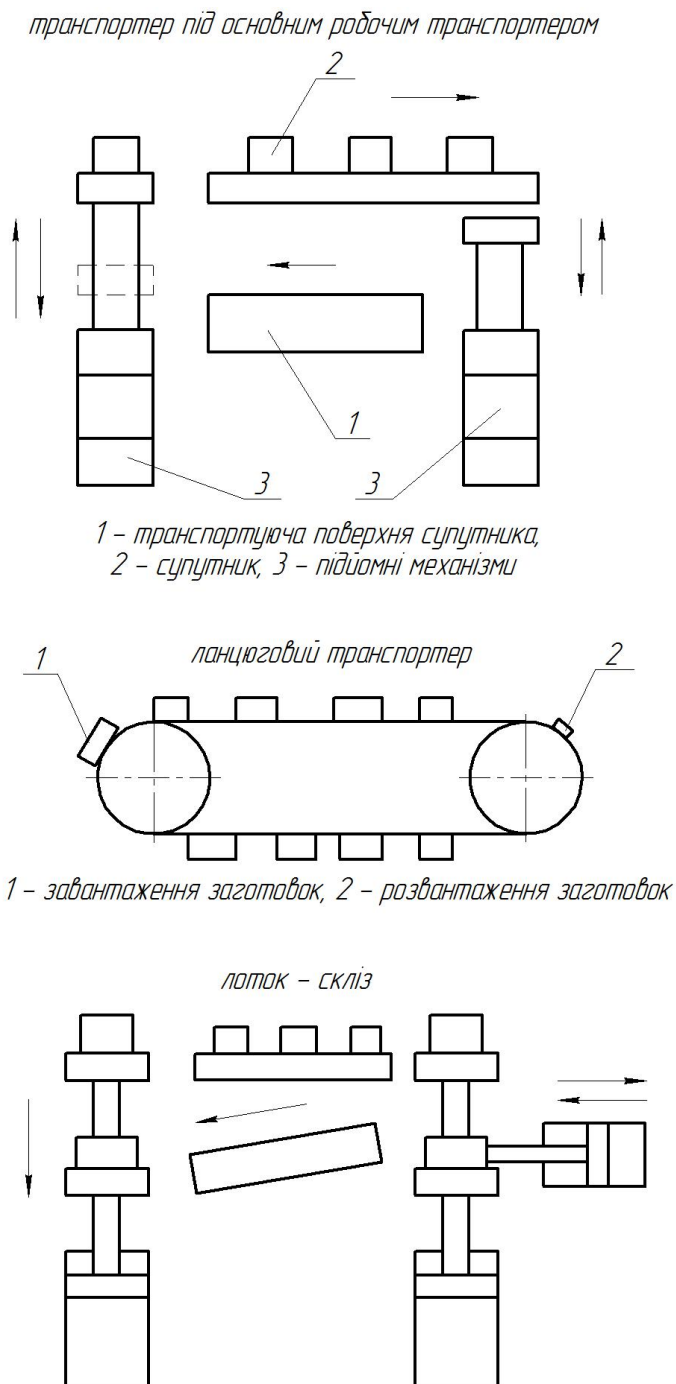


Рисунок 1.11 – Транспортери розташовані на різних площинах з робочим транспортером

З огляду на це найбільш поширені транспортні системи, в яких транспортери мають розміщуватись в одній площині з основним транспортером (рис. 1.12). При цьому поліпшуються умови ремонту і обслуговування, але збільшується площа лінії.

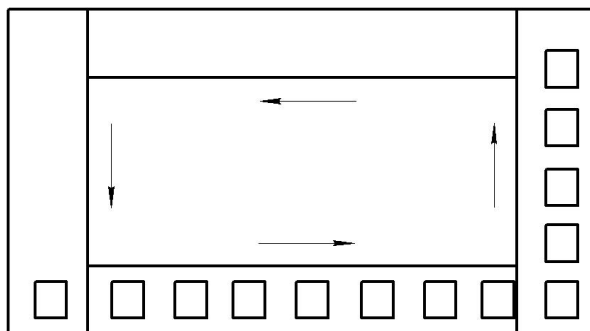


Рисунок 1.12 – Транспортер в одній площині з робочим транспортером

**Недоліки** цих систем: погано обслуговуються і ремонтуються.

### 1.3.2.2 Транспортні засоби автоматичних ліній з гнучким зв'язком

Окрім транспортерів використовують ще такі транспортні пристрої: підіймачі, розподільники, пристрої прийому та подачі заготовок, відповідні транспортні лотки і т. ін.

Підіймачі використовуються для транспортування заготовок на задану висоту, з якої вони під дією ваги скочуються до робочої позиції (рис. 1.13).

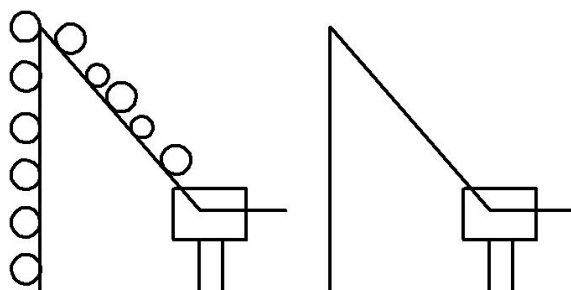


Рисунок 1.13 – Підіймачі для транспортування заготовок на задану висоту

Транспортні розподільники – механізми, які можуть розподіляти потік заготовок на декілька потоків (2–3 гілки). Лоток може роздвоюватись і розтворюватись.

Пристрої підйому та видачі заготовок: відсікачі, лотки.

### 1.3.3 Механізми затискання та фіксації деталей

Окрім силових вузлів та транспортних засобів досить важливими механізмами автоматичних ліній є пристосування для затискання та фіксації деталей. Вибір правильного методу базування деталей та затискання їх з потрібним зусиллям затиску забезпечують точність обробки та надійність роботи лінії. Застосування швидкодійних затискних

та фіксувальних механізмів дозволяє скоротити допоміжний час та підвищити продуктивність лінії.

Залежно від конструкції деталі, яка обробляється, та способу компонування лінії пристосування поділяють на дві групи: нерухомі (стаціонарні) та рухомі разом з деталлю, тобто пристосування – супутники. У стаціонарних пристосуваннях затискають як деталі, які є нерухомими в процесі їх обробки, так і деталі, які отримують при обробці поступальний або обертальний рух. Стаціонарні пристосування використовують на одному з верстатів лінії і зазвичай для нього проектують. Ці пристосування на двох сусідніх верстатах лінії можуть мати конструктивні відмінності. Пристосування-супутники використовують на всіх позиціях автоматичної лінії або ділянки лінії, конструкції їх строго однакові.

Для корпусних деталей як базові поверхні вважають площину та два отвори. Деталі затискають зверху, в деяких випадках підтискають знизу.

Верхнє розташування затискного пристрою дещо спрощує конструкцію пристосування, його обслуговування. Однак підтискання деталі до планок, по яких вона ковзає під час переміщення від позиції до позиції і які зношуються внаслідок цього, приводить з часом до поступового опускання деталі та порушення точності обробки. Крім того, потрапляння стружки на напрямні може призвести до деформації за недостатньої її жорсткості. Цих недоліків не має схема базування деталі, при якій затискання її здійснюється з підтисканням до верхньої площини. Тут поверхні, до яких підтискаються деталі або супутник, завжди залишаються чистими, зношення їх практично відсутнє, а навантаження від затискних зусиль не деформують деталь.

У стаціонарних пристосуваннях як фіксація, так і затискання у більшості випадків здійснюється від гідравлічних або пневматичних механізмів, що забезпечує постійність сили затискання незалежно від коливання припусків на обробку. При цьому на кожному верстаті на початку кожного циклу здійснюється фіксація та затискання наступної деталі. У пристосуваннях-супутниках деталі затискають один раз, зазвичай це виконують за допомогою механічних систем, зусилля затискання створюють електромеханічним ключем.

## **1.4 Допоміжні механізми АЛ**

### **1.4.1 Агрегати накопичення та видавання деталей**

Порівнюючи процес механічної обробки деталей на звичайних поточних лініях і на автоматичних лініях з жорстким транспортним зв'язком, потрібно відмітити суттєвий недолік останніх – при вимушеній зупинці одного верстата простоює уся лінія. Для зменшення витрат робочого часу, пов'язаного з налагодженням окремих верстатів автоматичної лінії, її розділяють на окремі ділянки, кожна з яких при зупинці інших може працювати самостійно.



Щоб кожна ділянка лінії могла працювати незалежно від інших, перед початком кожної з ділянок створюють **міжопераційні запаси деталей**. Таким чином, при зупинці будь-якої ділянки лінії всі інші будуть працювати, отримуючи деталі з міжопераційних запасів. Для прийому, зберігання та видавання деталей з міжопераційних запасів на лініях застосовують спеціальні автоматичні накопичувачі магазинного, штабельного та бункерного типів. Ці накопичувачі порівняно із звичайними автоматичними завантажувальними пристосуваннями мають значно більші розміри для накопичування потрібного міжопераційного запасу деталей, які обробляються на автоматичних лініях. При створенні міжопераційних запасів з крупних деталей (блоки моторів) замість автоматичних накопичувачів застосовують майданчики-склади, які обслуговують робітники-оператори.

**За призначенням** автоматичні пристрої для приймання, зберігання та видавання деталей, які встановлюються між ділянками автоматичних ліній, поділяють на **автоматичні бункери та автоматичні магазини**.

В автоматичних бункерах деталі знаходяться у хаотичному стані (навалом), але видаються на автоматичну лінію у орієнтованому положенні.

В автоматичних магазинах деталі надходять, зберігаються та видаються на лінію у орієнтованому положенні.

**За видом роботи** бункерні та магазинні автоматичні пристрої, які встановлені між ділянками автоматичної лінії, поділяють на **транзитні та складські**.

В транзитних накопичувачах для видавання з накопичувача однієї деталі необхідно переміщувати весь запас деталей, які знаходяться в ньому.

В складських автоматичних пристроях за безперебійної роботи двох суміжних ділянок лінії потік деталей надходить з попередньої на наступну, минаючи накопичувач. Накопичувач починає працювати тільки у випадку зупинки попередньої ділянки лінії.

Автоматичні бункерні та магазинні пристрої для зберігання запасу деталей **складаються** з ємності для зберігання деталей, механізмів приймання та видавання деталей у орієнтованому положенні, транспортних пристроїв, приводів та з'єднувальних деталей.

Розглянемо **транзитний накопичувач** (рис. 1.14), через який деталі, що обробляються на агрегатах автоматичної лінії, проходять при нормальній роботі лінії та зупинці однієї з ділянок лінії. Транзитний накопичувач 1 є транспортером, який безперервно рухається та переміщує деталі до того моменту, коли вони підйдуть до відсікача або до раніше пересунутих деталей.

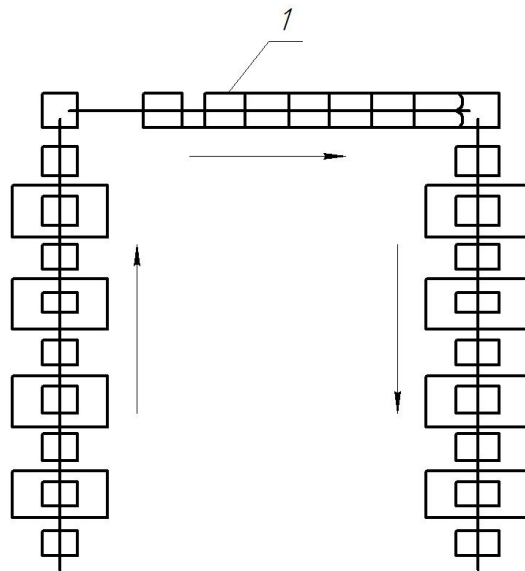


Рисунок 1.14 – Схема транзитного накопичувача для зберігання штучних деталей

Другий варіант накопичувача (рис. 1.15) – кроковий транспортер 5, який є накопичувачем для зберігання міжопераційного запасу. Транспортер-накопичувач 5, як показано стрілками, може працювати в двох напрямках. При зупинці другої ділянки лінії деталі, які оброблялися на першій ділянці, транспортером 2 пересуваються на позицію 3, з якої вони надходять на транспортер-накопичувач 5. При зупинці першої ділянки лінії деталі з транспортера-накопичувача 5 подаються на позицію 3, а звідти транспортером 4 – для обробки на другу ділянку лінії. При нормальній роботі першої та другої ділянок лінії оброблювані деталі транспортером 2 першої ділянки передаються на транспортер 4 другої ділянки без заходу до накопичувача 5. Накопичувач 5 називається **тупиковим накопичувачем**.

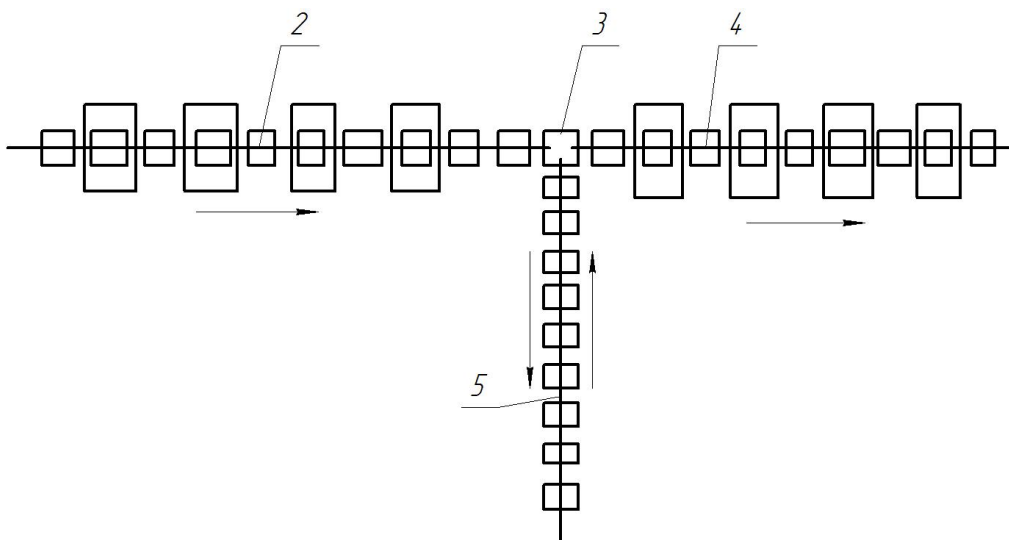


Рисунок 1.15 – Схема тупикового накопичувача для зберігання штучних деталей

**Переваги** тупикового накопичувача в порівнянні з транзитним:

- можливість накопичення більшого міжопераційного запасу;
- зменшення простоювань лінії з причини відмов в роботі самого накопичувача, тому що він включається у роботу тільки у випадку зупинки однієї з двох ділянок лінії.

**Недоліки:** можливість тривалого знаходження деталей в накопичувачі.

Тупикові та транзитні накопичувачі застосовують на багатьох автоматичних лініях з метою зменшення втрат при простої однієї з ділянок лінії. Здебільшого накопичувачі застосовують на автоматичних лініях, де деталі, які підлягають обробці, встановлюються не в пристосуваннях-супутниках, а у стаціонарних пристосуваннях на верстатах лінії. Автоматичні лінії, на яких деталі встановлюються у пристосуваннях-супутниках, теж можуть мати накопичувачі для зберігання запасів.

Вид накопичувача вибирають залежно від габаритних розмірів, форми деталей та кількості деталей, які одночасно мають знаходитися у накопичувачі для створення міжопераційного запасу. Міжопераційні запаси, які знаходяться у накопичувальних пристроях, по-різному впливають на зниження вимушених простоїв окремих ділянок лінії, причому ступінь цього впливу залежить від місця встановлення накопичувачів на лінії. Для кожної конкретної лінії є такий варіант розподілу її на окремі ділянки, при якому можна найкращим чином розмістити між ними накопичувальні пристрої для зберігання міжопераційних запасів деталей. Основними критеріями оцінювання доцільного поділу лінії на окремі ділянки є однакові кількісні показники їх роботи, кількість відмов в роботі різних пристроїв лінії та тривалість налагодження агрегатів окремих ділянок лінії. Практично лінію поділяють на окремі ділянки залежно від прийнятого для неї варіанта технологічного процесу обробки деталей. Зазвичай **лінії поділяють на ділянки в тих місцях, де потрібно змінювати положення деталі перед наступною обробкою або де закінчуються технологічні операції одного і починаються операції другого виду.**

#### **1.4.2 Механізми зміни положення деталей**

В автоматичних лініях із складними структурними схемами, а також у прямоточних лініях, призначених для обробки деталей з різних боків, широко застосовують різні механізми для зміни положення деталей. До них відносяться кантувачі, призначені для повороту транспортованих деталей навколо горизонтальної осі, та різні пристрої для повороту деталей навколо вертикальної осі. Ряд таких механізмів нормалізований та виготовляють їх як самодійні вузли для вбудовування в автоматичні лінії.

### 1.4.3 Пристрої для відведення стружки

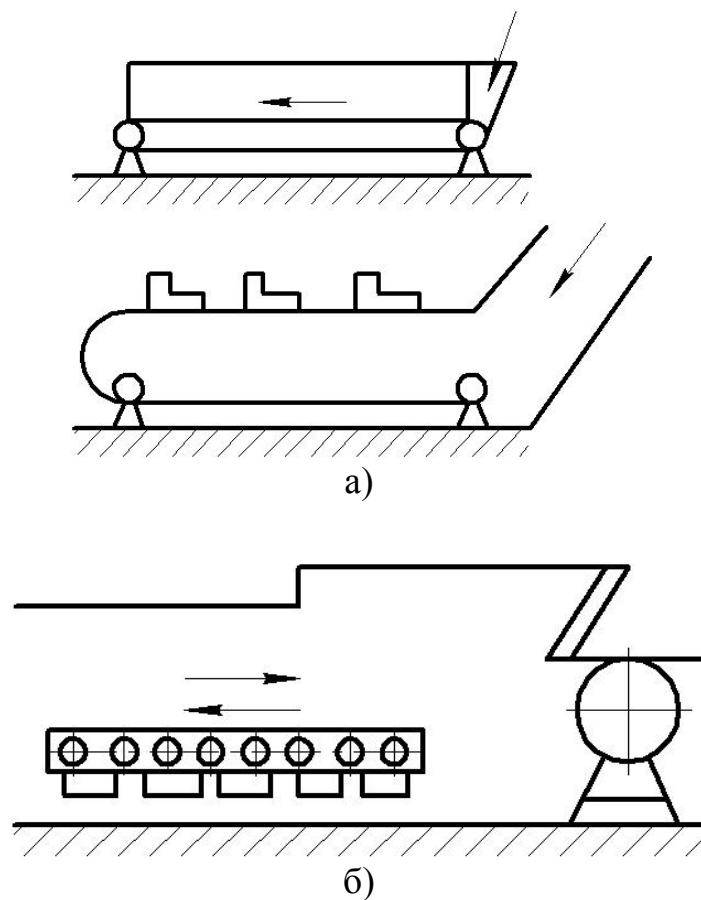
Видалення стружки є одним з найважливіших питань при проектуванні автоматичних ліній. Треба прагнути до зменшення стружки за рахунок раціонального вибору вихідних заготовок, якомога більше дробити стружку. Комплекс питань видалення стружки:

- відведення стружки з зони обробки;
- усунення її з базових поверхонь і затискних елементів;
- транспортування стружки по цеху;
- очищення ЗОР від дрібної стружки та шлаку.

Відведення стружки з робочої зони здійснюється простими методами:

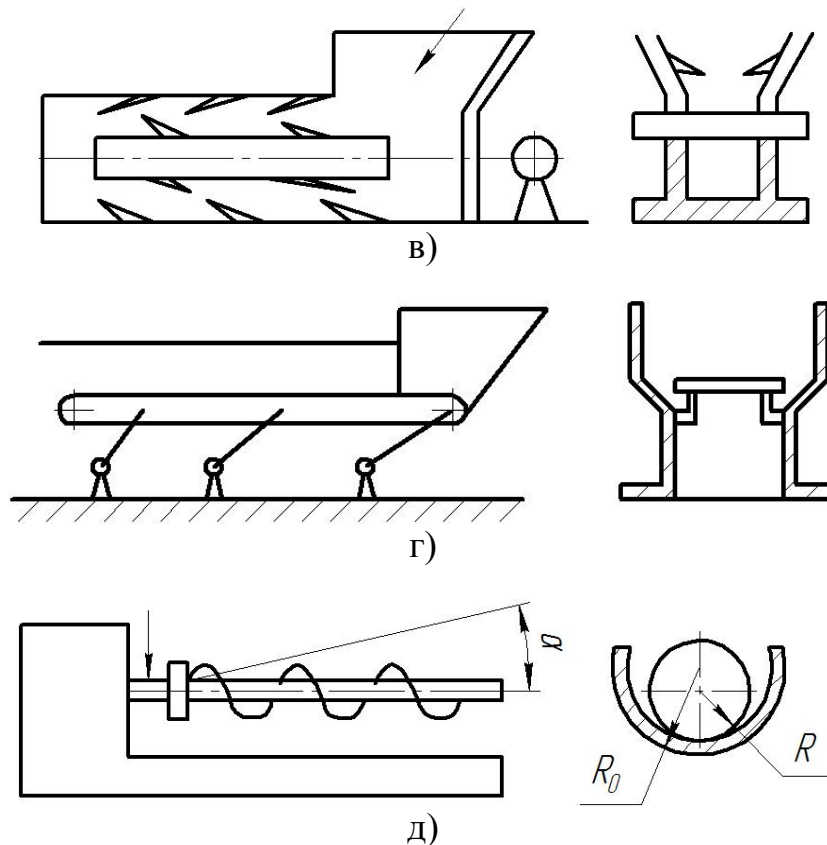
- механічним способом за допомогою щіток, скребачок;
- гравітаційним способом. Стружка падає під дією ваги під верстат або біля нього в спеціальну тару;
- змиванням стружки напором емульсії;
- видалення змиванням або водометом;
- видалення за допомогою електромагніту.

Для видалення стружки від верстата можна використовувати різні транспортні засоби. Найпоширенішими є транспортери, які вбудовуються в верстат. Приклади конвеєрів наведені на рисунку 1.16.



а) – стрічковий; б) – скребачковий;

Рисунок 1.16 – Конвеєри видалення стружки



в) – йоршиковий; г) – вібраційний; д) – шнековий

Рисунок 1.16, аркуш 2

**Стрічкові конвеєри** мають високу продуктивність і можуть транспортувати на відстань. Прості за конструкцією, економічні в роботі.

Недолік: швидке спрацювання стрічки; частини стружки виносяться холостою гілкою під раму.

Переваги **скребачкових конвеєрів**: можливість транспортування стружки під кутом і довговічність скребачок.

Недоліки: невелика продуктивність, великі витрати енергії, невеликі відстані переміщень.

**Йоршикові** транспортери найбільш ефективні при транспортуванні крученої стружки. Привод руху – зворотно-поступальний – це гідравлічна система.

**Вібраційні транспортери** ефективні як при транспортуванні дрібної стружки, так і при транспортуванні крученої.

**Шнекові** – надійно, ефективно працюють з будь-яким видом стружки. Продуктивність транспортерів для крученої стружки – 1–9 м<sup>3</sup>/год.

Крім механічних транспортерів використовують пневматичні чи гідравлічні транспортери стружки, які можуть бути нагнітальними або всмоктувальними. Нагнітається тиск 0,2–0,4 МПа, при всмоктуванні створюється розрідження 0,5 МПа і стружка всмоктується.

Гідравлічні системи – це емульсія, куди стружка потрапляє і транспортується до кінцевої точки. Далі стружка і емульсія розходяться.

## **1.5 Конструкції АЛ**

### **1.5.1 Автоматичні лінії з агрегатних верстатів**

Автоматичні лінії з агрегатних верстатів найбільш поширені і добре впроваджуються в експлуатацію. Агрегатні верстати – це верстати, що складаються з нормалізованих агрегатів нормалізованих деталей і обмеженого числа спеціалізованих деталей. Часто такі верстати використовуються як напівавтомати, які замінені декількома верстатами в масовому і великосерійному виробництві при обробці корпусних деталей.

### **1.5.2 Автоматичні лінії із спеціальних верстатів**

Автоматичні лінії зі спеціальних верстатів використовуються в масовому виробництві при виготовленні деталей, конструкція яких стабільна протягом тривалого часу. Цим вимогам відповідає підшипникова промисловість. Зміна номенклатури – металобрухт.

### **1.5.3 Автоматичні лінії із спеціалізованих верстатів**

Спеціальні верстати мають ряд недоліків, найсуттєвіший з них той, що зміна об'єкта виробництва призводить до зміни верстатів, тому в цьому випадку використовуються спеціалізовані верстати. Це верстати, призначені для обробки певних груп деталей; вони займають проміжне місце між спеціальними верстатами і універсальними. Ці верстати потребують більш високих технологічних можливостей, оскільки допускається переналагодження на деталі іншого типорозміру. Використовуються в великосерійному і масовому виробництві. Це здебільшого, переважно верстати для обробки тіл обертання, зубошліцевої обробки. Верстати можуть використовуватися при обробці декількох однотипних деталей.

Переналагодження верстатів на виготовлення інших деталей – це заміна інструменту, зміна їхнього положення, режиму обробки, переналагоджування верстатних пристроїв. Якщо лінії такого типу використовувати в масовому виробництві, то їх налагоджують на обробку однієї деталі без переналагодження.

### **1.5.4 Роторні та роторно-конвеєрні АЛ**

Ефективним засобом автоматизації промислового виробництва є автоматичні роторні лінії (АРЛ), в яких обробка виробів здійснюється у процесі їх безперервного руху.

Найпростіша АРЛ (рис. 1.17), як правило, складається з робочого 10 та транспортних 9, 11 роторів, які встановлених на осях і мають спільний привод 19. Робочий ротор виконаний у вигляді трьох барабанів 13, 14, 17, у гніздах яких рівномірно по колу розташовані інструментальні блоки (ІБ) 6, які складаються також, і собі із пристосовань, що базують заготовки, інструмента 2, 7 та виконавчих органів 1, 8. Останні кінематично зв'язані

відповідно копірами 12, 18. Вони є приводами інструментальних блоків. При ввімкненому приводі 19 через систему зубчастих передач передається обертання на робочий та транспортні ротори. В момент руху завантажувального пристрою 4 захоплювачем 5 транспортного ротора 9 заготовка 3 при обертанні передається до ІБ 6 робочого ротора. Технологічна дія на оброблювану заготовку здійснюється пуансоном 7 та матрицею 2, які пересуваються виконавчими органами 1, 8 при обкатці останніх по нерухомих копірах 12, 18. Виготовлена деталь 16 спрямовується до транспортного ротора 11 і подається у пристрій вивантаження 15.

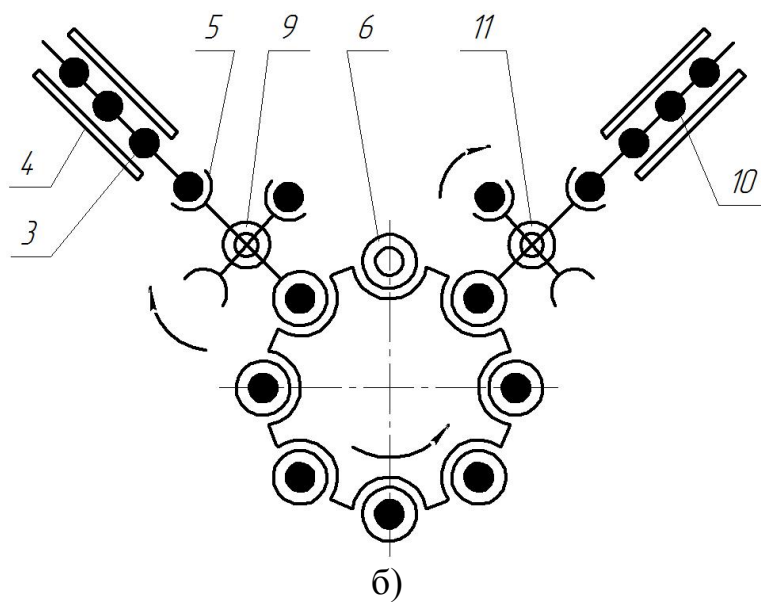
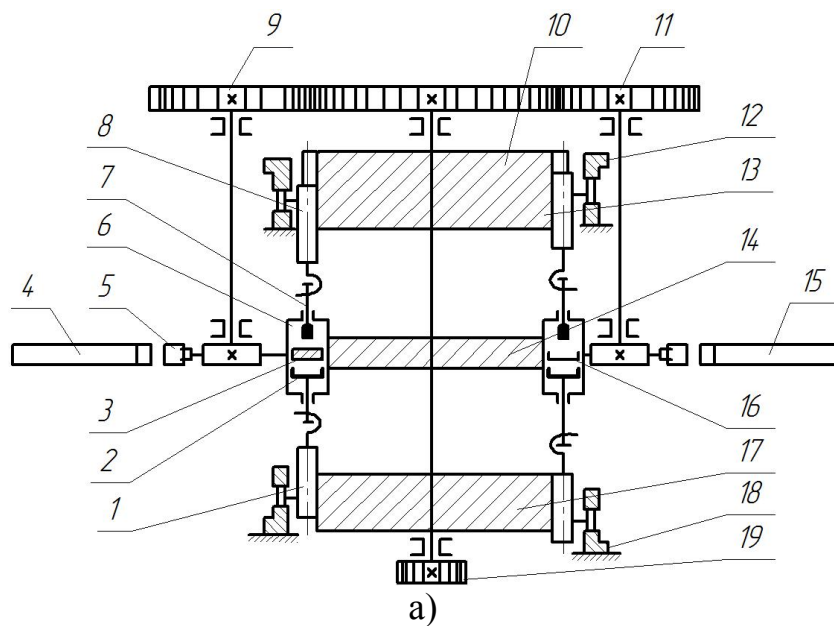


Рисунок 1.17 – Конструктивна (а) та кінематична (б) схеми роторної машини

Нині існують різноманітні конструкції АРЛ, їх **систематизують за такими ознаками**: вид основної технологічної дії (інструментальна обробка, обробка середовищем та комбінована обробка); технологічне призначення (токарні, термічні, складальні, контрольні і т. ін.); кількість ярусів (одно- або багатоярусні, останні застосовуються, як правило, для збільшення тривалості обробки і складаються із комплекту дисків, розташованих на валу ротора); кількість потоків, які надходять до роторної машини (РМ) за одиницю часу (одно- та багатопотокові, розрізняють РМ з однаковим та з різною кількістю входів та виходів); кількість деталей, які обробляються одним інструментальним блоком ІБ (одно- та багатомісні, які характеризуються послідовним рядом поперемінних ІБ для обробки технологічно подібних деталей).

Розглянемо структурну схему АРЛ (рис. 1.18).

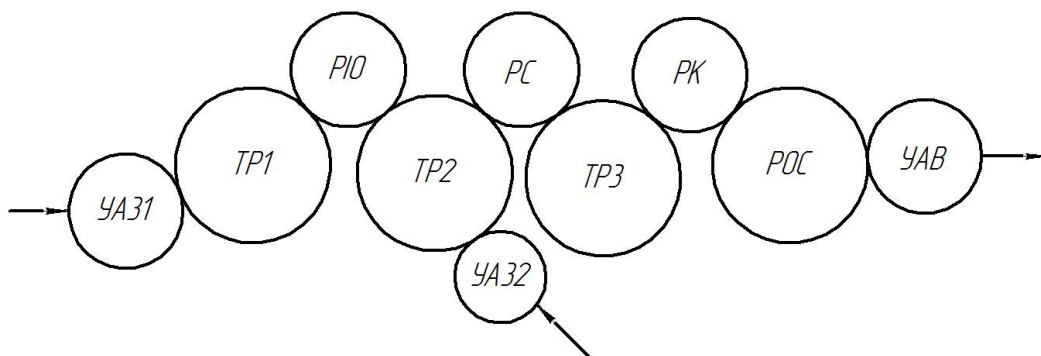


Рисунок 1.18 – Структурна схема АРЛ

АРЛ має ротор інструментальної обробки РІО, складальний ротор РС, ротор контролю РК, ротор обробки середовищем РОС. Передавання виробів між технологічними роторами здійснюють три транспортних ротори ТР. Завантаження лінії здійснюється двома пристроями автоматичного завантаження ПАЗ, розвантаження виконується пристроями автоматичного розвантаження ПАР.

До недоліків АРЛ, які заважають поширенню їх у широко-номенклатурних виробництвах, можна віднести таке: живлення роторів та міжопераційне передавання передбачені тільки для предметів, які мають форму тіл обертання, для предметів довільної форми це складно, тому що необхідним є сумісне транспортування виробу та інструмента на ділянці передавання у попередньо зорієнтованому положенні; для виконання тривалих операцій потрібне збільшення діаметральних розмірів ротора, що технічно важко, а інколи економічно недоцільно; автоматична зміна інструмента утруднена, а зупинка для переналагодження АРЛ знижує її продуктивність; велика крокова відстань між позиціями, яка визначається не розмірами оброблюваних виробів, а габаритами виконавчих органів, зменшує щільність потоку; обмежена можливість обробки широкої номенклатури виробів, тому що АРЛ можуть бути оснащені на кожній



позиції інструментом для обробки певних видів виробів, необхідність застосування великої кількості інструментів пов'язана зі збільшенням габаритів та ускладненням конструкції АРЛ.

Сукупність роторних машин, встановлених у строгій послідовності та з'єднаних між собою міжопераційними транспортними пристроями з єдиною системою керування являє собою **автоматичну роторно-конвеєрну лінію (АРКЛ)**. АРКЛ від АРЛ відрізняються тим, що оброблювані вироби розташовуються у базових пристосуваннях, встановлених у гнучких транспортних органах, які обгинають робочі органи. Транспортні органи в цих машинах пересуваються не по круговій траєкторії, а по овальній, зигзагоподібній і т. ін. Завдяки високій продуктивності, мінімальному обсягу незакінченого виробництва, відсутності міжопераційних накопичувачів, конструктивній простоті виконання основних елементів, високій надійності та ряду інших переваг галузь використання АРКЛ постійно розширюється.

Розглянемо структурну схему АРКЛ (рис. 1.19).

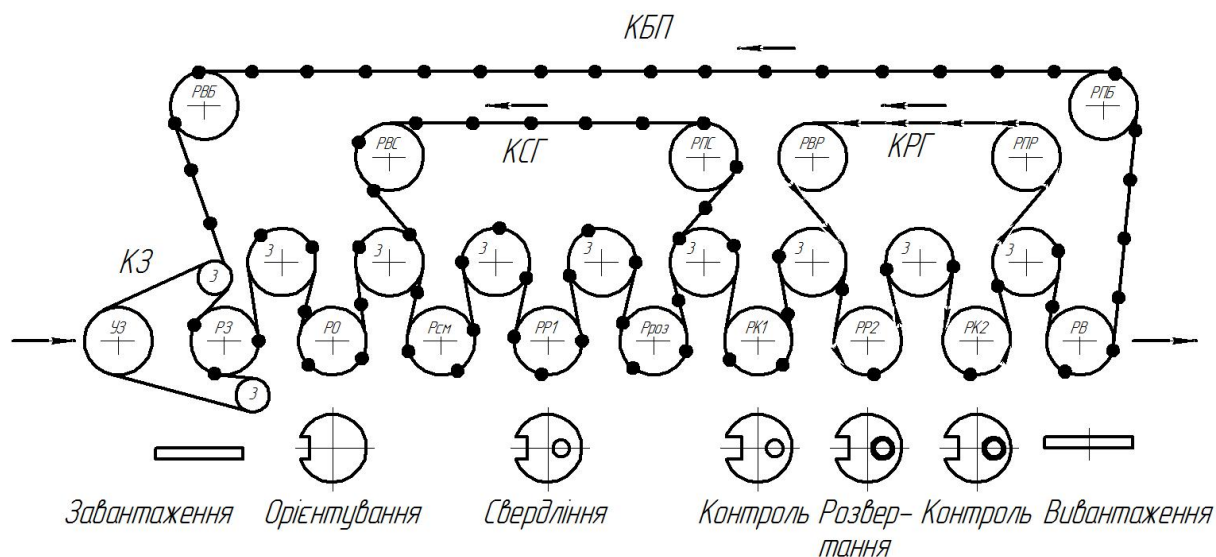


Рисунок 1.19 – Структурна схема АРКЛ

Ця лінія призначена для свердління та розвертання отворів у статорних пластинах. Завантаження пластин до конвеєра КЗ здійснюється пристроєм ПЗ, виконаному у вигляді роторного автомата живлення. Із комірок конвеєра КЗ за допомогою ротора завантаження РЗ заготовки пластин перевантажуються до базувальних пристосувань конвеєра КБП. При проходженні ротора орієнтації РО пластини орієнтуються ним по зовнішньому пазу, тобто займають однозначне кутове положення. У роторі змикання РЗМ відбувається точне встановлення позицій конвеєра КБП відносно інструмента конвеєра свердлильних головок КСГ. В робочому роторі РР1 свердлильні головки входять у зачеплення зі шпинделями і здійснюють свердління отворів. При проходженні ротора розділення РРЗ

конвеєри розчіплюються: КСГ огинає ротори автоматичного приймання РПС та видавання свердел РВС, а КБП огинає контрольний ротор РК1, який визначає наявність та якість отворів у пластині. Процес розвертання отворів та виконання фаски виконується комбінованим інструментом аналогічно свердлінню з тією лише різницею, що конвеєр розвертальних головок КРГ огинає робочий ротор РР2 та контрольний ротор РК1. З причини відносно малого часу виконання операції розвертання у роторі РР2 здійснюються змикання та розмикання конвеєрів КБП та КРГ. Після контролю оброблених пластин та інструменту конвеєр КБП вивантажує пластини за допомогою ротора вивантаження РВ, огинає ротори прийому базових пристосувань РПБ та видавання РВБ, які призначені для зміни базових пристосувань при змінненні номенклатури – типорозміру пластини. Ротори РПС та РВС, які суміщені з цековкою, крім заміни інструмента при заміні виробу, виконують заміну інструмента, який вийшов з ладу, передчасно зносився, за командами з ротора РК.

**АРКЛ в більшості випадків мають дуже високий рівень автоматизації, але низьку гнучкість.**

На АРЛ та АРКЛ у машинобудуванні виконуються такі операції:

- холодне (зокрема листове) штампування;
- гаряче штампування;
- переробка пластмас;
- пресування з металопоорошків;
- токарна обробка (виготовлення деталей типу валів);
- лиття за виплавними моделями, під тиском, у кокіль і т. ін.;
- термічна (відпал, загартовування, сушіння і т. ін.), хімічна (травлення, обезжирювання, фосфатування і т. ін.) обробка;
- нанесення покриття (лакування, фарбування, гальванопокриття, нанесення трафаретів і т. ін.);
- складання та пакування деталей та виробів;
- контроль лінійних розмірів та форми виробів.

Роторний принцип використаний, наприклад, при виготовленні сільфонів та підшипників кочення, при складанні клапанів аерозольних упаковок і т. ін.

### **Питання для самоконтролю**

1. Особливості умов великосерійного та масового типів виробництва з точки зору необхідності автоматизації виробничих процесів.
2. Класифікація автоматичних ліній.
3. Дати характеристику силових механізмів АЛ.
4. Дати загальну характеристику транспортних засобів АЛ.
5. Транспортні засоби АЛ з жорстким зв'язком.
6. Транспортні засоби з гнучким зв'язком.

7. Дати характеристику механізмів затискання та фіксації, які використовуються на АЛ.
8. Дати характеристику агрегатів накопичення та видавання деталей на АЛ.
9. Дати характеристику механізмів зміни положення деталей на АЛ.
10. Дати характеристику пристроїв для відведення стружки на АЛ.
11. Що таке автоматична роторна лінія (АРЛ)? Склад найпростішої АРЛ.
12. Класифікація АРЛ.
13. Структурна схема АРЛ.
14. Недоліки АРЛ.
15. Що таке автоматична роторно-конвеєрна лінія (АРКЛ)? Чим вона принципово відрізняється від АРЛ?
16. Структурна схема АРКЛ.
17. Операції, на яких використовуються АРЛ та АРКЛ.

## 2 ЗАСОБИ ТА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РОЗМІРІВ ТА ОСНОВНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ

### 2.1 Значення автоматичного контролю у сучасних виробничих процесах машинобудівної галузі промисловості

Швидкий розвиток машинобудівної промисловості та зростаючі вимоги до точності, якості, геометричної форми й чистоти спряжених поверхонь деталей, ставлять задачу широкого запровадження автоматизації контролю деталей. Незважаючи на значний прогрес та розвиток машинобудування, організація контролю продукції на підприємствах все ж пов'язана з великими витратами ручної праці. В середньому по машинобудуванню кількість контролерів по всіх країнах СНД становить приблизно 20% від загальної кількості зайнятих у виробництві робітників. Однак такий багатокількісний та дороговартісний апарат технічного контролю не забезпечує потрібної якості продукції. Тому автоматизація контролю є однією з найбільш важливих задач, які висувуються перед машинобудуванням. Впровадження активного контролю деталей на машзаводах приводить до підвищення якості виготовлюваних деталей машин, автоматизації технологічних процесів, зменшення трудомісткості та вартості виготовлення деталей, зниження втрат від браку та скорочення кількості контролерів.

Таким чином, підвищення продуктивності праці пов'язано із запровадженням автоматичного контролю на машинобудівних заводах. Застосування активного контролю деталей, які обробляються на верстатах, забезпечує підвищення точності заданих розмірів шляхом компенсації похибок, викликаних пружними деформаціями технологічної системи ВПД та зношенням різального інструмента. Складові системи ВПД і викликають розсіювання розмірів деталей, які обробляються на металорізальних верстатах. Похибки обробки деталей, які залежать від пружних деформацій технологічної системи ВПД, важко компенсувати попереднім налагодженням верстата, тому що ці похибки є випадковими.

### 2.2 Основні відомості про автоматичний контроль

У машинобудуванні застосовують два **методи** контролю деталей:

- 1) технологічний – **активний**;
- 2) післяопераційний – **пасивний** контроль.

**Активний контроль** – контроль деталей виконується в процесі їх обробки на верстаті спеціальними вимірювальними пристроями (контроль, який керує технологічним процесом обробки деталей).

**Пасивний контроль** – контроль деталей виконується після їх обробки на верстаті шляхом розбраковки або сортування по групах за допомогою контрольних та сортувальних напівавтоматів та автоматів (післяопераційний контроль).

**Залежно від призначення засоби активного контролю** поділяють на чотири групи:

- 1) пристрої, які контролюють деталі безпосередньо в процесі їх обробки на верстаті;
- 2) підналадчики;
- 3) блокувальні пристрої;
- 4) пристрої, які контролюють деталі перед обробкою на верстаті.

До **першої групи** відносяться прилади, які контролюють розміри деталей та положення різальної кромки інструмента безпосередньо в процесі обробки деталі і через коло зворотного зв'язку подають команду на припинення обробки за досягнення заданих розмірів деталей.

До **другої групи** відносяться **підналадчики** – це вимірювальні прилади, які через коло зворотного зв'язку здійснюють підналадку верстата або вимірювального пристрою, який керує роботою верстата, якщо величина контрольованого розміру виходить за припустимі межі. Підналадчики не визначають дійсні розміри деталей, а контролюють розміри деталей в межах заданого допуску на обробку.

До **третьої групи** відносяться **блокувальні пристрої** – вони є найпростішою формою активного контролю. Блокувальні пристрої контролюють деталі безпосередньо після їх обробки на верстаті. Якщо розміри деталей виходять за задані межі, то блокувальний пристрій подає команду на припинення обробки деталей на верстаті. Блокування може здійснюватися і в процесі обробки деталей, наприклад, зупинка верстата при перевищенні припустимих значень сил або потужності різання. Захисно-блокувальні пристрої застосовують на шліфувальних, токарних, свердлильних верстатах і на автоматичних лініях.

**За ступенем автоматизації автоматизовані вимірювальні пристрої для післяопераційного контролю** поділяють на три групи:

- 1) вимірювальні пристрої з автоматичним сигналом;
- 2) напівавтоматичні вимірювальні пристрої;
- 3) автоматичні вимірювальні пристрої.

При контролі деталей вимірювальним **пристроєм з автоматичним сигналом** (світловим або звуковим) сигнал подається, коли контрольований розмір знаходиться в межах допуску.

**Контрольний напівавтомат** контролює деталі автоматично, але встановлення та зняття деталі на позицію напівавтомата здійснюється вручну.

У контрольному автоматі контроль, встановлення та зняття деталі автоматизовані.

**Вимірювальні пристрої** для післяопераційного автоматичного контролю розбраковують або сортують оброблені деталі по групах та розмірах.

### **2.3 Вимірювальні прилади для здійснення активного контролю**

Сучасні вимірювальні прилади для активного контролю переважно застосовуються для контролю одного розміру і рідше – декількох розмірів деталі.

Ці прилади використовують для автоматичного контролю розмірів деталей із **суцільними та переривчастими поверхнями** (рис. 2.1).

Застосування тих чи інших засобів автоматичного контролю залежить переважно від таких основних факторів:

- 1) точності деталей, які вимірюються;
- 2) їх форми та розмірів;
- 3) кількості параметрів, які контролюються;
- 4) потрібної продуктивності;
- 5) економічності.

Оскільки кожний метод вимірювання супроводжується власними похибками, при виборі вимірювальних засобів користуються співвідношенням між величиною допуску на виготовлення деталі та похибкою методу вимірювання. Рекомендується допускати похибку методу вимірювання не більше  $1/10 - 1/15$  частини допуску розміру контрольованої деталі. В деяких випадках це співвідношення можна збільшити до  $1/3$ .

Як відомо, вимірювальні прилади, зокрема вимірювальні контрольні пристрої, поділяються на пристрої, основані на:

- 1) прямому методі вимірювання;
- 2) непрямому;
- 3) комбінованому.

При **прямому методі** вимірювання наконечник контрольного пристрою весь час знаходиться в контакті з поверхнею контрольованої деталі та безпосередньо контролюється її розмір. За досягнення заданого розміру контрольний пристрій автоматично подає сигнал про закінчення обробки або необхідності зміни її режиму.

Контрольні пристрої, які основані на **непрямому методі** вимірювання, не мають безпосереднього дотикання з поверхнею деталі, тому що закінчення процесу обробки визначається тут не моментом досягнення деталлю заданого розміру, а величиною переміщення робочого органу верстата, який несе різальний інструмент.

При **комбінованому методі** вимірювання контролюється одночасно положення різального інструменту та розмір оброблюваної поверхні.

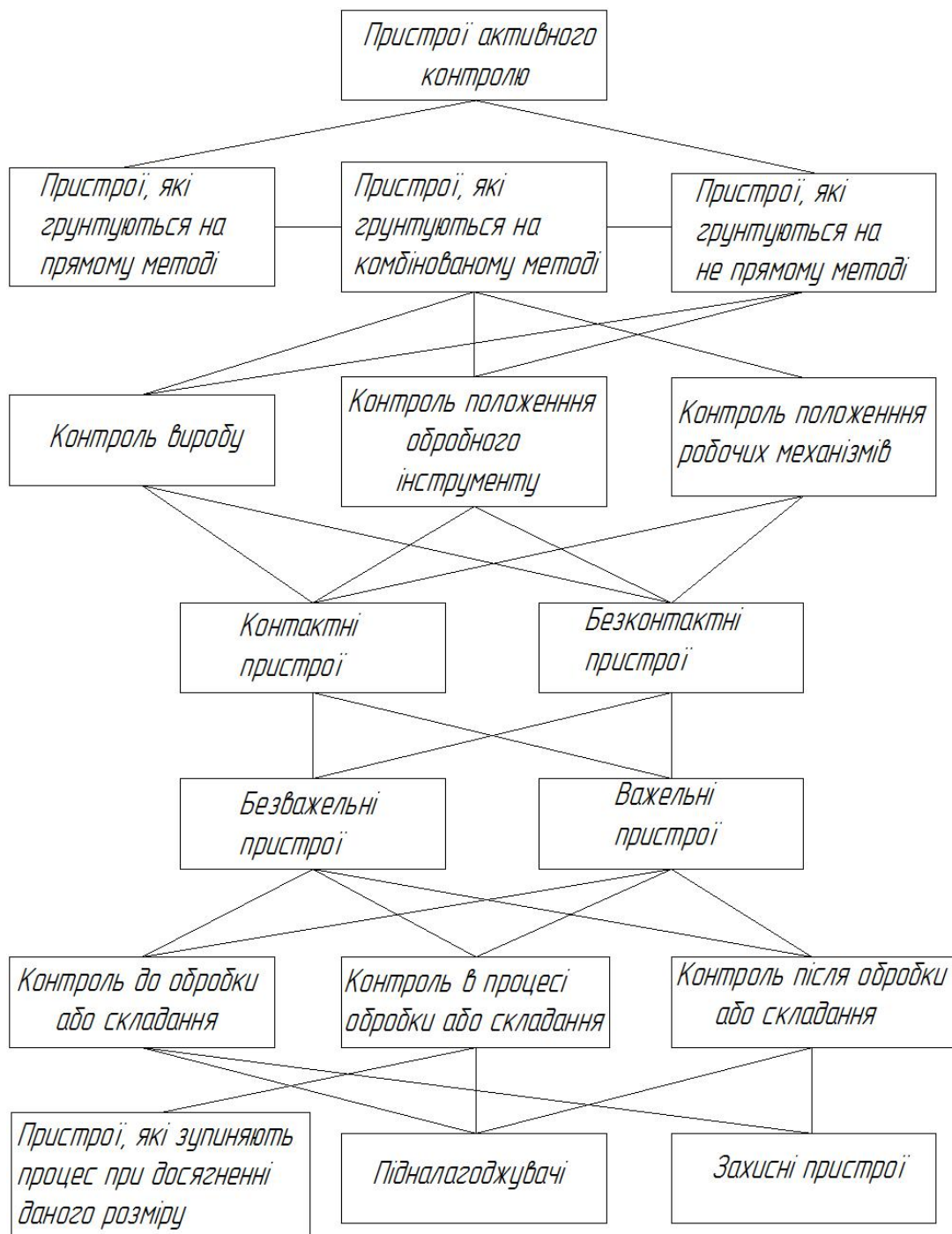


Рисунок 2.1 – Класифікація пристроїв активного контролю

Особливі умови роботи засобів активного контролю, які пов'язані з вібраціями верстатів та контрольованих деталей, наявністю охолоджувальної рідини, абразивного пилю, стружки як у навколишньому середовищі, так і на контрольованій поверхні; із силовими та температурними деформаціями розмірних технологічних та метрологічних ланцюгів, висувають такі вимоги до конструкцій цих засобів:

- 1) стійкість проти вологи, абразивного пилю, стружки;
- 2) вібростійкість – забезпечення високої точності в умовах вібрацій;
- 3) надійність роботи в заданих межах точності;

4) максимальне виключення у вимірювальному засобі впливу силових та температурних деформацій розмірного технологічного ланцюга на результати контролю;

5) видавання певної кількості команд верстату.

За своїм призначенням датчики, які використовуються в технологічних агрегатах (верстатах), **поділяють на шляхові, розмірні, силові, швидкісні** та інші, а за характером сигналів, які створюють, – на **механічні, електричні, фотоелектричні, пневматичні та гідравлічні**.

Вимірювальні контактні прилади для прямих вимірювань поділяються на:

1) прилади, які контактують з вимірюваною поверхнею деталі у одній точці при вимірюванні внутрішнього та зовнішнього діаметрів (рис. 2.2).

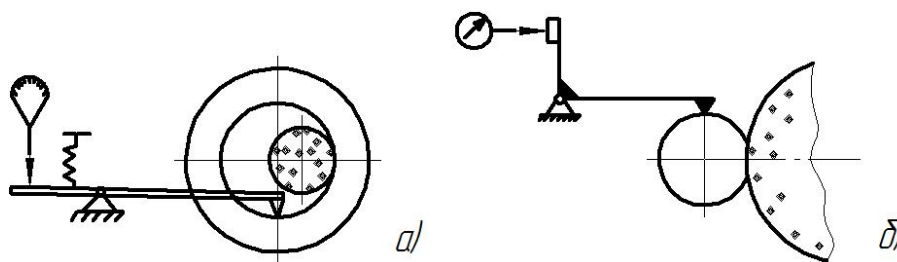


Рисунок 2.2 – Приклади вимірювань внутрішнього (а) та зовнішнього (б) діаметрів деталей

Переважно одноконтактні вимірювальні прилади застосовують для активного контролю при плоскому та безцентровому шліфуванні деталей, рідше – при зовнішньому та внутрішньому шліфуванні.

2) прилади, які контактують з вимірюваною поверхнею деталі у двох точках. Двоконтактні вимірювальні прилади застосовують для активного контролю деталей на круглошліфувальних верстатах, внутрішньошліфувальних, хонінгувальних та інших верстатах (рис. 2.3).

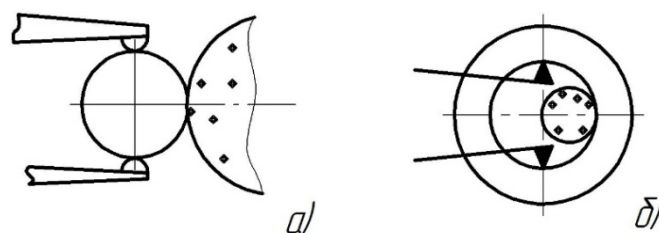


Рисунок 2.3 – Двоконтактні прилади для вимірювання поверхонь на круглошліфувальних верстатах (а) та внутрішньошліфувальних верстатах (б)

3) прилади, які контактують з вимірюваною поверхнею деталі у трьох точках. Триконтактні прилади застосовують для активного контролю на круглошліфувальних та внутрішньошліфувальних верстатах (рис. 2.4).



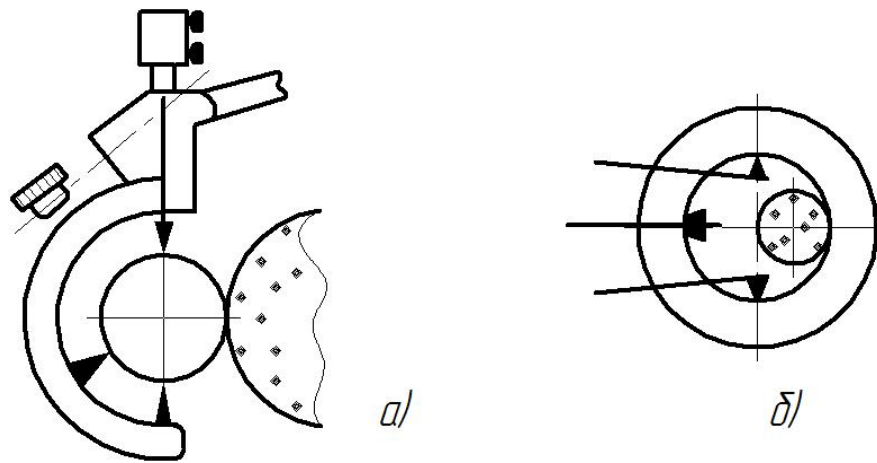


Рисунок 2.4 – Триконтакті прилади для вимірювання поверхонь на круглошліфувальних (а) та внутрішньошліфувальних (б) верстатах

4) прилади, які контактують по циліндричній поверхні, яка вимірюється. Ці вимірювальні прилади застосовуються для активного контролю отворів на внутрішньошліфувальних та хонінгувальних верстатах (рис. 2.5).

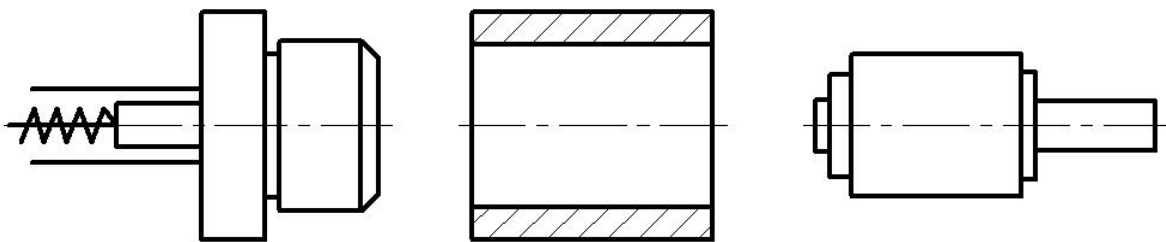


Рисунок 2.5 – Прилади, які контактують по циліндричній поверхні

5) контактні прилади з ковзним контактом. Вони поділяються на:

- **межові** – для контролю розмірів деталей по межових розмірах (в межах допуску);

- **амплітудні** – для контролю похибки форми деталі, взаємного розташування оброблених поверхонь деталі та для контролю розміру, який безперервно змінюється, тобто для контролю різниці між найбільшим та найменшим межовими значеннями розміру, який перевіряється.

У межових приладах зв'язок між вимірювальним штоком та рухомими контактами жорсткий, а у амплітудних – функціональний, який виконується у вигляді сектора обкочуваного по фрикційній пластині або у вигляді штифта, притиснутого до призми пружиною. При зміні розміру, викликаній відхиленням форми, наприклад, овальності, пересувається вимірювальний шток та фрикційно зв'язані з ним контакти.

Наприклад, при контролі конусності деталі задача звичайно зводиться до визначення різниці діаметрів у двох точках (рис. 2.6).

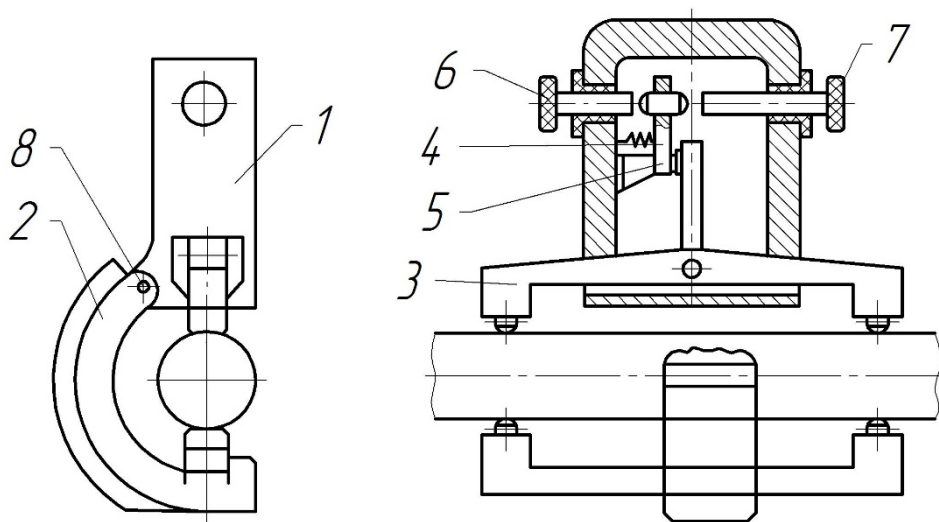


Рисунок 2.6 – Прилад для вимірювання конусності циліндричної поверхні

Виріб встановлюється у скобу 2, закріплену шарнірно у корпусі 1. До деталі у двох точках притиснуте вимірювальне коромисло 3, вертикальний важіль якого здійснює тиск на контактний важіль 4, який обертається навколо осі 5. При повороті важеля його контакти дотикаються до контактних гвинтів 6 та 7. При контролі виробу циліндричної форми контактний важіль стає у нейтральне положення і два контакти розімкнуті, а за наявності конусності повертається і замикає коло. Різниця у діаметрах контрольованих деталей компенсується поворотом скоби 2 навколо осі 8.

Є вимірювальні прилади для безконтактних вимірювань, але вони для активного контролю розмірів деталей застосовуються порівняно рідко.

Вимірювальні прилади для **непрямих вимірювань** поділяють на:

- 1) прилади, які контролюють положення різальних граней різального інструменту відносно оброблюваної поверхні;
- 2) прилади, які контролюють переміщення вузла верстата з різальним інструментом.

## 2.4 Автоматичні підналадчики

В системі з автоматичною підналадкою програма задається та перевіряється за допомогою різних пристроїв, які подають команди до загального пристрою керування. В найпростішому випадку для задання програми застосовують упори, які обмежують подачу виконавчого органу. Інколи носієм програми служить командоапарат – в цьому випадку команда, яка надходить до пристрою керування, попередньо підсилюється.

Після виконання програми оброблена деталь контролюється вимірювальним пристроєм підналадчика. Якщо з верстата сходять деталі з розмірами, які не виходять з поля допуску, контрольний пристрій 2 не подає ніяких команд. Але як тільки з будь-якої причини, наприклад, внаслідок зношення інструмента, розмір деталі наближається до межового

розміру, по колу зворотного зв'язку подається команда на підналадку верстата. Ці команди надходять до пристрою керування, туди ж, куди надходять команди від програмоносія, і керівний пристрій виконує вже скоректовану програму.

Найбільше поширення для автоматизації металорізального обладнання дістали автопідналадчики для шліфувальних верстатів. Як приклад розглянемо релейну систему регулювання діаметра деталі, яка шліфується на безцентрово-шліфувальному верстаті (рис. 2.7). В цій системі діаметр шліфування вимірюється індуктивним диференційним датчиком 1. Цей датчик, на відміну, наприклад, від простого індуктивного датчика, має переваги, тому що останній для вимірювання переміщення в обох напрямках має мати початковий повітряний зазор і початковий струм  $I_0$ . Це створює незручність у вимірюванні і значні похибки від коливань температури і живильної напруги. Диференційний датчик до того ж має вдвічі більшу чутливість.

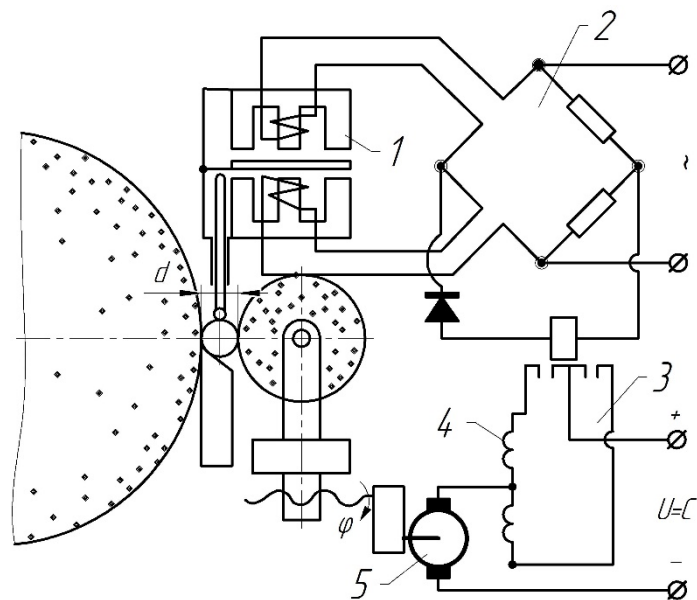


Рисунок 2.7 – Релейна система автоматичної підналадки безцентрово-шліфувального верстата

Котушки датчика ввімкнені у плечі містка 2, який керується поляризованим реле 3. Його середній контакт залежно від знака струму в діагоналі містка 2, тобто залежно від знака відхилення регульованої величини  $d$ , замикається з правим або лівим контактом, вмикаючи струм або в одну, або в іншу обмотку 4 збудження двигуна 5. В результаті цього гвинт отримує обертання або в один, або в інший бік, відповідно рухома бабка з ведучим кругом, переміщується у відповідний бік.

## 2.5 Автоматичні блокувальні пристрої

Блокувальні пристрої на відміну від підналадчиків не виконують автоматичну підналадку, а тільки зупиняють верстат, коли зношення інструмента чи з інших причин розмір деталей виходить за контрольні межі або коли потрібна обробка взагалі не відбулася, що можливо при поломці інструмента.

Одним з прикладів може слугувати конструкція скоби з блокувальним клапаном. Зміна зовнішнього діаметра шліцьового валу в процесі шліфування (рис. 2.8) перетворюється губками 1 та 11, закріпленими на каретках 2, в зміну зазору  $Z$  між соплом 7 та гвинтом-засувкою 10.

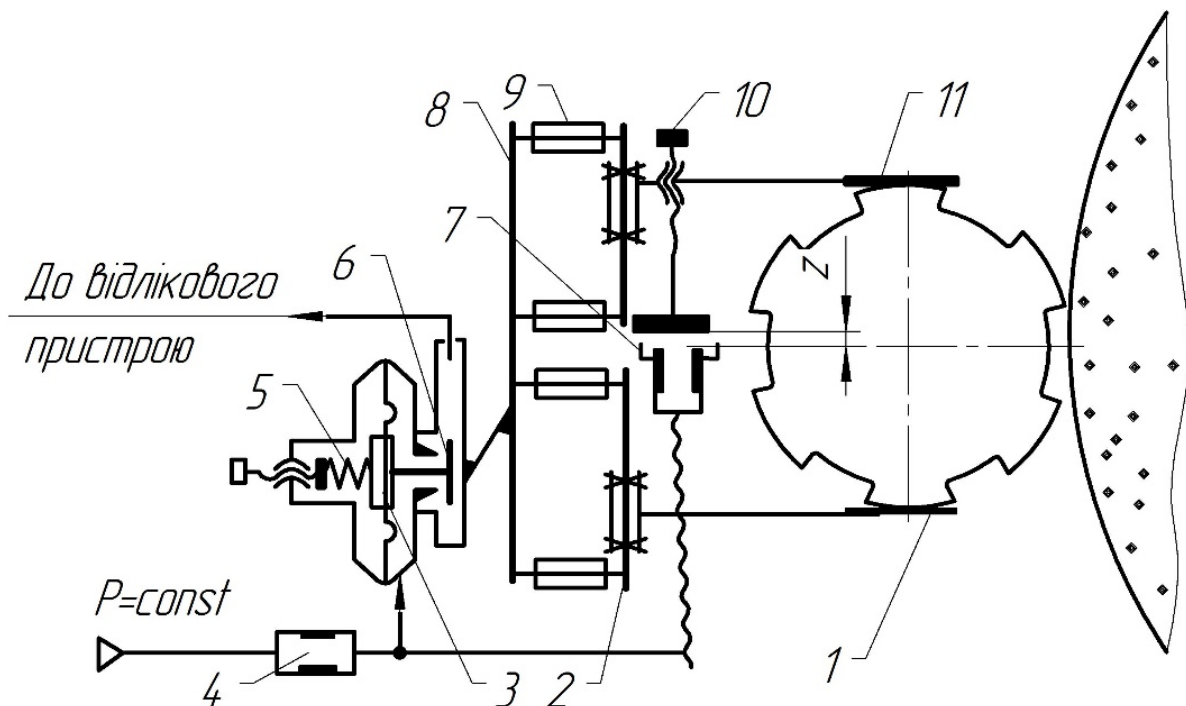


Рисунок 2.8 – Вимірювальний пристрій з блокувальним клапаном

Каретки 2 підвішені до нерухої основи 8 за допомогою плоских пружин 9.

Залежно від зазору  $Z$  у вимірювальній камері (простір між соплом 7 та вхідним соплом 4) встановлюється певний вимірювальний тиск  $P$ , який через канал клапана 6 надходить до відлікового пристрою. Коли контактні поверхні губок стануть над розривами, засувка-гвинт 10 сяде на захисну коронку сопла 7, вимірювальний тиск різко збільшиться, мембрана 3, долаючи зусилля пружин 5, закриє клапан 6. Відліковий пристрій буде ізольований від прийому хибної інформації. Розсіювання розмірів в партії деталей зі шліцьовою поверхнею, оброблених за допомогою цього приладу, становить 6–8 мкм.

## Питання для самоконтролю

1. З якою метою застосовується автоматичний контроль у сучасних виробничих процесах машинобудування?
2. Які методи контролю розмірів застосовуються на виробництві? Охарактеризуйте їх.
3. На які групи поділяються засоби активного контролю залежно від призначення? Дати їх характеристику.
4. На які групи поділяються пристрої для післяопераційного контролю залежно від ступеня автоматизації? Дати їх характеристику.
5. Від яких факторів залежить застосування певних засобів автоматичного контролю?
6. На яких методах вимірювання побудовані контрольні пристрої? Дати їх характеристику.
7. Які вимоги висувають до конструкції засобів активного контролю?
8. Поділення приладів для контактних вимірювань розмірів поверхонь. Розглянути приклади.
9. Приклади контрольних вимірювань.
10. Для чого застосовуються автоматичні підналадчики? Розглянути приклад.
11. Для чого застосовуються блокувальні пристрої? Розглянути приклад.

## **3 КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦІЯ ШИРОКОНОМЕНКЛАТУРНОГО ВИРОБНИЦТВА**

### **3.1 Передумови до створення ГАВ**

В промислово розвинених країнах інтенсивно ведуться роботи зі створення автоматизованих систем в металообробці. Так в Японії, США, Швеції та інших країнах існують тенденції зі створення комплексно-автоматизованих систем верстатів, забезпечення обробки деталей в довільній послідовності при різних за розмірами партіях. Це дозволяє віддавати перевагу тим чи іншим партіям деталей і на цій основі скорочувати обсяг незавершеного виробництва, площі складів та накопичувачів.

Однак при створенні автоматизованих систем верстатів використання нової техніки має оптимально комбінуватися з прогресивною технологією, науковою організацією праці і виробництва, високим рівнем професіональних знань кадрів, належною трудовою та технологічною дисципліною, розвитком бригадних форм організації праці.

**Ріст рентабельності виробництва та скорочення часу виготовлення виробів можливі при таких умовах:**

1. Підвищення рівня технології за рахунок застосування групової обробки та обладнання з ЧПК.

2. Підвищення рівня керування виробництвом за рахунок впровадження обчислюваної техніки для оптимізації завантаження робочих місць, виявлення найбільш актуальних замовлень на зміну.

3. Організація інтегрованих ділянок виробництва з верстатів з ЧПК та ОЦ, оптимізація маршрутів транспорту та системи зберігання деталей в проміжних магазинах (складах).

4. Створення ГАВ, які забезпечують автоматизацію матеріального потоку, керованого центральною ЕОМ.

Наприклад, у Німеччині, після забезпечення двох умов на Ерфуртському машинобудівному комбінаті, час знаходження деталей в цехах скоротився від 75 до 22%. Корисно використовуваний час зріс від 25 до 78%. Цикл виготовлення деталей після виконання перерахованих умов та застосування гнучких автоматичних систем «Призма-2», «Рота-125», «Рота-200» та інші суттєво скоротився.

В серійному виробництві продуктивність праці підвищується за рахунок автоматизації процесів та інтеграції всього виробництва.

В Німеччині та інших промислово розвинених країнах **розрізняють три ступеня автоматизації та інтеграції виробництва в машинобудуванні:**

1. Автоматизація процесу обробки із застосуванням верстатів з ЧПК (програма вводиться вручну).

2. Автоматизація із застосуванням обробних центрів ОЦ з ЧПК (можливе автоматичне завантаження та заміна заготовки при керуванні від ЕОМ).

3. Автоматизація виробництва на основі інтегрованої системи верстатів з ЧПК (ГАВ).

Нині є і інші напрямки – інтеграція робіт на дільниці типових деталей, проектування та створення цехів механічної обробки та складання без працівників.

Матеріали виставок верстатів та індустріальних конференцій показують, що **вирішення науково-технічних задач з метою підвищення продуктивності праці проводиться в таких напрямках:**

1. Виявлення оптимальних технологічних можливостей ОЦ для конкретного виробництва.

2. Створення та впровадження автоматичних пристроїв і магазинів для заміни та збереження деталей.

3. Застосування програмних пристроїв з ЕОМ.

4. Застосування безступінчастих приводів для головного руху та подач металорізальних верстатів.

5. Запровадження діагностичних систем для контролю різних функцій машин, визначення помилок, що виникають, та їх компенсації.

6. Створення економічних стійких рішень для контролю процесу обробки.

В серійному виробництві велика частина операцій механічної обробки виконуються на верстатах з ЧПК. Виробництво та застосування цих верстатів постійно зростає. Багатоопераційні програмні верстати застосовуються з початку 60-х років. Нині у всіх розвинених країнах вони застосовуються все ширше. Більшість цих верстатів мають автоматичну заміну заготовок з додатковим столом для закріплення деталей на супутниках, автоматичної подачі їх в робочу зону та повернення звідти.

Верстати мають від 3 до 5 керованих координат, розміщення шпинделя може бути горизонтальним, вертикальним та під кутом. За точністю та продуктивністю вони відповідають сучасним вимогам.

З причини постійного змінення потреб замовників починають виготовлення верстатів модульної конструкції. Підвищення продуктивності суттєво залежить від скорочення часу на заміну інструмента та заготовок. Час на наступну заготовку знижується до 30 с при її автоматизації та застосуванні пристосувань-супутників.

Це можливо за таких умов:

1) заміна заготовок проводиться поза місцем обробки і суміщена з машинним часом;

2) носій заготовок – супутник (при обробці деталі з 3–4 боків) має бути габаритами близьким до деталі;

3) подача та повернення супутників при з'єднанні верстатів в систему мають виконуватися автоматично;

4) для забезпечення точності обробки (при з'єднанні декількох ОЦ) на місці закріплення заготовок необхідно проводити робочі підсилення затискання для гарантування точності позиціонування на всіх позиціях обробки.

Для суміщення роботи із завантаження супутників з роботою верстата застосовуються допоміжні столи, з яких деталі із супутниками автоматично вводяться в робочу зону ОЦ.

Перерахування тенденцій в розвитку автоматизації допоміжних операцій – транспортування, складування деталей поряд з удосконаленням технологічної підготовки виробництва створюють реальні передумови для перетворення автоматизованих ділянок верстатів з керуванням від єдиної ЕОМ в ділянки гнучкого автоматизованого виробництва.

Таким чином **передумовами створення ГАВ є:**

1. Різде підвищення рівня технологічного проектування (на основі САПР).

2. Створення малоопераційної програмованої технології основних та допоміжних процесів та керування інформацією.

3. Удосконалення розробок з вирішенням широкого кола питань зі стандартизації з метою забезпечення розміщення, з'єднання та надійності функціонування всіх компонентів (модулів ГАВ).

4. Перегляд складу, структури, категорій складності та оцінки праці з тим, щоб праця ІТР в умовах ГАВ стала невід'ємною частиною основного виробничого процесу.

5. Забезпеченість з'єднання та тиражування програм керування, швидкого переналагодження та перепрограмування компонентів ГАВ.

### **3.2 Історія розвитку ГАВ (рис. 3.1–3.2)**

За 1-ою концепцією здебільшого роботи проводилися у США та СРСР, за 2-ою – у Японії, тобто на це виділялося більше капіталовкладень.

З 1980 р. у наукових виданнях та засобах масової інформації за кордоном з'явилися аналітичні статті із висвітленням поразки США в найпрестижнішій для цієї країни галузі – технології виробництва.

2-й етап, 3 концепція – об'єднання двох перших концепцій.

Японія раніше США використала перевагу CAD/CAM, оскільки 90% пристроїв типу САПР було імпортовано в Японію в ті роки із США.

Недоліки CAD/CAM – вони зберігають велику частку ручної праці при управлінні ТП, а тому залишаються досить жорсткими системами, орієнтованими на специфіку того або іншого проекту.



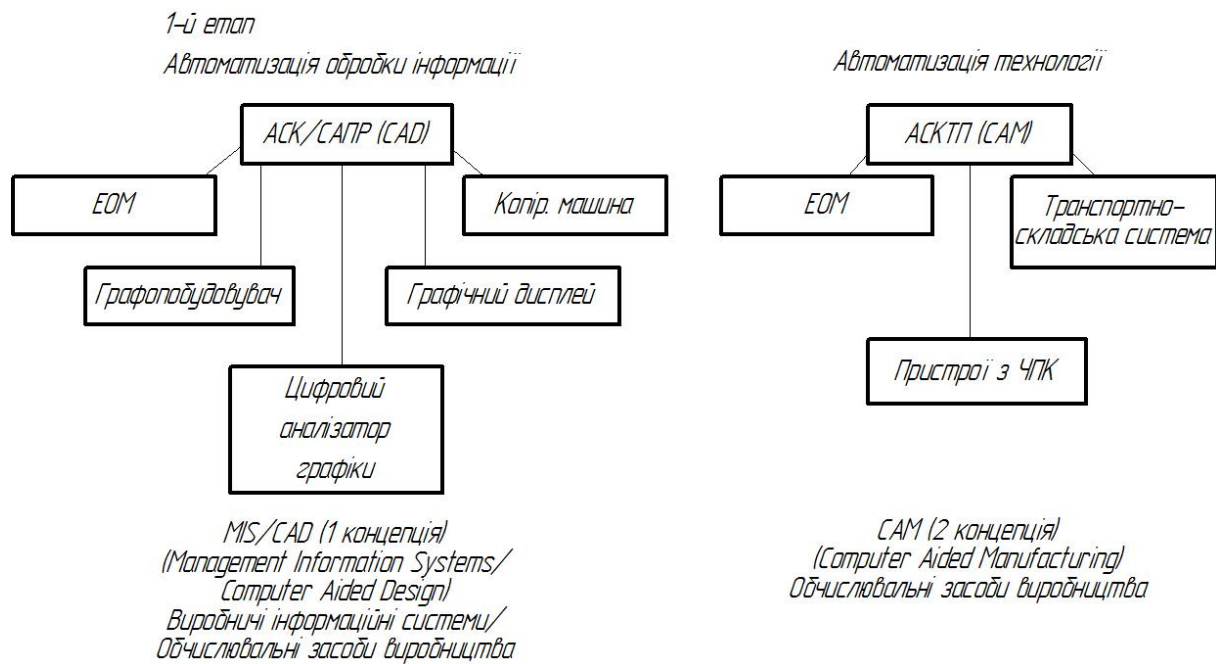


Рисунок 3.1 – Історія розвитку ГАВ (1-ий етап)

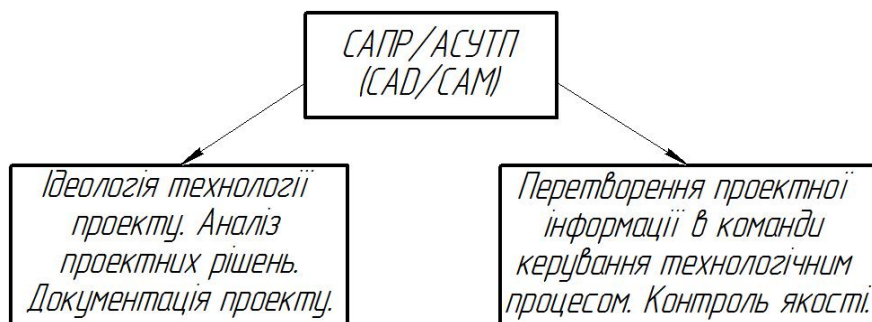


Рисунок 3.2 – Історія розвитку ГАВ (2-ий етап)

#### Особливості CAD/CAM:

- будуються на базі ЕОМ у вигляді апаратних та програмних засобів з метою технічного проектування, графічного подання інформації, машинного аналізу, управління виробництвом;
- дозволяють створювати, відображати, запам'ятовувати усіялку графічну інформацію без застосування ручного креслення, а також маніпулювати ним;
- легко перебудовуються за потреби конкретного користувача завдяки модульному принципу побудови;
- мають багатотермінальний доступ з боку користувача;
- дозволяють автоматично перетворювати графічну інформацію в команди керування засобами виробництва з ЧПК;
- засвоюються з мінімумом зусиль;
- мають одночасний контроль точності, якості та надійності як технологічного обладнання, так і продукції.

4-а концепція  
 FMS (Flexible Manufacturing System)  
 ГВС (CAD/CAM + робототехніка)

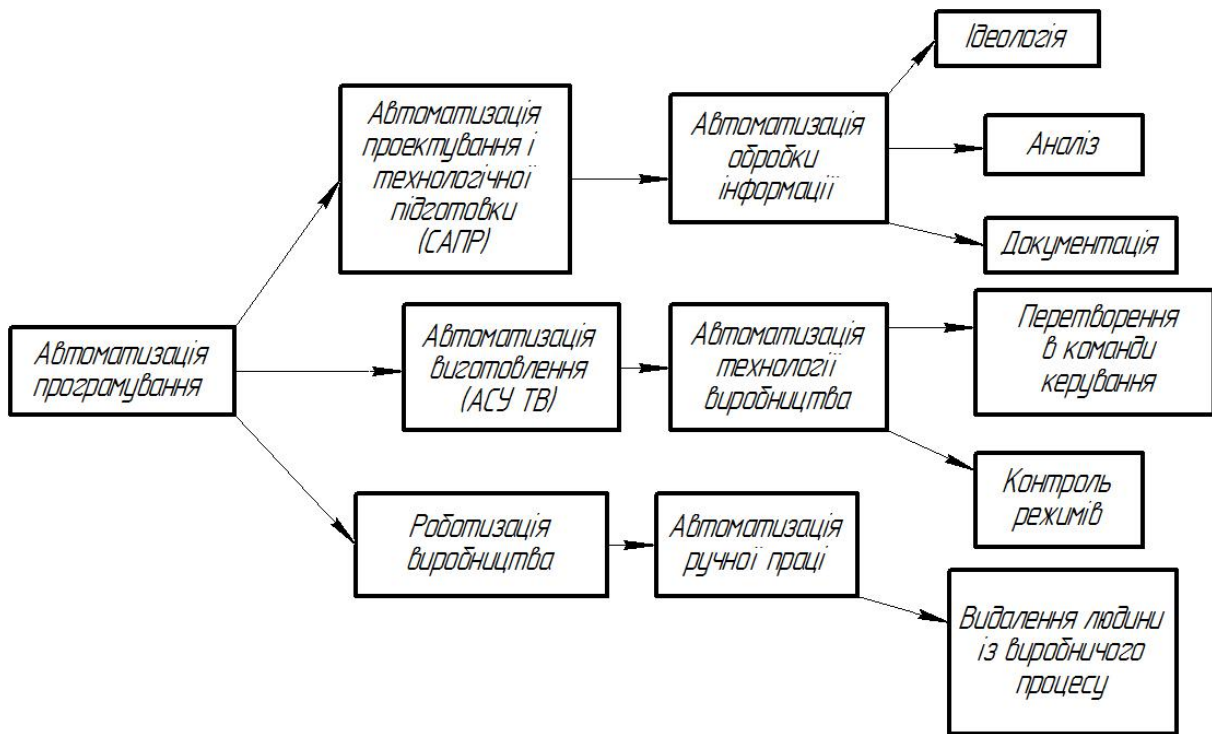


Рисунок 3.3 – Історія розвитку ГВВ

Подібні системи називають по різному:

Японія – гнучка автоматизація, ГВК;

США – ГВС (FMS); СІМ (виробнича система, інтегрована за допомогою EOM); VMS (система зі змінною виробничою задачею); VMM (виробництво зі змінною задачею);

Німеччина – СFF (ГВС); СТАМ (автоматизація виробничої системи, інтегрована за допомогою EOM);

Італія – ГВС;

Франція – гнучкий цех;

Англія – ASP (автоматизація дрібносерійного виробництва).

В СРСР такого роду комплекси було прийнято називати гнучкою автоматизацією виробництва (ГВВ).

Основні елементи ГВВ розробляються вже давно, частинна їх реалізація відноситься до кінця 60-х та початку 70-х років (на рівні розвитку промисловості того часу), однак тільки в листопаді 1978 року в журналі IRON AGE був опублікований перший звіт про працю в цій галузі «Представление обществу гибкости производства». В жовтні 1982 р. на першому міжнародному конгресі в м. Брантон (Англія) йшла мова вже не тільки про створення гнучких комплексів виробництва, а й про їх інтеграцію з системами CAD.

### **3.3 Соціально-технічні та соціально-економічні аспекти гнучкої автоматизації виробництва**

Впровадження та значне поширення нової техніки та технології супроводжується впливом цих процесів на економічні та соціальні аспекти діяльності людини. При цьому разом з позитивними впливами виникають і негативні наслідки, як правило, зменшуючи корисний ефект від впровадженої новизни. На жаль, із зростанням масштабу витрат на нову технологію все менше можливостей залишається для відмови від нововведення у випадку невдалого розвитку ходу подій, тоді компенсувати певною мірою негативний вплив можна тільки ціною нових витрат. Однак, не завжди втрати можна виправити, особливо коли проблеми мають соціальне значення. Тому, будь-які великі виробничо-технологічні проекти потребують ще на початковій стадії розвитку ретельного системного розгляду всіх можливих наслідків.

Для сучасних способів автоматизації промислового виробництва характерним є рівень початкових капіталовкладень. ГАВ не є в цьому розумінні виключенням. Наприклад, в закордонній практиці витрати на проект ГВС для більшої частини розробок мають від 2 млн до 20 млн доларів, цінність більш поширених промислових робіт вимірюються в діапазоні від 40 тис. до 100 тис. доларів. Зрозуміло, що від таких капіталовкладень необхідна відповідна віддача.

Показником є японська фірма «Ямазакі», на якій створили ГВС механічної обробки. В результаті впровадження кількість верстатів зменшилась з 68 до 18, звільнена площа збільшилась в 3 рази, кількість робітників зменшилась з 215 до 12 чол., технологічний час зменшився в середньому з 35 днів до 1,5. Не дивлячись на таке різке покращення показників, через 2 роки із 18 млн доларів затрат окупились тільки 6,9 млн доларів. Це показник того, що поясненням капіталовкладення на створення ГАВ мають бути задуми стратегічного характеру, впливаючі із комплексного аналізу ефективності ГАВ. Тому аналіз економічної ефективності ГАВ є однією з центральних проблем, які вирішуються при створенні гнучкого виробництва.

Комплексний аналіз економічної ефективності ГАВ можна розділити на декілька компонентів:

- цілісний аналіз витрат та втрати відповідних способів виробництва;
- цілісний аналіз витрат та економії, отримуваної в результаті переходу на гнучке виробництво;
- порівняльний кількісний аналіз ГАВ за економічними претензіями;
- аналіз ринку та чутливості економічних рішень.

**1. Аналіз існуючого способу виробництва** – пов'язаний з визначенням показників собівартості своєї продукції, ступеня використання технологічного обладнання, якості продукції, витрат ручної праці, продуктивності обладнання, рівня запасів матеріалів, сировини та ін.

Він необхідний як відправна точка для наступного обґрунтування капіталовкладень в нову технологію.

**2. Аналіз витрат та економії від впровадження гнучкої технології** – оснований на оціненні як кількісних, так і якісних показників виробництва. Існує декілька основних категорій таких оцінок:

- показники прямої економії, здебільшого які мають кількісний характер;

- показники непрямой економії, які поєднують якісні та кількісні характеристики;

- фактори економії, які мають якісний характер.

Показники прямої економії зазвичай просто розраховуються та пов'язані, головним чином, з результатами автоматизації виробництва, які супроводжуються заміною звичайного обладнання на автоматично працююче. Як правило, нове обладнання більш високопродуктивне, що приводить до збільшення обсягів виробництва. Використання автоматичного керування сприяє безоператорній роботі із збільшенням змінності функціонування обладнання. Багатофункціональність обладнання зменшує його загальну кількість та займану площу.

Головними статтями економії є менші витрати:

- на пряму оплату праці;

- на забезпечення виробництва енергією, паливом, обслуговуванням;

- на рух матеріалів, сировини, обробки відходів і т. ін.;

- на амортизацію приміщень та обладнання.

В ГАВ автоматизуються не тільки обладнання та технологічні процеси, але і обробка інформації, організація керування, обслуговування виробництва. Тому **більш значною є непряма економія**, основні статті якої є результатом:

- прискорення виробничого циклу із зменшенням, головним чином, міжопераційних та транспортних затримок;

- зниження рівня незавершеного виробництва через збільшення продуктивності та прискорення виробничого циклу;

- зниження рівня складських запасів;

- зменшення витрат на оплату праці в сфері ремонту, обслуговування та експлуатації верстатів, але оплата праці може зрости через необхідність використання при діагностиці, контролі, обслуговуванні більш висококваліфікованого персоналу (інженерів та кваліфікованих техніків-операторів, програмістів та спеціалістів з електронної техніки);

- підвищення ефективності обробки інформації, проектування, планування, організаційного керування, всіх видів інженерної праці;

- зниження витрат на реконструкцію та модернізацію виробництва.

Найбільш складними для використання є *якісні фактори економії*, оскільки їх вплив не піддається оціненню в чисто економічних термінах, а проявляються вони у формі впливу, яка має, головним чином, соціальне значення. В цій категорії оцінок економія з'являється в результаті:

- покращення якості продукції, підвищення її конкурентоздатності та можливості для задоволення потреб запиту на більш високому рівні;
- підвищення гнучкості виробництва до швидкості зміни характеристик продукції та споживчих властивостей виробів, а також серійності виготовлення продукції;
- покращення умов праці за рахунок автоматизації фізичних робіт та усунення таких форм праці людини, які необхідно здійснювати в важкому, шкідливому чи загрозливому для здоров'я виробничому середовищі;
- підвищення ефективності міжгалузевих зв'язків та кооперації на основі більш динамічних дисциплін взаємних поставок матеріалів, сировини, готових виробів;
- зниження витрат в соціальній сфері із поглибленням автоматизації виробництва та зменшення кількості працюючих.

### **3. Аналіз ефективності ГАВ за економічними показниками**

Цей аналіз спрямований, насамперед, на визначення собівартості продукції, продуктивності праці, термінів окупності капіталовкладень та інших показників виробництва. Оцінка виробляється на основі стандартних методик, які мають законодавчу силу для окремих підприємств однієї галузі; для групи галузей або в народному господарстві в цілому.

### **4. Аналіз ризику та чутливості економічних рішень**

Він необхідний для виявлення суттєвих факторів, які можуть підсилювати чи послаблювати очікувані ефекти від крупних капіталовкладень у виробництво. При інтенсивних методах розвитку способу виробництва аналіз ризику не має великого значення та практично не застосовується, оскільки планове регулювання інкрементально нарощуваної економіки суттєво зменшує ризик при прийнятті економічних рішень.

Однак з переходом до інтенсивних методів господарювання і, зокрема, до гнучкої автоматизації виробництва відбувається різке прискорення темпів введення нових чи модернізованих потужностей. При цьому, по-перше, техніка та способи виробництва підлягають не частковим змінам, а повністю витісняються новою технологією і, по-друге, значно підвищуються для прогресивної техніки та автоматизованих методів керування, що веде до суттєвого збільшення початкових капіталовкладень.

Згідно з такими новими тенденціями при плановому регулюванні інвестицій починає зростати ризик відволікання засобів на неоптимальні варіанти та напрямки розвитку.

Тому аналіз ризику та чутливості стає необхідною ланкою у визначенні та ретельній перевірці головних факторів, діючих на ефективність капіталовкладень в нові форми автоматизації виробництва. Зокрема, контролю підлягають фактори, які впливають на зменшення очікуваного обсягу виробництва, затягування в часі введення виробничих потужностей,

збільшення витрат на реалізацію і впровадження засобів автоматизації нових поколінь. Діючим інструментом аналізу чутливості є імітаційне моделювання гнучкого виробництва в комбінації з економічними моделями балансового типу.

### **5. Роль зміни характеру праці**

Зміна характеру праці має вирішальне значення для ефективного освоєння нових видів автоматизації та інтенсифікації виробництва.

Досвід створення гнучкого виробництва свідчить про те, що розробити прогресивну техніку буває простіше, ніж її впровадити.

Необхідною умовою ефективної роботи в умовах ГАВ є знання основ обчислювальної техніки, інформатики, мов програмування, а також відповідний рівень математичної підготовки спеціалістів.

### **3.4 Науково-технічні та технологічні можливості й задачі впровадження ГАВ**

Сучасне виробництво в машинобудуванні відповідно до розмірів серії (партії) виготовлюваної продукції прийнято поділяти на два відмінних види:

- дрібносерійне;
- масове,

які можна охарактеризувати таким чином (табл. 3.1).

Якщо ця межа між двома видами машинобудування була чіткою, то тепер вона почала стиратися (розширення номенклатури виготовлюваної продукції, постійно поширюється на масове виробництво, наприклад, автомобілебудування, де на основі базової моделі, як правило, випускаються множинні модифікації).

Проте, саме для машинобудування з дрібносерійним та серійним характером виробництва особливо характерні ускладнення конструкції виробів, зменшення серійності, а також збільшення трудомісткості виробництва та номенклатури, часта заміна виробів в виробництві.

Нині визначилися дві, певною мірою суперечливі, вимоги до сучасного промислового виробництва:

- з одного боку, скорочення термінів підготовки виробництва та виготовлення, а також серійності продукції;
- з іншого боку, зменшення трудомісткості виготовлення та вартості при високій якості продукції.

Виконання першої вимоги передбачає збільшення універсальності обладнання та систем керування, що дозволяє відпрацьовувати будь-які заздалегідь незаплановані ситуації, швидко переходити на виготовлення нової продукції.

Таблиця 3.1 – Якісна характеристика виду виробництва

Вид виробництва	Серійне та дрібносерійне виробництво з широкою номенклатурою продукції (важке машинобудування, кораблебудування, автомобілебудування, верстатобудування, дорожнє будування; хімічна, поліграфічна та інші галузі)	Масове та великосерійне виробництво з обмеженою номенклатурою (автомобілебудування, тракторне та сільськогосподарське машинобудування, виробництво інструменту, годинників, електронних елементів і т. ін.)
Питома вага у виготовлені продукції	75-80%	20-25%
Рівень спеціалізації та кооперації виробництва	Низький (малі партії деталей, часте переналагодження обладнання)	Високий (великі або неперервні партії деталей, постійне закріплення операцій за робочими місцями)
Рівень автоматизації виробничих процесів	5-10%	60-85%
Технічна база автоматизації	Універсальне та спеціальне обладнання; обладнання з ЧПК; виробничі автомати та групи автоматів, керовані від ЕОМ	Спеціальне та спеціалізоване обладнання, автоматичні лінії з жорстким програмуванням (з цикловою автоматикою)
Ефективність виробництва	Невисока	Висока

Друга вимога пов'язана з необхідністю комплексної автоматизації виробництва, яка нині асоціюється із застосуванням технологічного обладнання з програмним керуванням та ЕОМ на різних рівнях керування – від безпосереднього керування обладнанням до керування фінансовою діяльністю підприємства.

У відносному протиріччі цих вимог значною мірою і полягають труднощі створення сучасного ефективно функціонуючого виробництва.

Щоб задовільнити суперечливі вимоги, необхідно надати виробництву декілька певних властивостей:

- **гнучкість та маневреність**, тобто здатність швидко перебудовуватися на виготовлення нової продукції;

- **високий технічний рівень та добру оснащеність** новими технологіями та обладнанням, що дозволяє виготовляти вироби високої якості, більшої надійності та ресурсу;

- **економічність**, яка забезпечує придатну для ринку продажну ціну продукції, а, відповідно, і мінімальні витрати на її виготовлення, економію всіх видів ресурсів, включаючи можливо більш широке використання попередньої праці.

### **3.5 Методика створення ГАВ**

Для успішного вирішення задач, виникаючих при розробці ГАВ, важливою обставиною є правильна оцінка та розуміння основоположних принципів створення ГАВ.

Розглянемо ці принципи.

**1. Принцип комбінування високої гнучкості (універсальності) та високої продуктивності обладнання.**

Саме гнучке обладнання – універсальне; саме неавтоматизоване обладнання – універсальне; саме продуктивне – спеціальне. Комбінування цих протиставних показників на базі ЧПК дає змогу реалізувати названий принцип у ГАВ. Принцип суміщення припускає оптимізацію вибору обладнання з ЧПК на основі техніко-економічного аналізу виробництва.

**2. Принцип модульності.**

В основі побудови ГАВ лежить модуль. Під ним розуміють первинний компонент, який виконує такі операції: обробку, транспортування, складування, контроль, керування, планування, керування виробництвом, керування технологічними процесами, підготовкою виробництва і т. ін.

Модуль, як компонент ГАВ, сам може складатися із модулів більш низького рівня. Декілька одиниць модулів, які об'єднані функціонально, створюють модуль більш високого рівня (макромодуль). Кожному модулю певного рівня відповідають функції цього рівня.

**3. Принцип ієрархії.**

ГАВ будується за принципом рівнів структури. Нижній рівень – модульні елементи технологічних одиниць, наступний рівень – модулі технологічних одиниць (верстат, промисловий робот і т. ін.), далі – рівень функціональної інтеграції декількох модулів (верстат, промисловий робот, контрольний засіб) із замкненим циклом в більшості випадків – технологічний модуль; далі модуль дільниці, цеха, заводу.

Кожний більш високий рівень має в своєму складі мінімум два модулі більш низького рівня. Наприклад, в модуль ГАВ дільниці входять декілька



технологічних модулів, транспортна модульна підсистема, модуль автоматичної складської підсистеми.

#### **4. Принцип програмного налагодження.**

При заміні виробів, які виготовляються, налагодження на виконання наступних здійснюється шляхом введення нових керівних програм. Переналагодження вручну допускається при економічно виправданому варіанті виробництва і за відсутності при початкових етапах впровадження автоматизованого обладнання.

#### **5. Принцип максимальної предметної замкненості виробництва на можливо нижчому рівні ГАВ.**

Даний принцип мінімізує затрати на транспорт і промислові роботи. При цьому знижується кількість операцій; підвищується загальна гнучкість ГАВ.

Найкращим застосуванням цього принципу є предметна замкненість на рівні технологічного модуля. Але поки це не завжди досягається; а іноді замкненість виробництва деталей на рівні дільниці, цеха економічно ще себе не виправдовує.

Для кожного підприємства існує оптимальний рівень предметної замкненості, яка визначається предметом виробництва, виконанням принципу суміщення високої продуктивності та універсальності використовуваного обладнання. Створення ГАВ з максимально досяжною предметною замкненістю обумовлює впровадження бригадних форм організації праці, підвищення відповідальності персоналу за роботу, скорочує витрати на контроль якості виробів.

#### **6. Принцип застосування групових методів обробки.**

Впровадження групових технологічних процесів скорочує необхідну «гнучкість» приладів або, навпаки, дозволяє розширити номенклатуру оброблюваних виробів, скорочує необхідну номенклатуру інструменту, оснащення і т. ін.

Групова обробка – технологічна основа ГАВ!

#### **7. Принцип інтеграції ГАВ із САПР, АСТПВ та АСКВ.**

Цей принцип дозволяє об'єднати на одній основі програмне керування проектуванням, розробку, підготовку виробництва та виготовлення виробів. При інтеграції цих систем завжди виникає питання компромісної конструкції та технології виготовлення.

### **3.6 Техніко-економічна та організаційна ефективність впровадження ГАВ**

При переході до гнучких ліній та дільниць в 2–3 рази буде підвищуватися ефективність використання обладнання за рахунок мінімізації часу переналагодження його на виготовлення іншої продукції. Об'єднання автономно працюючого автоматичного технологічного обладнання в гнучких виробничих лініях (ГВЛ) дозволить підняти

коефіцієнт завантаження верстатів до 0,85–0,9 порівняно з 0,4–0,6; а коефіцієнт змінності їх роботи – до 2,5 порівняно з досягнутою нині величиною 1,3–1,6; суттєво (в 6–10 разів) скорочується виробничий цикл обробки деталей; знаходиться можливість цілодобово без верстатників виконувати операції обробки різних деталей однієї групи в будь-якій послідовності, тобто перейти до «безлюдної» технології. Крім того, з'являється можливість забезпечити функціонування ГАВ при відключенні або виході з ладу окремих елементів системи.

**Технічну та організаційну ефективність впровадження ГАВ зазвичай оцінюють низкою показників:**

- коефіцієнтом використання пристроїв;
- коефіцієнтом змінності роботи пристроїв;
- коефіцієнтом завантаження пристроїв;
- коефіцієнтом гнучкості пристроїв;
- показниками надійності (показниками готовності, напрацювання на відмову, ремонтоздатності і т. ін.).

### **1. Коефіцієнт використання пристроїв за машинним часом**

$$K_M = \frac{\sum^M \sum^n t_m}{\sum^M \sum^n t_{шт.-к.}}, \quad (3.1)$$

де  $M$  – число найменувань деталей в комплекті;

$n$  – кількість верстатних операцій на одну деталь;

$t_m$  та  $t_{шт.-к.}$  – машинний та штучно-калькуляційний час на операцію, відповідно.

### **2. Коефіцієнт змінності роботи обладнання**

$$K_{зм.обл.} = \frac{n_{в.вз.}}{n_{вст.обл.} \cdot D_p}, \quad (3.2)$$

де  $n_{в.вз.}$  – кількість відпрацьованих верстатозмін в місяць;

$n_{вст.обл.}$  – кількість встановленого обладнання;

$D_p$  – кількість робочих днів місяця.

### **3. Коефіцієнт завантаження обладнання**

$$K_{з.о.} = \frac{n_p}{n_{np}}, \quad (3.3)$$

де  $n_p$  та  $n_{np}$  – розрахункове та фактично застосоване обладнання.

4. Показником гнучкості модулів, ліній та дільниць є номенклатура оброблюваних на них деталей (чим вона більша, тим вища їх гнучкість).

Поняття гнучкості виробничої системи є багатокритеріальним та неоднозначним. Залежно від конкретного випадку розробники ГАВ на перший план висувають різні аспекти гнучкості, наприклад, такі як:

- машинна гнучкість – простота перебудови технологічного обладнання ГАВ для виробництва заданої множини деталей;
- технологічна гнучкість – властивість виробляти задану множину типів деталей різними способами;
- структурна гнучкість – можливість розширення системи за рахунок введення нових технологічних модулів;
- виробнича гнучкість (живучість) – властивість продовжувати обробку заданої множини деталей при відмові окремих технологічних елементів ГАВ;
- маршрутна гнучкість – можливість зміни порядку виконання операцій;
- гнучкість за продуктом – властивість швидкого перемикання на випуск нових деталей;
- гнучкість за обсягом – властивість ГАВ ефективно функціонувати при різних обсягах виробництва;
- гнучкість за номенклатурою – властивість виробляти різноманітні вироби.

Велика кількість технологічних, виробничих та інших задач, які вирішуються методами гнучкої автоматизації, не дає можливості сформулювати єдині методи комплексного оцінення гнучкості, що дозволяє порівнювати різні системи. Тому **доцільно оцінювати три форми гнучкості:**

- **структурну,**
- **технологічну,**
- **організаційну.**

Структурна гнучкість охоплює декілька можливостей:

- вільність у виборі послідовності обробки;
- можливість при виході з ладу будь-якої одиниці обладнання виконувати обробку на аналогічному обладнанні;
- можливість нарощування системи на основі модульного принципу.

### **Гнучкість ГВС**

**Гнучкість ГВС** є властивістю швидко та цілеспрямовано змінювати технологічні можливості в межах свого технологічного потенціалу шляхом перебудови морфологічної та функціональної організації згідно з запитами виробничої ситуації при мінімально можливих трудових витратах.

Для вибору гнучкості можна використовувати два підходи:

1. Можна охарактеризувати гнучкість відношенням кількості пар ( $2a$ ) різних деталей, які потребують переналагодження, до загальної кількості ( $M$ ) деталей, оброблених за одиницю часу:

$$\Gamma_1 = \frac{2a_i}{M}. \quad (3.4)$$

Для одиничного виробництва це відношення дорівнює 1. В такому випадку для кожної наступної на обробку деталі необхідна автоматична підготовка нових затискних пристроїв, завантажувальних та транспортних пристроїв, набору різальних інструментів, керівної програми і т. ін.

Для кожного верстата в системі необхідна певна гнучкість, а загальна гнучкість верстатної системи обмежена верстатом з найменшою гнучкістю.

2. Можна гнучкість охарактеризувати відношенням фактично здобутої гнучкості  $A_\phi$  до потрібного значення пристосування  $A_{mp}$ :

$$\Gamma_2 = \frac{A_\phi}{A_{mp}}. \quad (3.5)$$

При цьому зіставляють фактичні можливості обладнання із вимогами, які виходять із заданого набору оброблюваних деталей. Тільки у випадку  $\Gamma_2 = 1$  потреби гнучкості повністю задовольняються, при гнучкості  $\Gamma_2 > 1$ , гнучкість обладнання не повністю використовується, а при  $\Gamma_2 < 1$  не всі деталі оброблюються при оптимальних умовах. Перевірку умови (3.5) доцільно проводити як для окремих верстатів, так і для всієї верстатної системи.

Технологічна гнучкість виявляється за властивістю на існуючому обладнанні виконувати декілька технологічних задач, що забезпечується використанням багатоцільових та багатоінструментальних верстатів, наявністю технологічних модулів, які охоплюють широкий спектр виробничих операцій і, за змоги, обробки групи різних деталей без механічного переналагодження обладнання (або з незначними витратами на переналагодження).

Наближене порівняння різних ГВС можливо проводити за індексом гнучкості, який знаходиться за формулою:

$$U_G = \frac{N \cdot k}{1000 \cdot n}, \quad (3.6)$$

де  $N$  – номенклатура деталей, виготовлених системою за певний період часу;

$k$  – частка деталей, які виготовляються на системі вперше (процес оновлення номенклатури);

$n$  – кількість однакових деталей в типовій партії.

Індекс гнучкості найбільш доцільно знаходити із середньорічних характеристик системи.

Організаційна гнучкість значною мірою визначає структуру ГАВ. При проектуванні організаційно-виробничої структури виникає протиріччя між намаганням максимально завантажити обладнання та намаганням забезпечити мінімальну тривалість виробничого циклу. Намагання до скорочення тривалості виробничого циклу приводить до виробничої структури, зорієнтованої на виріб, тобто на предметний принцип, який неодмінно викликає нераціональне використання обладнання та трудових ресурсів.

Альтернативою слугує виробнича структура, зорієнтована на засоби виробництва, тобто на технологічний принцип, що забезпечує найбільш ефективне використання обладнання, дозволяє скоротити кількість працюючих, але може призвести до збільшення тривалості виробничого циклу, збільшення незавершеного виробництва.

Важливою характеристикою гнучкості є перехід системи на обробку деталей іншого найменування, підготовка до чого виконана завчасно, а також час підготовки до виробництва деталей нових найменувань, включно із інфраструктурною та технологічною підготовками.

**До показників надійності відносять:**

**- напрацювання на відмову**

$$T_o = \sum \frac{N \cdot t_i}{m}, \quad (3.7)$$

де  $N$  – кількість верстатів (пристроїв), які входять в гнучку систему цієї моделі;

$t_i$  – напрацювання  $i$ -го верстата на відмову за 1 годину роботи;

$m$  – кількість відмов (збоїв) всіх  $N$  верстатів;

**- показник ресурсу або довговічності**

$$P = \sum \frac{N \cdot x_i}{N}, \quad (3.8)$$

де  $x_i$  – величина фактичних ресурсів  $i$ -го верстата;

**- коефіцієнт готовності обробки до роботи**

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_e}, \quad (3.9)$$

де  $T_o$  – середній час видалення відмови (наприклад, встановлення працездатності верстата після відмови);

- показник ремонтоздатності

$$T_g = \sum \frac{N \cdot \tau_i}{N}, \quad (3.10)$$

де  $\tau_i$  – середній час відновлення  $i$ -го верстата.

### 3.7 Надійність роботи автоматизованих комплексів

При дослідженні та відпрацюванні надійності роботи автоматизованих комплексів корисно використовувати великий досвід, який накопичений при експлуатації автоматичних ліній масового виробництва.

**Надійність** автоматизованих комплексів – властивість виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників в заданих межах, відповідних заданим режимам обслуговування, ремонту і т. ін.

Для автоматизації виробництва заданою функцією є випуск продукції заданої якості в потрібному обсязі, тому надійність автоматизованих комплексів є насамперед їх властивість безперебійно випускати продукцію в об'ємах, обумовлених заданою виробництвом програмою за час повного терміну служби.

**Відмова** – це подія, яка полягає в порушенні роботоздатності комплексу та потребує для усунення втручання людини.

**Збій** – самоусувна відмова, яка призводить до короткочасного порушення роботоздатності.

**Роботоздатність** – стан комплексу, при якому він здатний виготовляти продукцію заданої якості в потрібному обсязі.

Рівень надійності автоматизованого комплексу залежить від надійності кожного з його елементів і від характеру їх взаємодії – обраного компонування та схеми керування комплексом. Звідси два основних шляхи підвищення надійності комплексів:

- підвищення надійності роботи верстатів, механізмів АТС та СЮ, інших елементів, із яких компонується комплекс;
- підвищення надійності комплексу в цілому вибором раціонального його компонування та системи керування.

Особливістю автоматизованих комплексів, які формуються на основі об'єднання з ЧПК, є те, що це нове обладнання принципово відрізняється від об'єднання та системи керування, які використовувалися раніше в автоматичних лініях масового виробництва.

Принципова відмінність – це перехід в системах керування на безконтрольну мікроелектроніку, в цикловій автоматичності – на електронні контролери, в механізмі – на безредукторні приводи, загартовані напрямні

і інші елементи, які мають високу довговічність. Важливо, щоб у всій сумі механізмів та ланок керування, які входять до комплексу, була обумовлена вимога рівновисокої надійності.

При створенні автоматичних комплексів часто були докори на адресу центральної ЕОМ, яка за відмови закінчує роботу комплексу в цілому. Вітчизняний та зарубіжний досвід показує, що відмови центральної ЕОМ, особливо при її резервуванні, на порядок нижчі відмов пристроїв у електроавтоматиці, гідроавтоматиці та механіці верстатів та транспорту.

**Всі прості обладнання поділяються на дві категорії:**

- **власні;**
- **організаційно-технічні.**

**Власні прості** визначаються конструктивним вдосконалення обладнання, його нездатністю до роботи, кваліфікацією обслуговуючого персоналу і т. ін.

**Організаційно-технічні прості** обумовлені зовнішніми чинниками, які не залежать від конструкції обладнання та комплексу в цілому: це відсутність заготовок, персоналу, інструменту і т. ін.

Гнучкість перебудови технології обробки на автоматизованих комплексах, простота та негайність переходу на обробку будь-якої із освоєних деталей надають керівнику комплексу ефективний засіб скорочення організаційних простоїв.

Оскільки для функціонування автоматизованого комплексу необхідний певний склад спеціалістів, важливою обставиною забезпечення високого коефіцієнта використання комплексу є вивчення суміжних професій всередині бригади, що є малокількісним виробничим персоналом; забезпечення взаємодопомоги.

### **3.8 Економічна ефективність ГАВ**

До кількості показників економічної ефективності впровадження ГАВ відносяться:

- коефіцієнт окупності;
- економічний ефект за рік (економія приведених витрат);
- коефіцієнт підвищення продуктивності праці;
- коефіцієнт прирощення вартості обробки на одного працюючого по змінах;
- фондвіддача.

Розрахунок показників виконують таким чином:

1. **Коефіцієнт окупності:**

$$K_{ок} = \frac{T_{ок}}{T_{ок.н}}, \quad (3.11)$$

де  $T_{ок} = (K_2 - K_1)/(C_1 - C_2)$  – термін окупності витрат, рік;

$T_{ок.н} = 1/E = 6,7$  років – нормативний термін окупності (при нормативному коефіцієнті ефективності  $E = 0,15$ ). Обов'язковою вимогою окупності є  $T_{ок} < T_{ок.н}$ .

Для підрахунку величини  $T_{ок}$  розраховуються капіталовкладення й одночасні витрати  $K_2$  та  $K_1$  до та після впровадження ГАВ, відповідно, а також технологічна собівартість одиниці продукції за змінними елементами витрат  $C_1$  та  $C_2$  до та після впровадження ГАВ, відповідно.

Величини  $K_2$  та  $K_1$  підраховують як суму капіталовкладень та одночасних витрат на обладнання  $K_{об}$ , ЕОМ та технічні засоби керування  $K_{асу}$ , транспортно-складське обладнання  $K_{м-с}$  та системи інструментального забезпечення  $K_{сіз}$ , технологічне оснащення  $K_{осн}$ , виробничі, допоміжні та побутові площі  $K_{пл}$  з врахуванням (додаванням) витрат на підготовку та освоєння виробництва  $\Pi_{п}$ , зворотні фонди в незавершеному виробництві  $H_{пр}$  та інші одночасних витрати  $Z_{од}$ .

Величини  $C_1$  та  $C_2$  являють собою суму витрат на зарплатню виробничих, допоміжних робітників, ІТР та обслуговуючого персоналу (з нарахуваннями)  $Z_{пл}$ ; на налагодження обладнання  $Z_{нал}$ ; на амортизацію  $A$  та поточний ремонт  $P$  обладнання:  $A_{об} + P_{об}$ , ЕОМ та технічні засоби АСК:  $A_{асу} + P_{асу}$ , основного транспортно-складського обладнання  $A_{м-с} + P_{м-с}$ ; систем інструментального забезпечення  $A_{сіз} + P_{сіз}$ ; дороговартісного оснащення  $A_{осн} + P_{осн}$  та площ  $A_{пл} + P_{пл}$ ; на знос інструменту та пристосувань спеціального призначення  $I_{i.n.}$ ; на рушійну енергію  $E_{об}$ ; на освоєння виробництва  $O_{п}$  та на втрати від браку  $\Pi_{бр}$ .

## 2. Економічний ефект за рік

Якщо всі перераховані вище витрати підрахувати з урахуванням відповідних галузевих нормативів, то річний економічний ефект від впровадження ГАВ:

$$E = (C_1 - C_2) \cdot N - E_M \cdot (K_2 - K_1) + C_E \cdot r_p, \quad (3.12)$$

де  $N$  – кількість одиниць продукції, виготовленої за рік;

$C_E$  – соціальний ефект на одного вивільненого робітника;

$r_p$  – кількість вивільнених робітників.

### Вивільнення виробничих робітників:

- абсолютне, %:

$$r_{p.a} = \frac{(T_1 - T_2) \cdot N}{\Phi_p} = r_{p1} - r_{p2}; \quad (3.13)$$



- відносне, %:

$$r_{p.в} = \frac{r_{p1} - r_{p2}}{r_{p1}} \cdot 100, \quad (3.14)$$

де  $N$  – річна програма виготовлення виробів;

$\Phi_p$  – фонд часу роботи одного працюючого за рік;

$r_{p1}$  та  $r_{p2}$  – кількість виробничих працюючих до та після впровадження ГАВ.

**3. Коефіцієнт підвищення продуктивності праці, %:**

$$П_T = \frac{100 \cdot T_{np}}{100 - T_{np}}. \quad (3.15)$$

При зниженні трудоемності виготовлення одного комплекту продукції, %:

$$T_{np} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100, \quad (3.16)$$

де  $T_1$  та  $T_2$  – трудоемність комплекту продукції до та після впровадження ГАВ, відповідно.

**4. Коефіцієнт прирощення вартості обробки на одного працюючого, %:**

$$K_{с.о.} = [(C_{н.ч.о.} \cdot T \cdot N / r_{p2}) / (C_{н.ч.о.} \cdot T \cdot N / r_{p1})] \cdot 100, \quad (3.17)$$

де  $C_{н.ч.о.}$  – вартість однієї нормо-години виготовлення продукції.

**5. Фондовіддача**

Ріст фондівіддачі обладнання при збільшенні виготовлення продукції, коли  $N_2 > N_1$ :

- абсолютний:

$$\Phi_{омд} = \Phi_{омд2} - \Phi_{омд1}; \quad (3.18)$$

- відносний, %:

$$\Phi_{омд.в} = \frac{\Phi_{омд2} - \Phi_{омд1}}{\Phi_{омд1}} \cdot 100, \quad (3.19)$$

де  $\Phi_{омд1}$ ,  $\Phi_{омд2}$  – фондівіддача до та після впровадження ГАВ.

**Впровадження ГАВ дає не тільки більший техніко-економічний ефект, але і викликає важливі соціальні зміни у виробництві.**

**Велика соціальна ефективність впровадження ГАВ проявляє себе в підвищенні культури роботи обслуговуючого персоналу, покращенні режиму їх роботи (наприклад звільняються від праці в нічний час), виключенні важкої ручної фізичної праці, покращенні техніки безпеки та скороченні виробничого травматизму, а також скороченні витрат на житлове та культурне будівництво (з огляду на скорочення необхідної кількості працюючих).**

### **3.9 Технологічне обладнання. Багатоцільовий верстат з ЧПК**

За останні роки в галузі машинобудування з'явився новий тип металорізального устаткування – **багатоопераційні верстати (БВ)**. Вони називаються багатофункціональними (багатоцільовими) верстатами або оброблювальними центрами. Багатоцільові верстати призначені для комплексної обробки деталей різними видами інструментів, із програмним керуванням та автоматичною заміною інструментів. БВ призначені для обробки корпусних деталей, плит, кронштейнів та інших деталей, які мають багато отворів та потребують обробки з різних боків. Наприклад, в практиці часто зустрічаються важкі корпусні деталі, яким необхідна обробка з шести боків. Якщо деталі мають похилі площини, то кількість боків збільшується до 10 і більше. На кожному із боків є виступи, кишені, пази, напрямні ребра та інші конструктивні елементи, тобто кожний з боків корпусу – це поверхня, яка має декілька рівнів за глибиною. Кожний рівень глибини має свій складний контур. На кожному боці розташована певна кількість основних та кріпильних отворів; гладких, ступінчастих, конічних та різьбових різних розмірів, глибини та точності. Часто необхідна обробка внутрішньої порожнини корпусних деталей, у якій є перемички, стінки, ребра жорсткості та кишені. Це змушує розробляти складні технології та передбачати велику кількість фрезерних, свердлильних та розточних операцій. При цьому важкий, громіздкий корпус необхідно транспортувати від одного верстата до іншого, потрібно забезпечити велику кількість установлень на верстаті; вивіряння, закріплення, необхідно проектувати засоби механізації для підйомно-транспортних робіт. Машинний час зазвичай не перевищує 30%/шт., а інший час залишається на важкі допоміжні ручні рухи. Сумарний час обробки на верстатах не перевищує 5% виробничого циклу виготовлення деталі. Інший час деталі пролежують біля верстата в очікування обробки. Зберігання міжопераційних запасів потребує великих виробничих площ, призводить до загромодження переходів, необхідності створення спеціальних стелажів та піддонів. Багатократне встановлення корпусу знижує точність його виготовлення. За деякими статистичними даними корпусні деталі становлять більше половини всіх деталей цього оброблюваного типу, на БВ оброблюються з 2–4 боків 32% корпусних деталей, близько 50% – з 5–6 боків. В останньому випадку необхідно

обертання деталі навколо 2-х осей або перевстановлення. Більшість БВ застосовують для свердління, зенкерування, розвертування, розточування отворів, торцевого підрізання, фрезерування фасонних контурів та площин, нарізання різі, а на деяких (фірма Fritz Heckert) – проводиться розмітка та стругання. Причому, при свердлінні витрачається 70% часу, на фрезерування – 20%, розточування – 10%. Багатоцільові верстати доцільно застосовувати для обробки складних деталей. Досвід експлуатації цих верстатів показує, що чим складніша деталь, чим більше кількість операцій та переходів містить технологічний процес, тим ефективніше застосування цих верстатів.

БВ порівняно з універсальними верстатами мають такі переваги:

- підвищену продуктивність (в 4–10 разів вища – різке зменшення допоміжного та підготовчо-заключного часу);
- підвищену точність в результаті ліквідації перебазування деталей та обробки пов'язаних між собою поверхонь жорсткими допусками;
- підвищений коефіцієнт використання;
- простоту налагодження при переході від однієї деталі до іншої;
- відсутністю необхідності створення складної та дорогої технологічної оснастки;
- можливістю багатOVERSTATного обслуговування.

Крім того, БВ характеризуються:

- підвищенням точності в результаті ліквідації перебазування деталей та обробки пов'язаних між собою поверхонь жорсткими допусками положення від одної бази та одного програмоносія;
- скороченням виробничого циклу, звільненням площі;
- підвищенням мобільності виробництва при переході від обробки одних деталей до інших, що характерно для дрібносерійного виробництва;
- скороченням внутрішнього цехового транспорту;
- звільненням робочої сили (зменшення кількості обслуговуючих верстатів, контрольних операцій та транспортних функцій).

### **3.9.1 Класифікація БВ**

БВ випускаються найчастіше двох типів:

- для обробки корпусних деталей;
- для обробки деталей типу тіл обертання.

Перший тип БВ є найбільш численним і вони можуть мати різне розташування шпинделя відносно площини столу:

- перпендикулярне (найчастіше – вертикальне);
- паралельне (горизонтальне).

БВ з вертикальним шпинделем випускаються у вигляді таких компонувань:

- за типом консольних та безконсольних вертикально-фрезерних верстатів;

- за типом поздовжньо-фрезерних або двостоякових координатно-розточувальних верстатів.

Ці верстати призначені для обробки корпусних деталей середніх розмірів типу плит або кришок з паралельно розташованими отворами.

БВ з горизонтальним шпинделем:

- за типом консольних горизонтально-фрезерних верстатів;
- за типом горизонтально-розточувальних верстатів.

Ці два верстати мають поворотний стіл, призначений для обробки більш крупних корпусних деталей з різних боків.

Нині випускається ряд БВ нормальної, підвищеної та високої точності. Одними з кращих моделей цих верстатів є моделі IP500MФ4, 2204BMФ4, 2623PMФ4.

За характером переважаючих переходів та відповідних різновидів багатоопераційні верстати поділяються на 3 групи:

- фрезерно-свердлильно-розточувальні з головним рухом – обертанням інструмента та компонованням, аналогічним фрезерним, свердлильним, горизонтально-розточувальним верстатам;
- токарно-свердлильні, токарно-свердлильно-фрезерні з головним рухом – обертання оброблюваної деталі при компонованні, наближеному до компоновання верстатів токарної групи;
- верстати з широким використанням різних видів обробки (включно зі струганням) і оригінальним компонованням вузлів.

Зустрічаються БВ, які скомпоновані як агрегатні верстати, а також верстати, скомпоновані з вузлів, характерних для універсальних верстатів. Так БВ фірми Iugenthal скомпоновані з токарно-карусельного та фрезерного верстатів.

Створюються БВ, які мають 2 шпинделі: один для легких, інший для важких робіт.

Більшість свердлильно-фрезерних та розточувальних БВ (близько 70%) – верстати горизонтального типу.

Існують БВ, шпиндель у яких може мати змінне положення осі в просторі.

Лише невелика кількість моделей МБВ мають таке ж компоновання, як і верстати токарної групи.

### **3.9.2 Накопичувачі інструментів БВ**

Суттєвою особливістю БВ є наявність накопичувачів та пристроїв автоматичної їх заміни.

#### **3.9.2.1 Накопичувачі**

**Накопичувачі найчастіше виконуються у вигляді:**

- **револьверних головок;**
- **інструментальних магазинів;**
- **комбінованих пристроїв.**

Накопичувачі можуть виконуватися у вигляді магазинів шпиндельних вузлів. Зокрема, у бувшому Радянському Союзі вони не знайшли застосування.

### Револьверна головка

Являє собою поворотний корпус з декількома вмонтованими шпинделями. За зовнішнім виглядом вона нагадує револьверні головки токарно-револьверних верстатів. На відміну від останніх, в комірках револьверних головок БВ закріплюються шпиндельні вузли, в яких встановлюється різальний інструмент. Заміна інструментів в таких накопичувачах виконується обертанням головки. Після кожного оберту головка фіксується в певному положенні. В робочій зоні один із шпинделів приводиться в обертання від двигуна головного привода верстата. Револьверні головки можуть мати різні компоновки залежно від розташування осі обертання поворотного корпусу револьверної головки та осей вмонтованих шпинделів (рис. 3.4):

- а) вісь шпинделів 1, перпендикулярна осі 2 револьверної головки;
- б) вісь шпинделів 1 паралельна осі 2 револьверної головки;
- в) вісь шпинделів 1 розміщена під кутом до осі 2 револьверної головки.

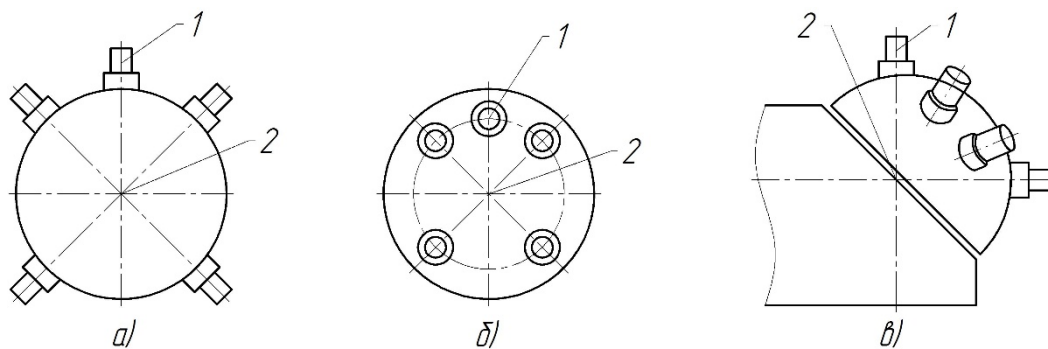


Рисунок 3.4 – Револьверні головки

БВ з револьверною головою має ряд недоліків, наприклад, знижену жорсткість інструмента і, як наслідок, більш низьку точність. Однак застосування револьверної головки як накопичувача інструментів не потребує суттєвої зміни конструкції верстата, а заміна інструмента виконується за невелику кількість часу – 2–3 с. Тому револьверна головка знаходить нині широке використання в БВ середніх розмірів.

### Інструментальні магазини

Виконуються у вигляді окремого вузла і призначаються для зберігання необхідної кількості інструментів (до 150 та більше). За програмою обробки інструменти автоматично вилучаються із магазину та завантажуються в шпиндель верстата. Використаний інструмент автоматично повертається в магазин. Конструктивно інструментальні магазини виготовляють трьох типів:

- поворотні;
- ланцюгові;

- стелажні.

**Магазин поворотного типу** являє собою барабан, по периферії якого в спеціальних комірках розміщуються інструменти. Конструктивно цей магазин схожий на револьверну головку, що має більш щільне пакування різального інструменту (30 та більше) (рис. 3.5).

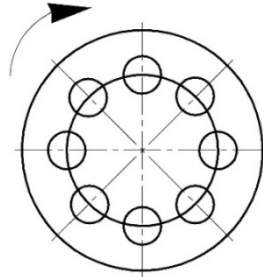


Рисунок 3.5 – Магазин поворотного типу

**Магазин ланцюгового типу** виконується у вигляді ланцюгового транспортера з відповідною кількістю комірок для інструментів. Крок транспортера обумовлений діаметром інструменту, а його довжина – ємністю накопичувача (60 та більше) (рис. 3.6).

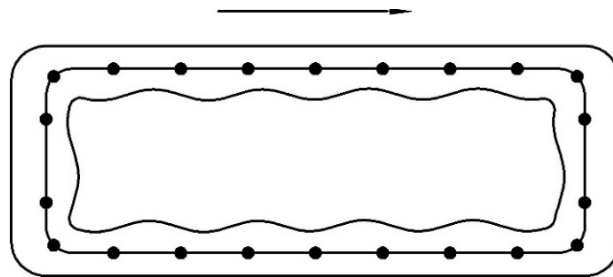


Рисунок 3.6 – Магазин ланцюгового типу

**Магазин стелажного типу** виконується у вигляді вертикальної чи горизонтальної плити з певною кількістю повздовжніх та поперечних рядів-комірок (рис. 3.7). Цей тип магазину забезпечує найщільніше пакування, але тут більш складний пошук інструменту. Якщо в магазинах поворотного та ланцюгового типу пошук інструменту виконується одним рухом, то в магазинах стелажного типу – двома рухами (вздовж повздовжніх та поперечних рядів).

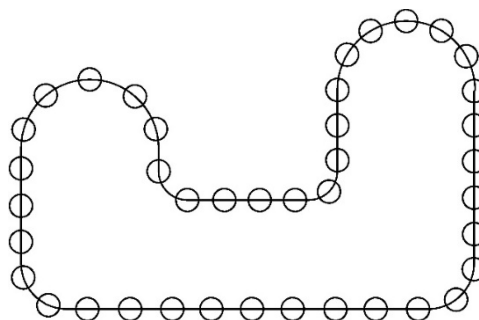


Рисунок 3.7 – Магазин стелажного типу

При застосуванні інструментальних магазинів в БВ зберігається висока жорсткість інструменту, а тому має місце підвищення точності обробки; ємність магазину практично не обмежена (до 150 та більше); потребує конструктивної зміни верстата; час заміни інструмента більший, ніж при револьверних головках. Отже, БВ з інструментальними магазинами доцільно застосовувати для обробки крупних та складних деталей.

#### **Комбіновані накопичувачі**

Зазвичай виконуються у вигляді поєднання магазину та револьверної головки. Основною метою їх створення є скорочення часу, який витрачається на заміну інструменту. В інших країнах експлуатується багатоцільовий вертикально-фрезерний консольний верстат виробництва Німеччини, у якого накопичувач виконаний у вигляді головки та магазину на 12 інструментів, встановленого у верхній частині станини. Заміна інструмента, закріпленого в револьверній головці, виконується за рахунок обертання головки.

Час заміни інструменту становить приблизно 3 с. Інструментальний магазин в цьому випадку слугує для поповнення різальним інструментом револьверної головки. Переміщення різального інструменту з магазину в револьверну головку виконується автоматично, при чому в той шпindel, який знаходиться у верхній частині револьверної головки. Заміна інструменту здійснюється найчастіше під час обробки деталі. Цим переважно і досягається зменшення часу заміни інструменту. На стіл верстата можна встановлювати поворотний пристрій, який збільшить технологічні можливості верстата. На верстаті виконуються всі види роботи з обробки корпусних деталей.

#### **3.9.2.2 Пристрої автоматичної заміни інструмента (ПАЗІ)**

Ці пристрої призначені для автоматичного обміну інструментів між накопичувачами інструментів та верстатом, забезпечення стабільності та точності положення інструменту в шпинделі після його закріплення, а також надійності закріплення. Заміна інструменту має виконуватися за мінімум часу.

Пристрої для автоматичної заміни інструменту можуть бути:

- без автооператорів;
- з автооператорами.

#### **ПАЗІ без автооператорів**

Доволі часто виконуються у вигляді сполучення револьверної головки та додаткових вузлів, забезпечуючи розтискання, поворот та закріплення револьверної головки, а також обертання шпинделя револьверної головки, коли він знаходиться в робочій позиції. Подібними пристроями нині оснащено приблизно кожний четвертий БВ із тих, що виготовляються в країнах СНД. На рисунку 3.8 подана конструкція привода з револьверною головкою з поворотними шпинделями. В цьому випадку головка має нахилену вісь обертання. Один із шпинделів займає робочу позицію, в якій

він отримує обертання від кулачкової муфти 2. Кулачкова муфта приводиться в рух від електродвигуна 4. Поворот головки, її розтискання та переміщення кулачкової муфти виконується за допомогою електродвигуна 3. Черв'ячна передача 5 слугує для повороту револьверної головки. За допомогою рейкового зачеплення 6 виконується розтискання та затискання револьверної головки. Рейка при переміщенні повертає важіль 7, який вмикає та вимикає муфту 2.

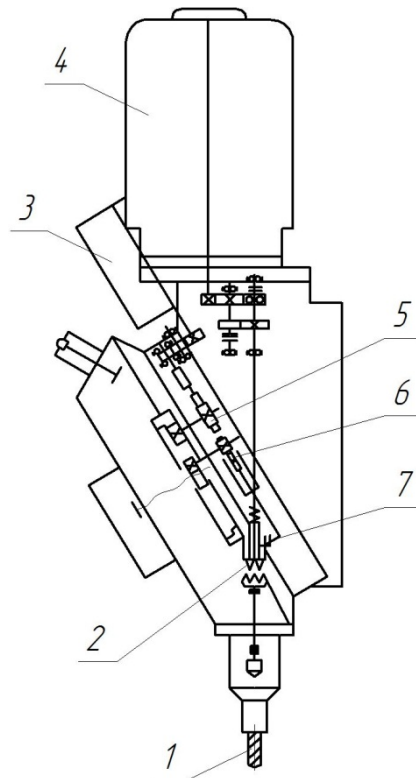


Рисунок 3.8 – Конструкція привода з револьверною головкою з поворотними шпинделями

На рисунку 3.9 наведена схема ПАЗІ з використанням револьверної головки для розширення набору інструментальних оправок. Револьверна головка також розміщена в шпиндельній бабці. Подібну головку іноді називають «Короною».

В робочій позиції шпиндель верстата проходить через діаметрально розташований отвір револьверної головки, захоплюючи інструмент; просуваючись далі, шпиндель здійснює робочий цикл. При поверненні назад оправка з інструментом залишається в магазині, а шпиндель виходить із револьверної головки, даючи їй можливість здійснити поворот.

Без автооператора працює ПАЗІ, у якого в магазині знаходяться шпиндельні гільзи. Вони надходять з магазину на робоче місце шпинделя верстата, з'єднуються з приводами головного руху та подачі, а після робочого циклу пересуваються знову у магазин.



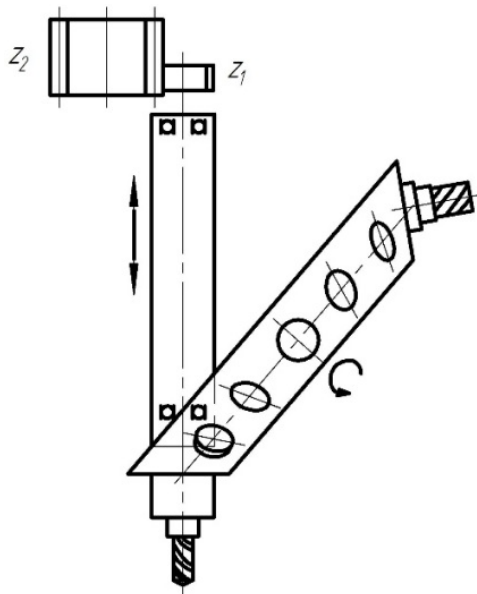


Рисунок 3.9 – ПАЗІ з використанням револьверної головки для розширення набору інструментальних оправок

В цьому випадку через відсутність автоматичної заміни самих інструментів можна забезпечити (при ручному закріпленні) добре зачищення посадочних місць і надійне закріплення інструменту. Може бути забезпечена достатня жорсткість шпиндельного вузла. При збереженні однакових зовнішніх розмірів пінолі є можливість диференційно підійти до конструкції шпинделів та опор залежно від умов роботи кожного шпинделя за характером навантаження, швидкості ходу і т. ін. Проте заміна пінолі не створює впевненості в збереженні постійного положення робочого шпинделя, тобто збереження важливого фактора точності. Крім того, подібна конструкція збільшує масу механізму АСК, габаритні розміри та його вартість.

В деяких конструкція БВ механізми розташовують на столі, наприклад у верстатів фірм Marusin (Англія) та Ernault – Somua (Франція) (рис. 3.10).

#### **ПАЗІ з автооператором**

За статистичними даними більшість БВ мають магазини інструментів (57%) з автооператором. Вони найчастіше являють собою комбінацію інструментальних магазинів, автооператорів та інших пристроїв. Під автооператором будемо розуміти частину ПАЗІ, яка забезпечує автоматичний обмін інструментів між накопичувачем та шпинделем верстата.

Розглянемо схеми ПАЗІ, які забезпечують найбільшу швидкість, тобто мінімальний час заміни інструментів (2–3 с). Для забезпечення такого часу до моменту закінчення робочого циклу необхідна максимально можлива підготовка до заміни інструментів. Найчастіше це забезпечується за допомогою таких способів.

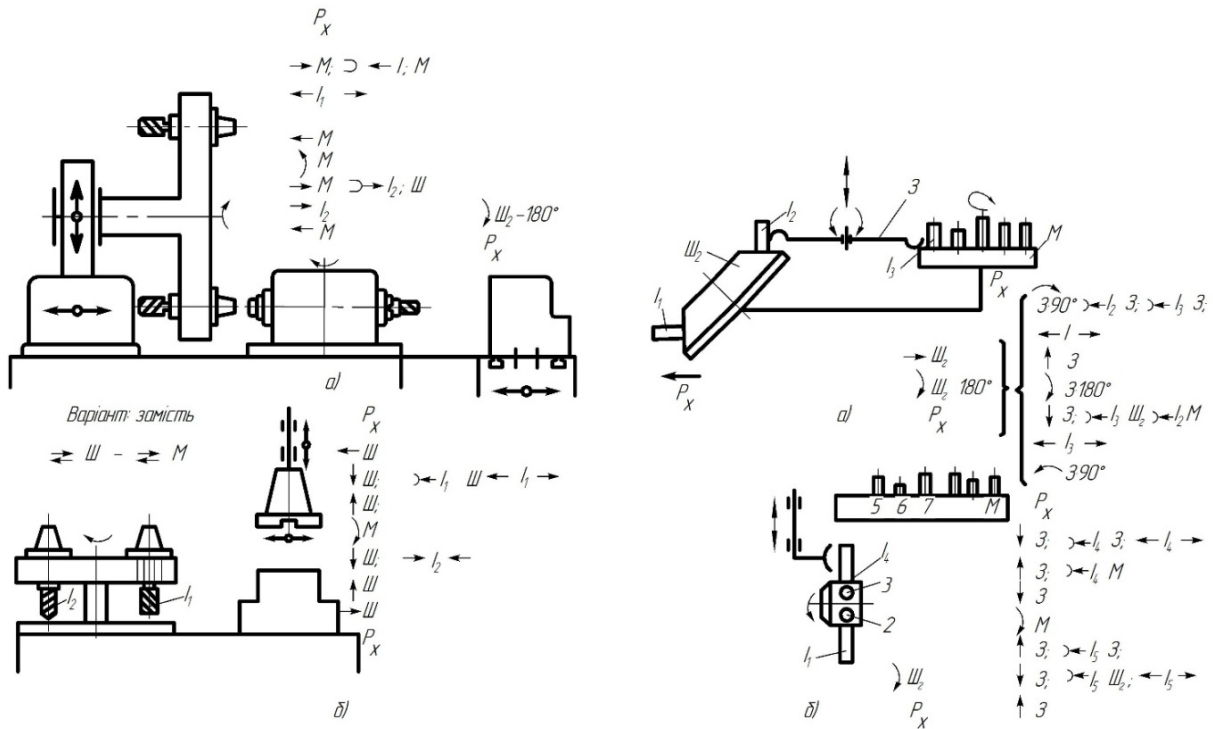


Рисунок 3.10 – БВ з механізми, розташованими на столі

1. Застосовують двошпindelну револьверну головку з магазином, який знаходиться на шпindelній бабці (рис. 3.11). Під час робочого циклу для 1-го шпindеля здійснюється заміна інструменту із магазину у 2-му шпindelі. Таким чином, для заміни інструменту необхідний час (несуміщений) тільки для повороту револьверної головки. Цей спосіб, хоча і є комбінованим та дозволяє разом з мінімальним часом заміни до 1 с збільшити кількість інструментів в наборі (до 20–30 шт.), але все ж таки не вдалось звільнитись від недоліків, характерних ПАЗІ зі шпindelними револьверними головками.

2. Мінімальний час заміни інструментів забезпечується такими механізмами АЗІ, у яких до моменту закінчення різання біля шпindеля знаходяться захватні пристрої для вилучення відпрацьованого інструмента та підготовки нового інструмента, який має бути встановлений до шпindеля негайно після витягнення інструменту (рис. 3.12). Всі інші прийоми, такі як повернення відпрацьованого інструменту в магазин, поворот магазину, доставка нового інструменту до шпindеля, мають виконуватися за час робочого ходу.



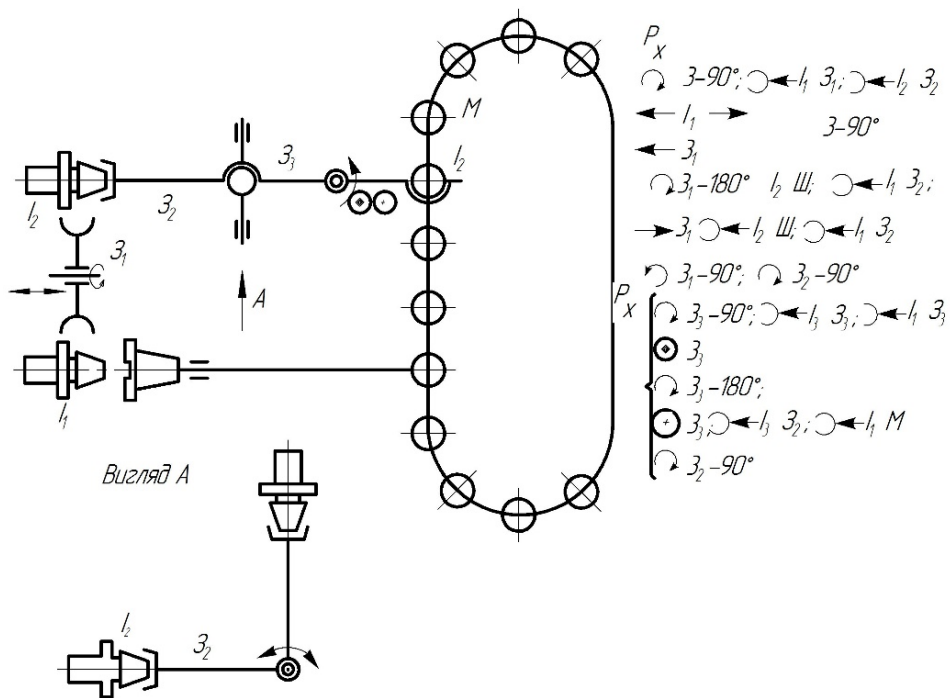


Рисунок 3.12 – Механізми з захватними пристроями біля шпинделя

### 3.10 Промислові роботи та маніпулятори

#### 3.10.1 Загальні відомості

Робототехніка – новий науково-технічний напрямок, що швидко розвивається; сфера застосування його постійно розширюється. Роботи можуть застосовуватися: в промисловості, транспорті, сільському господарстві, охороні здоров'я, сфері обслуговування, освоєнні океану та космосу, а також для наукових досліджень. Але головним призначенням робототехніки, яке визначає масштаб та темпи її розвитку, є автоматизація виробництва. Від традиційних засобів автоматизації роботи відрізняються, насамперед, універсальністю відтворюваних рухів та швидкою перебудовою. Тому промислові роботи вже на першому етапі їх застосування створили такі можливості у виробництві:

- розвиток комплексної автоматизації, зокрема малосерійному та одиничному виробництві, із збереженням швидкої змінюваності виготовлюваної продукції;
- різке скорочення терміну освоєння принципово нової продукції, відсутність необхідності створення відповідних нових спеціальних засобів автоматизації;
- скорочення термінів створення комплексно-автоматизованих цехів на базі типових роботизованих технологічних одиниць і ділянок, централізовано керованих ЕОМ;
- можливість створення нових технологічних процесів, принципово неможливих за участі людини;

- можливість автоматизації та модернізації відповідних, морально застарілих, виробництв при зміні технологічного процесу та устаткування.

Так, роботи дозволяють перетворити поточні лінії з багатопозиційними автоматами в більш сучасні автоматичні лінії, які відрізняються від традиційних автоматичних ліній економічністю та швидкістю створення.

На декількох операціях один робот замінює одного – трьох робітників, підвищує продуктивність виробництва на 20 – 40% і окупається за 1 – 3,5 роки.

Впровадження промислових роботів приводить до більш раціонального використання трудових ресурсів та отримання соціального ефекту (покращення умов та характеру роботи, зниження травмування).

Роботи, переважно, застосовуються в машинобудуванні для заміни робітників, зайнятих на окремих операціях із обслуговування металорізальних верстатів, пресів, печей і іншого технологічного устаткування; для вдосконалення таких основних технологічних операцій, як зварювання, фарбування, найпростіше складання, транспортування та ін. Створені та успішно експлуатуються за допомогою роботів перші комплексно-автоматизовані дільниці механічної обробки, штамповки, точкового зварювання та інших.

Насправді, **робот може визначитися як універсальний автомат виконання механічних дій**. При створенні перших роботів, на сьогодні, зразком слугують людські можливості до виконання фізичної роботи. Прагнення заміни людини в роботі «народило» ідею створення механічної людини – робота, надалі – створення та розвиток робототехніки та створення роботів.

**Виходячи з функціонального складу робота його можна також визначити як сукупність механічних рук – маніпуляторів та керівних пристроїв, які містять:**

- **виконавчий пристрій (блок керування приводами);**
- **пристрої обробки інформації (може бути використана ЕОМ) – «мозок» робота;**
- **чутливий (сенсорний) пристрій – «органи відчуття» робота.**

В загальному випадку, **робот може мати і засоби переміщення** (зокрема і у вигляді ніг).

Найбільш прості роботи, для яких основна задача – встановлення певних рухів і пов'язаних з нею задач обробки інформації є досить простою.

Переважно керування сучасними автоматичними маніпуляторами лежить на заздалегідь заданій програмі (автоматичні маніпулятори з програмним керуванням), доповненими залежно від складності роботи елементами адаптації та штучного інтелекту. Останнє потребує більш-менш розвинутої «сенсорики» і, звичайно, застосування ЕОМ.

Виникають нові проблеми:

- механіка багатоланкових просторових механізмів типу рук (маніпуляторів) робота;
- створення принципово нових типів робочих органів та двигунів для роботів;
- «відчуття» роботів, включно з проблемою перетворення сенсорної інформації;
- керування роботами, з врахуванням й групового;
- програмування та штучний інтелект роботів;
- взаємодія між людиною та роботом;
- свідомі та філософські аспекти проблеми, зокрема пов'язані зі штучним інтелектом колективно пов'язаних роботів, їх еволюцією з розвитком техніки.

При вирішенні цих проблем, як і проблеми створення роботів в цілому, є копіювання людини та живої природи в цілому, однак не менш важливим в рамках сучасної техніки є пошук нових шляхів. Прикладом другого шляху є телескопічні механізми рук; застосування електромагнітного поля для орієнтації та взяття предметів; перехід на колісний хід замість ходи.

### **3.10.2 Класифікація промислових роботів та їх основних складових**

Розглянемо класифікацію роботів, призначених для застосування їх в промисловості, тобто для промислових роботів.

Згідно з ГОСТ2586-83 **промисловий робот (ПР)** – це автоматична машина, яка являє собою сукупність маніпулятора та перепрограмованого пристрою керування для виконання у виробничому процесі рушійних та керівних функцій, які замінюють аналогічні функції людини при переміщенні предметів виробництва та оснащення.

**Перепрограмовність робота** – це його властивість змінювати керівну програму автоматично або за допомогою оператора. Зміна керівної програми здійснюється перемиканням заздалегідь занесених до пам'яті пристрою керування програм, заміною програмоносія або введенням до пам'яті нової керівної програми з якого-небудь носія.

**Маніпулятор** являє собою розімкнений кінематичний ланцюг, оснащений робочим органом та приводами для виконання рушійних функцій, подібних функціям руки людини при переміщенні об'єктів.

Разом із застосуванням у ПР маніпулятор використовується і як самостійний пристрій, керований оператором.

**Пристрій керування ПР** призначений для формування та видавання керівних дій згідно з керівною програмою.

Виділимо ще одну складову частину ПР – **робочий орган (РО)**. Він призначений для безпосереднього виконання технологічних операцій або допоміжних переходів. Прикладами робочого органу слугують захоплювальні пристрої, зварювальні кліщі, фарбувальний пістолет, складальний інструмент.

На рисунку 3.13, а) наведена загальна функціональна схема ПР, а на рисунку 3.13, б) – блок-схема робота як автоматичної системи, яка складається з пристрою керування ПК, маніпуляторів М та пристрою пересування ПП.

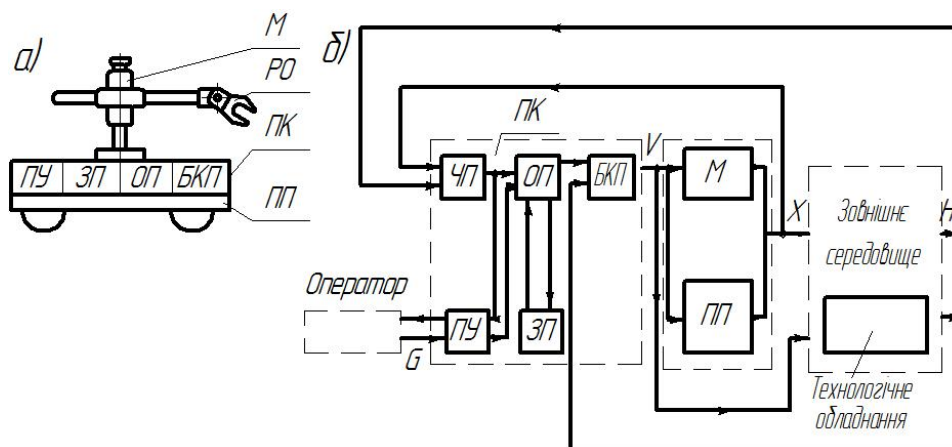


Рисунок 3.13 – Загальна функціональна схема ПР

Маніпулятори та пристрої пересування є виконавчими пристроями робота, безпосередньо взаємодіючими із зовнішнім середовищем.

Пристрої пересування роботів можуть бути основані на базі відомих способів пересування, починаючи з кочення і закінчуючи крокуванням.

До складу ПК конструктивно входить: пульт керування ПУ, за допомогою якого оператор виконує введення та контроль завдання; запам'ятовувальний пристрій ЗП, в якому зберігаються програми роботи і інша необхідна інформація; обчислювальний пристрій ОП, в якому реалізується алгоритм керування роботом.

Пристрій керування може бути виконаний у вигляді окремого самостійного пристрою або вбудований в корпус робота. При цьому блок керування приводами БКП може бути розміщений в корпусі робота (як правило, в роботах з пневматичними та гідравлічними приводами) або в окремо розташованому (зазвичай в роботах з електромеханічним приводом).

Промисловий робот має **два режими роботи**:

- режим програмування, при якому в ЗП заноситься програма функціонування робота;
- режим відпрацювання технологічної операції.

На рисунку 3.13, б) показано перераховані частини ПК та їх функціональні зв'язки, а також комплекс чутливих пристроїв ПК (датчиків), які виявляють власно стан робота X та зовнішнього середовища H. На рисунку 3.13 позначено:

G – завдання на роботу, яку вводять в ПК оператором; V – вихідний вплив ПК на двигун маніпулятора та пристрій пересування робота. Крім того, ПК (зазвичай через БКП) здійснює керівну дію на технологічне обладнання, яке обслуговується роботом або працює сумісно з ним, а

також на сумісно працюючі інші роботи. Технологічне обладнання і інші роботи, зі свого боку, можуть здійснювати керівну дію на цього робота.

Згідно з ГОСТ 2587-83 промислові роботи класифікуються за такими основними ознаками: спеціалізації, вантажопідйомність, кількості ступенів рухливості, можливості пересування, спосіб встановлення на робочому місці, вид системи координат, вид привода, вид керування та способу програмування.

**За спеціалізацією ПР поділяються на:**

- спеціальні (для виконання певних технологічних операцій або допоміжних переходів при функціонуванні з конкретною моделлю технологічного обладнання);

- спеціалізовані (для виконання технологічних операцій одного виду або допоміжних переходів при функціонуванні з певною групою моделей технологічного обладнання. Приклади – технологічні операції одного виду такі як зварювання, фарбування, складання і т. ін. або група моделей технологічного обладнання – група моделей верстатів із горизонтальною віссю шпинделя);

- універсальні (для виконання технологічних операцій різних видів та допоміжних переходів при функціонуванні з різними групами моделей технологічного обладнання).

За способами встановлення на робочому місці ПР бувають:

- вбудовані в одиницю технологічного обладнання;
- підлогові (розташовуються біля одиниці технологічного обладнання);

- підвісні (розташовуються на порталах над одиницею технологічного обладнання або над декількома одиницями обладнання).

Різновиди ПР за іншими класифікаційними ознаками наведені нижче, у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Різновиди ПР

Класифікаційна ознака	Найменування робота згідно з ознакою
1	2
Кількість маніпуляторів	З одним, двома та більше: - з окремими приводами і залежним керуванням (за однією, двома або більше ступенями рухливості); - із загальними приводами (за однією, двома або більше ступенями рухливості).
Кількість ступенів рухливості (включно із пристроєм пересування)	З двома, трьома та більше ступенями: - рухомі; - нерухомі.



Продовження таблиці 3.2

1	2
Тип робочої зони маніпулятора	З робочою зоною: - на площині; - на площині у формі паралелепіпеда; - кулястої форми; - комбінованої форми.
Вантажопідйомність	- Надлегкий; - легкий; - середній; - важкий; - надважкий.
Типи приводів М та УП	- Пневматичний; - гідравлічний; - електричний; - комбінований.
Тип системи керування: - за принципом керування; - за кількістю разом керованих роботів	З цикловим керуванням. З програмним керуванням: - позиційним; - контурним; - комбінованим. Чутливі роботи: - із неадаптивним керуванням; - із адаптивним керуванням; - із індивідуальним керуванням; - із груповим керуванням.
Клас точності	С точністю за класом 0, 1, 2, 3.
Тип виконання	- Нормальне; - пилозахисне; - теплозахисне; - вибухонебезпечне.

### 3.10.2.1 Маніпулятори

Маніпулятори – механічні руки роботів в загальному випадку складаються з багатоланкових механізмів, приводів та робочих органів.

Найпоширенішим варіантом конструктивного виконання маніпулятора є автономне від керівного пристрою (рис. 3.14); містить такі частини приводів окремих ланок маніпуляторів та його робочого органу – власне двигун, передаточні механізми і чутливі пристрої зворотного зв'язку, які разом називаються приводними пристроями.

Крім того, на маніпуляторі можна розташувати чутливі пристрої, які надають інформацію про зовнішнє середовище до керівного пристрою робота в цілому.

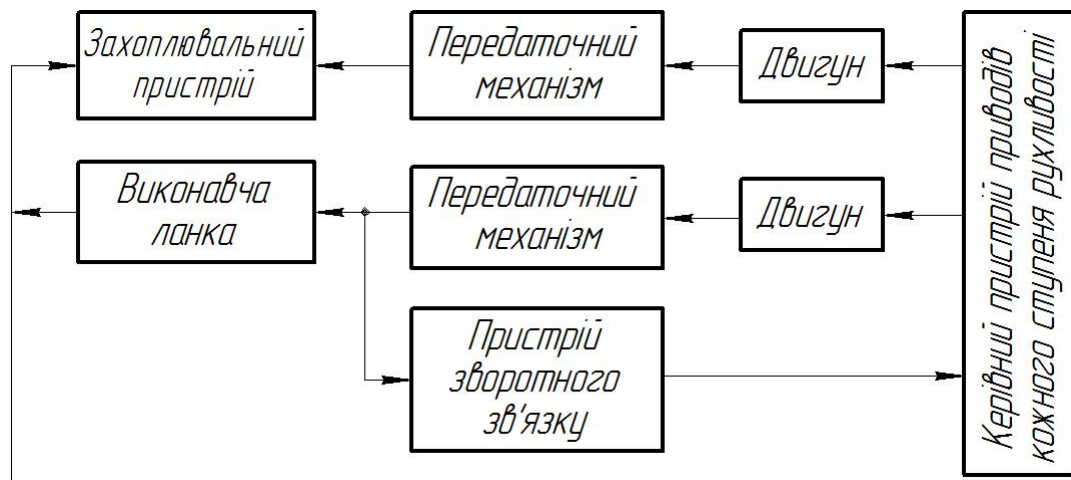


Рисунок 3.14 – Компонування манипулятора

Манипулятор, як одна із головних складових частин робота значною мірою визначає технічні можливості та особливості робота. Тому в наведеній вище класифікації промислових роботів за восьми ознаками, чотири перші повністю і дві останні значною мірою пов'язані з манипуляторами. Класифікація роботів за цими ознаками є також і класифікацією їх манипуляторів.

#### **Класифікація манипуляторів за типом їхніх кінематичних схем**

Манипулятори промислових роботів мають розімкнені (відкриті) кінематичні схеми, перші ланки (стійки) яких є корпусом манипулятора, а останні – несуть робочі органи робота.

З особливостями кінематичних схем манипуляторів пов'язаний ще один принцип, який не увійшов до класифікації. В основу цього принципу покладений **характер виконання манипулятором за допомогою переносних ступенів рухливості рухів відносно тієї чи іншої системи координат**. Характер цих рухів задається за типами відповідних переносних ступенів рухливості кінематичних пар.

**Згідно з цією класифікацією як манипулятори, так і роботи поділяються на 4 групи:**

- 1) працюючі в прямокутній системі координат;
- 2) працюючі в циліндричній системі координат;
- 3) працюючі у сферичній системі координат;
- 4) працюючі в комбінованій системі координат.

Наприклад, на рисунку 3.15 наведена схема манипулятора, який працює в прямокутній системі координат та його робоча зона, а на рисунку 3.16 – схема манипулятора, працюючого в циліндричній системі координат та його робоча зона.

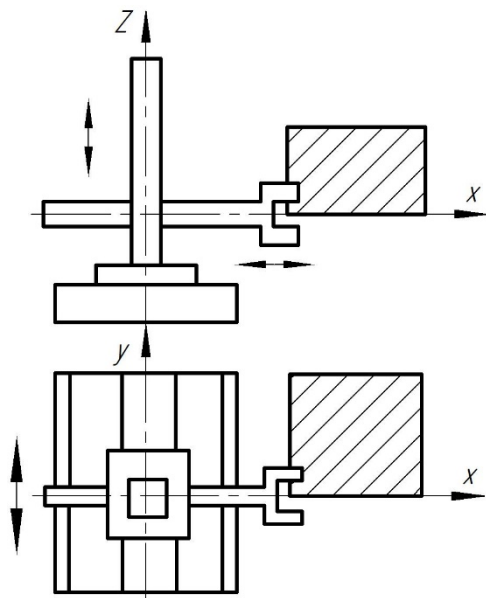


Рисунок 3.15 – Маніпулятор, який працює в прямокутній системі координат

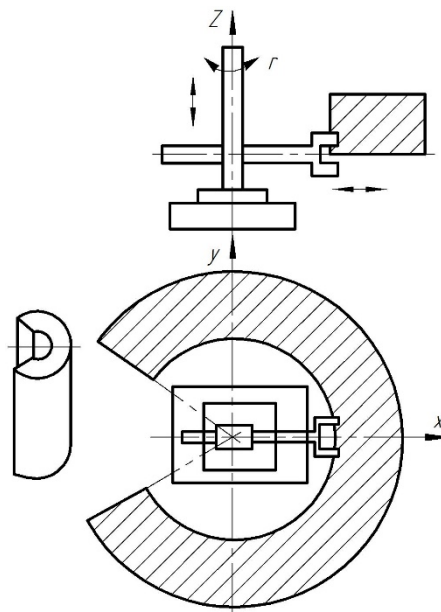


Рисунок 3.16 – Робоча зона маніпулятора

## Класифікація маніпуляторів за типом приводних пристроїв

### 1. Пневматичні

Двигунами слугують пневмоциліндри зі зворотно-поступальним рухом штока, поворотні та ротаційні двигуни (пневмомотори). При цьому найбільш поширеним типом двигуна є пневмоциліндр.

Вантажопідйомність – до 15 кг.

Швидкість руху ланок – до 2 м/с.

Переваги:

- можливість працювати у важких експлуатаційних умовах (вибухонебезпечні середовища, висока запиленість т. д.);
- для поступальних переміщень ланок маніпулятора не потрібні достатньо складні передаточні механізми;
- вартість при інших рівних умовах в 2–3 рази нижча, ніж гідравлічних;
- знижені вимоги до ущільнень.

Недоліки:

- м'яка механічна характеристика (це затрудняє створення позиційних приводів);
- потребують спеціальних гальмівних пристроїв;
- мають найпростішу циклову схему керування.

### 2. Гідравлічні

Двигунами є гідроциліндри із зворотно-поступальним рухом штока, гідродвигуни обертального типу та гідромотори. Найбільш поширений – гідроциліндр.

Вантажопідйомність – від 10 кг та вище (практично без обмеження зверху).

Переваги:

- значно вища питома потужність на одиницю маси;
- високий к.к.д.;
- високі точнісні якості (наприклад, позиціонування);
- просто та надійно фіксуються в своїх потокових положеннях.

Недоліки:

- впливає температура навколишнього середовища;
- високі вимоги до ущільнень;
- складне обслуговування.

### 3. Електромеханічні

Двигуни – електродвигуни постійного струму, крокові двигуни та асинхронні. Найбільш поширені – електродвигуни постійного струму.

Переваги:

- мають широкий діапазон вантажопідйомності (від часток до сотень кілограм);
- високі точнісні якості;
- незначний вплив зовнішніх факторів.

Недоліки:

- потребують складних передаточних механізмів (оскільки використовуються високообертові електродвигуни);
- мають менші швидкості ланок (ніж пневматичні);
- ускладнюється конструкція за рахунок введення пристроїв фіксації положення ланок.

### **Робочі органи маніпулятора**

Робочі органи маніпулятора поділяються на:

- захватні пристрої, які забезпечують взяття та утримання об'єктів маніпулювання;
- технологічні інструменти, за допомогою яких виконуються основні технологічні операції.

### **Захватні пристрої**

Захватні пристрої класифікуються за такими ознаками:

- за способом захвату та утримання об'єктів (механічні; вакуумні; електромагнітні; комбіновані; струменеві);
- за наявністю пристроїв відчуття (нечутливі; чутливі).

## **3.11 Автоматизована транспортно-накопичувальна система (АТНС)**

З метою нормального функціонування ГВС в автоматичному режимі необхідно, щоб верстатки були забезпечені потрібним запасом заготовок, різального та допоміжного інструменту, а також технологічної оснастки.

Для зберігання цього матеріального потоку (в потрібній кількості та номенклатурі), його подачі до верстатів (у необхідний час), а також для виконання завантажувально-розвантажувальних операцій слугують автоматизовані транспортно-накопичувальні системи (АТНС).

АТНС, як одна з основних підсистем гнучкого виробництва, значною мірою визначає компонування, функціональні можливості та вартість ГВС, а також надійність її роботи. Вартість АТНС (до складу якої входять транспорт, приймальні столи ПС, магазини, пристрої централізованої подачі ЗОР та видалення відходів і т. ін.) становить до 40% вартості ГВС.

### 3.11.1 Транспортні системи

Під транспортною системою, яка входить до складу АТНС, розуміється транспорт, функціонально пов'язаний із основним та допоміжним обладнанням ГВС, що забезпечує переміщення заготовок, оброблених виробів, різального інструмента, змінних агрегатів та вузлів (наприклад, багатошпиндельних головок) та ін., необхідних для здійснення технологічного процесів в ГВС у автоматичному або автоматизованому режимі. До складу транспортної системи можуть входити також пристрої для подачі ЗОР, збирання та видалення відходів виробництва (насамперед, стружки).

Нижче наведено класифікацію транспортного обладнання типових АТНС ГВС (рис. 3.17).

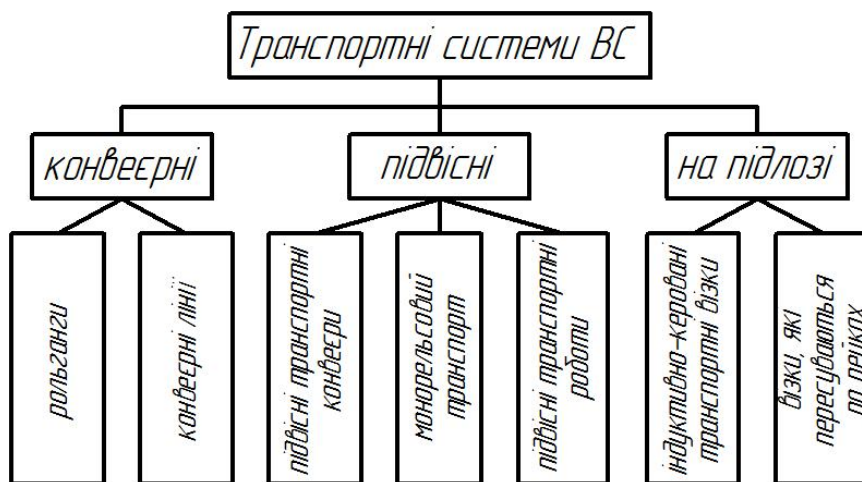


Рисунок 3.17 – Класифікація транспортного обладнання типових АТНС ГВС

**Окремо потрібно зупинитися на використанні у ГВС самохідних візків (електророботів).**

Застосування таких візків постійно розширюється, що пов'язано насамперед з їх універсальністю, а також іншими їх перевагами, вказаними нижче.

**Недоліки:** значна похибка їх фіксації на позиціях перевантаження.

**За призначенням** електроробокари поділяються на такі види:

- робочий візок призначений для транспортування вантажів;
- завантаження-розвантаження візка здійснюється вручну або за допомогою ПР;
- може комплектуватися різними пристроями для закріплення та знімання вантажу;
- візок-тягач (призначений для переміщення вантажу у причепних візках);
- візок-перекладач призначений для транспортування вантажів на піддонах або ПС;
- може комплектуватися підйомниками, рольгангами, виштовхувачами вантажів та іншими відповідними механізмами, які виконують завантажувально-розвантажувальні операції у автоматичному режимі.

**Функції електроробокарів** в умовах ГВС:

- транспортування вантажів від складів та міжопераційних накопичувачів до технологічного обладнання і в зворотному напрямку;
- транспортування вантажів всередині ділянки відповідно до технологічного процесу обробки відповідної деталі;
- використання як рухомих платформ при виконанні таких технологічних операцій як зварювання, складання, контроль і т. ін.;
- використання як засобів завантаження-розвантаження, які забезпечують захоплення та укладання вантажів, що транспортуються (в цьому випадку візки комплектуються ПР, внаслідок чого їх і називають **електроробокарами**).

**Переваги:**

- простота змінення трас транспортно-технологічних маршрутів, що значно підвищує гнучкість виробництва;
- вивільнення виробничих площ від транспортних засобів, що значно полегшує доступ до обладнання;
- можливість підвищення продуктивності транспортного процесу шляхом поповнення парку рухомого складу та розширення маршрутної схеми;
- можливість ручного керування транспортом в екстрених випадках і т. ін.;
- виключення людини із сфери монотонних та втомлювальних процесів завантаження, розвантаження та транспортування вантажів;
- створення рухомих робочих місць для виконання складання;
- покращується оглядовість робочих місць;
- підвищується культура виробництва.

До складу самохідного візка входять основні вузли (рис. 3.18):

- платформа з приводними пристроями;
- напрямний пристрій, до складу якого входить бортова ЕОМ;
- система стеження за рухом за зазначеним маршрутом та пристрій шляхового контролю;

- пульт керування;
- пристрій зв'язку з ЕОМ;
- система сигналізації та безпеки робота;
- технологічне оснащення для маніпуляції з вантажем;
- акумуляторна батарея.

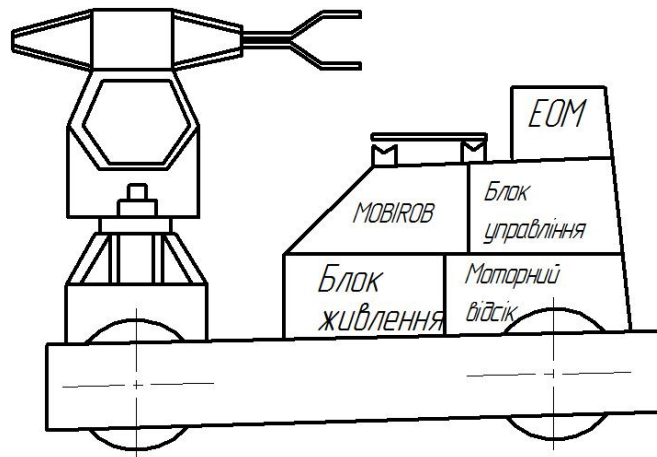


Рисунок 3.18 – Самохідний візок

Візки приводяться в дію від електродвигунів (з живленням від батареї), що забезпечують двозмінний запас ходу (близько 15 годин безперервної роботи), після закінчення якого візки автоматично спрямовуються на дільницю підзарядки.

На дільниці одночасно можуть працювати кілька транспортних засобів різних конструкцій, кожен з яких виконує задану роботу в заздалегідь визначеній зоні обслуговування.

У процесі роботи візків можуть виникати перешкоди на шляху їх переміщення. Спеціальні чутливі амортизатори і фотоелектричні пристрої забезпечують зупинку транспортних візків у разі непередбачених обставин.

Траса (маршрут) переміщення самохідних візків задається системою наведення – індукційною або фотоелектричною. При індукційній системі наведення маршрут, по якому рухається візок, задається дротовим провідником, що має вигляд замкнутого контура. Дріт прокладають в пазах підлоги, після чого їх закривають профільною гумою і заливають рідким розчином. По провіднику тече змінний струм низької частоти (5–32 кГц), який отримується від стаціонарного генератора. Уздовж провідника, по якому тече струм, створюється магнітне поле з концентричним розташуванням силових ліній. Поле пронизується котушками індуктивності, розташованими на днищі візка.

Електронний пристрій рульового керування порівнює напруженість магнітного поля двох приймальних котушок. При появі неузгодженості виробляється командний сигнал, що подається на електропривод рульового керування, в результаті чого напрямок руху візка змінюється.

Візки досконаліших конструкцій можуть залишати свої контактні проводи й автоматично маневрувати, відшуковуючи свій контактний провід, після чого продовжувати переміщення в звичайному режимі.

При одночасному застосуванні декількох візків поряд з трасою руху задаються блокування, що попереджають наїзди на транспорт, що рухається попереду і регулюють рух на перехрестях та у місцях розгалуження.

Зв'язок візка із загальноцеховою системою керування здійснюється по радіо або з допомогою фотоелектричних пристроїв. Передбачається також можливість роботи візка в автономному режимі.

При фотоелектричній системі наведення маршрут руху візка прокладається за допомогою добре відбиваючих світло смуг фольги, що наклеюються на поверхню підлоги.

Знизу візка встановлюють освітлювач, який дає направлений потік світла на фольгу. Відбитий потік світла направляється на світлоприймач і через систему керування на сервомотор рульового керування, що забезпечує дотримання траси переміщення.

У перспективі передбачається керувати переміщенням візка, наприклад, за допомогою радіопроменя або лазера.

Візки оснащуються широкою номенклатурою автоматизованих завантажувально-розвантажувальних пристроїв.

АТНС ГВС компонуються переважно за двома схемами – лінійною і замкненою. Варіант схеми визначається маршрутом руху оброблюваних виробів в горизонтальній площині.

Якщо робочі позиції розташовані осторонь від основної транспортної магістралі, то в умовах двостороннього руху можлива будь-яка послідовність проходження позиції.

Якщо ж рух односторонній, то при лінійній розстановці робочих позицій можлива тільки жорстка послідовність обробки, а при замкненому компонуванні – будь-яка послідовність.

Замкнені компонування виконуються зазвичай у формі прямокутника, рідше у вигляді кола. Одна з важливих переваг замкненої системи порівняно з лінійною полягає в тому, що завантажувальна позиція може бути поєднана з розвантажувальною і на об'єднаній позиції оброблювані деталі знімаються із супутників і тут само на них одразу встановлюються нові заготовки.

### **3.11.2 Накопичувальна система**

Основна задача накопичувальних систем – забезпечити зберігання біля верстатів необхідного запасу заготовок, різального і допоміжного інструменту, технологічної оснастки, змінних вузлів і агрегатів верстатів та інших елементів матеріального потоку, який забезпечує нормальне функціонування ГВС.



При виборі місткості накопичувальної системи доводиться вирішувати суперечливу задачу. З одного боку, для підвищення гнучкості виробництва і прискорення його для переналагодження на виготовлення нової продукції, а також з метою підвищення коефіцієнта використання обладнання потребується великий запас заготовок, інструменту та оснастки широкої номенклатури. З іншого боку, наявність біля верстатів заготовок, що очікують своєї черги на обробку, збільшують обсяг незавершеного виробництва, що економічно недоцільно.

Чим більша номенклатура виготовлюваних виробів, чим менша серійність їх виготовлення, тим більше запасу потрібно для забезпечення гнучкості виробництва.

Елементи, що становлять матеріальний потік, зберігаються в спеціальних складах, які в умовах ГВС конструктивно виконані у вигляді автоматичних магазинів або бункерів. Зберігання може бути як централізованим (в загальному складі ГВС), так і децентралізованим (безпосередньо біля верстатів). На практиці отримали поширення комбіновані АТНС, які забезпечують як централізоване, так і децентралізоване зберігання.

Корпусні деталі, виготовлювані із застосуванням ПС, разом з ПС зберігаються в багатоярусних магазинах. Оскільки ПС мають нормалізовані габарити і приєднувальні розміри, автоматизувати їх завантаження-розвантаження відносно не складно.

Більш складними є магазини для зберігання деталей типу тіл обертання, що пов'язано перед усім із різноманіттям геометричних форм таких деталей.

Принципова схема облаштування сучасних магазинів для зберігання деталей типу тіл обертання така. В середині магазину залежно від транспортованих деталей встановлюються змінні чи регульовані піддони, в яких на уніфікованих елементах (призмах, втулках, патронах і т. ін.) знаходяться заготовки. Піддони в магазинах зберігаються стопами (штабелями). Магазин має привод, який висуває кожен піддон окремо та подає його на тактовий стіл або спеціальний конвеєр, по якому піддон з заготовками переміщується в зону, обслуговувану ПР. Останній бере заготовку з піддона та завантажує у верстат, а оброблювану деталь укладає на звільнене місце. Конвеєр має замкнену кільцеву конструкцію, тому пустий чи заповнений обробленими деталями піддон повертається по ньому до вихідної позиції. За необхідності піддон з обробленими деталями переспрямовується на центральний конвеєр та по ньому прямує або на наступну операцію, або на контрольну позицію і далі в центральний склад.

Існує багато різноманітних конструкцій магазинів, а також способів зберігання і доставки заготовок до верстатів. Однак при цьому більшість піддонів мають пласку форму з уніфікованими габаритними розмірами і модульною конструкцією, яка має як мінімум такі нормалізовані (уніфіковані) вузли: раму (основу); вставку, на якій встановлені опорні

елементи (вставка з опорними елементами монтується в рамку); опорні елементи для встановлення заготовок (призми, втулки, патрони і т. ін.).

Перевагами вказаної модульної конструкції піддонів є:

- рама (основа) забезпечує зберігання широкої номенклатури деталей типу тіл обертання заданого типорозміру та може бути використана практично для будь-яких верстатів: вставка суттєво не залежить від типу виробу, який зберігається;

- опорні елементи є єдиними елементами, які потрібно підганяти під форму і розміри виробу, який зберігається.

Найбільше поширення отримали такі види магазинів з пересувними піддонами:

- магазини, які забезпечують поштучне зберігання піддонів, що не вкладаються в штабеля (переміщення піддонів відбувається поштучно);

- магазини, де піддони зберігаються в штабелях (переміщення піддонів відбувається штабелями, які доставляються на підготовчу позицію, розташовану поруч із верстатом, для завантаження–розвантаження);

- магазини пересувного типу, які самі разом з заготовками переміщуються до верстата (заготовки в магазинах зберігаються в піддонах, які видаються поштучно).

Магазини вказаних видів можуть обслуговуватись порталними ПР, що значно полегшує створення АТНС.

### **3.11.2.1 Оперативний накопичувач**

Передбачений для розміщення запасу заготовок, встановлених на супутниках, а також оброблених деталей. Тривалість обробки деталей на верстатах неоднакова і інтервали часу, через який надходять оброблені деталі, можуть бути або більші, або менші часу, необхідного для виконання оператором розвантаження з супутників оброблених деталей та завантаження на них заготовок. Якщо інтервали часу подачі оброблених деталей менші часу, необхідного для виконання оператором розвантаження і завантаження супутників, автоматичний візок забирає черговий супутник із заготовкою з оперативного накопичувача та перевозить його до верстата, а оброблену деталь транспортує від верстата та встановлює в оперативний накопичувач. Відсутність в цьому випадку оперативного накопичувача призвела б до затримки завантаження верстатів та їх простоювання.

В ті періоди роботи комплексу, коли інтервали часу надходження оброблених деталей більші часу, який витрачається на розвантаження і завантаження супутників на монтажному столі, оператор має резерв часу, протягом якого він може розвантажити супутники з обробленими деталями, які накопичилися на оперативному накопичувачі, викликати зі складу заготовки, завантажити їх на звільнені супутники та поповнити запас заготовок на оперативному накопичувачі.

Кількість комірок оперативного накопичувача має забезпечувати розміщення по одній резервній заготовці (як мінімум) кожного найменування, оброблюваної в поточному періоді на комплексі. При такій місткості оперативного накопичувача оператор постійно зайнятий виконанням завантаження і розвантаження супутників. Збільшення кількості комірок оперативного накопичувача дозволяє розширити резерв заготовок, встановлюваних на супутники і тим самим забезпечити можливість роботи комплексу деякий час без участі оператора. Однак із збільшенням кількості комірок зростає кількість супутників і пристроїв на комплексі.

На зварній рамі 1 (рис. 3.19) комірки оперативного накопичувача встановлена плита 2, на якій змонтовані напрямні планки 3 і жорсткий упор 4. Супутник при завантаженні на комірку переміщується по напрямних планках до жорсткого упору. Від самовільного зміщення супутник утримується підпружиненою заскочкою 5. Номер супутника, встановленого на комірку, зчитується кодовим безконтактним датчиком 6. Комірка оперативного накопичувача може бути налаштована на встановлення супутників різноманітних розмірів (400×400 мм; 630×630 мм; 400×1000 мм), для чого потрібна комірка оперативної заміни напрямних планок і зміщення жорсткого упору.

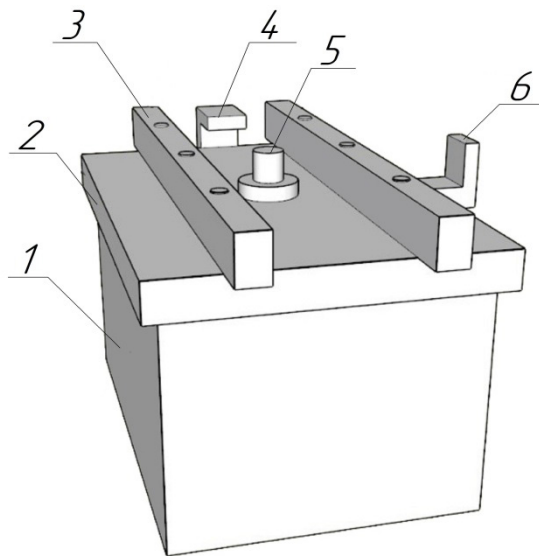


Рисунок 3.19 – Оперативний накопичувач

### 3.11.2.2 Супутники

Автоматизований виробничий процес (транспортування, завантаження, обробка) потребує правильної орієнтації і надійного закріплення заготовки та оброблюваних деталей на обладнанні комплексу.

Для цілого класу деталей, до якого відносяться тіла обертання (вали, шпинделі, втулки, фланці і т. ін.) характерна, не дивлячись на різницю в розмірах, наявність ідентичних і однаково розташованих (концентрично)

поверхонь, які дозволяють виконати точну орієнтацію та затискання різноманітних заготовок як на верстатах, так і на іншому обладнанні комплексу без додаткових пристроїв.

Деталі типу корпусів, важелів, кареток не мають ідентичних і однаково розташованих поверхонь для базування та закріплення. Для їх орієнтації і затискання необхідні допоміжні пристрої – **супутники**.

Заготовки встановлюються та затискаються в пристрої, які зі свого боку, монтуються на супутники. На супутниках виконані спеціальні поверхні для базування і закріплення, узгоджені з відповідними елементами вузлів фіксації й затискання, встановлюваних на робочих столах верстатів і обладнання транспортно-завантажувальної системи.

Вимоги точності орієнтації на режимних компонентах комплексу неоднакові. Найбільша точність необхідна при установленні супутника на робочий стіл верстата, що і визначає точність виконання базових поверхонь на супутниках, обслуговуючих комплекс. Похибка установлення супутника виражається в його лінійних  $\varepsilon$  і кутових  $\alpha$  зміщеннях відносно баз пристрою фіксації, розташованого на робочому столі верстата. Існує декілька способів базування супутників:

- на нерухомі фіксаторні пальці;
- рухомі (висувні) фіксаторні пальці з циліндричною базою;
- на рухомі фіксаторні пальці з конічною базою;
- за допомогою упорів, фіксуючих супутник в двох взаємно перпендикулярних площинах.

Похибка установлення при перших трьох способах базування викликається наявністю зазорів в елементах базування (між фіксаторними пальцями і фіксаторними отворами в супутниках, між фіксаторними пальцями і напрямними втулками в механізмах фіксації супутників при рухомих фіксаторах).

Похибка установлення для супутників розміром 630×630 мм:

- для I способу базування  $\varepsilon = 0,025/0,03$  або  $\alpha = 10''$ ;
- для II способу базування  $\varepsilon = 0,03/0,035$  або  $\alpha = 12''$ ;
- для III способу базування  $\varepsilon = 0,01/0,015$  або  $\alpha = 3/4''$ .

Похибка установлення для супутників за четвертим способом базування виникає тільки від пружних деформацій в елементах фіксації і практично близька до нуля ( $\varepsilon \approx 0,003/0,005$  або  $\alpha = 2''$ ).

Пристрої фіксації і затискання супутників при IV способі базування простіші, ніж при фіксуванні супутників на фіксаторних пальцях, оскільки не потрібні додаткові механізми для переміщення супутників або фіксаторних пальців в напрямку їх осі.

Супутник 1 являє собою чавунну плиту (рис. 3.20), на яку встановлені елементи фіксації – фіксаторні втулки або планки – і виготовлені поверхні для його затискання (нижні уступи T-подібних пазів).

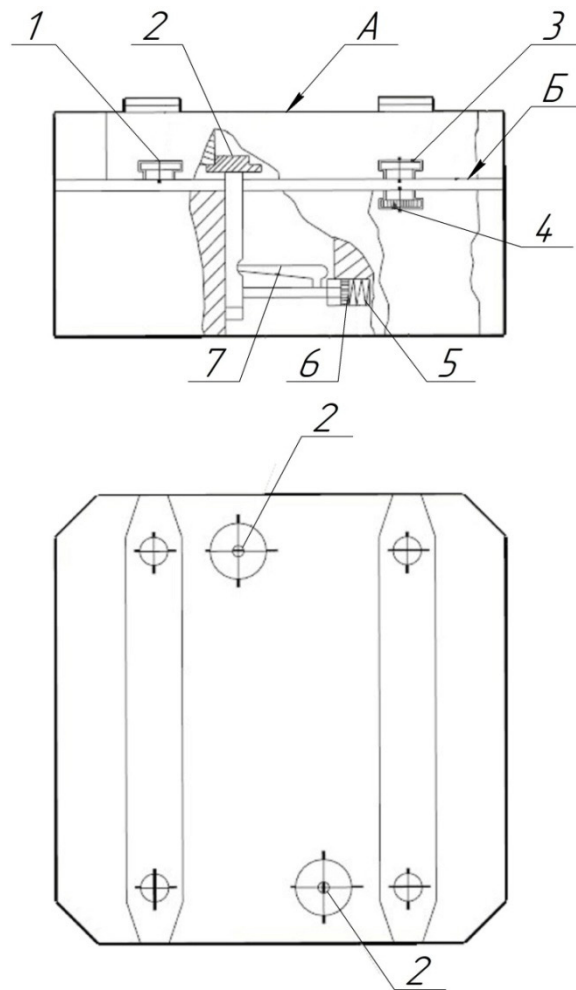


Рисунок 3.20 – Супутник

Пристрій з оброблюваною деталлю встановлюється на поверхню А і фіксується пальцями чітко зорієнтованими відносно елементів фіксації супутника.

Пристрій фіксації і затискання з базуванням супутника на два циліндричних висувних фіксаторних пальці 2 наведений на рисунку 3.17.

Зовнішній завантажувальний пристрій подає супутник із заготовкою на базову поверхню Б. При цьому дві затискні планки 3 входять в Т-подібні пази супутника. Робоча порожнина гідроциліндра 5 з'єднана зі зливним каналом і поршень 6 переміщується під дією тарілчастих пружин, забезпечує за допомогою важелів 7 висування фіксаторів 2, які входять в отвори фіксаторних втулок супутника, здійснюючи його фіксацію. Затискання супутника виконується двома планками 3, які переміщуються під дією пружин, встановлених в чотирьох гідроциліндрах 4. При розтисканні і розфіксації масло під дією тиску подається в гідроциліндри 4 і 5.

Всі супутники комплексу мають свої номери. Кодові гребінки з номерами супутників встановлюють на їхній боковій поверхні.

### 3.11.2.3 Інші складові АТНС

**Завантажувальний маніпулятор.** Для переміщення оброблених деталей і заготовок між монтажним столом і столом розвантаження – завантаження складу використовується електромеханічний завантажувальний маніпулятор МП 100 збалансованого типу (рис. 3.21).

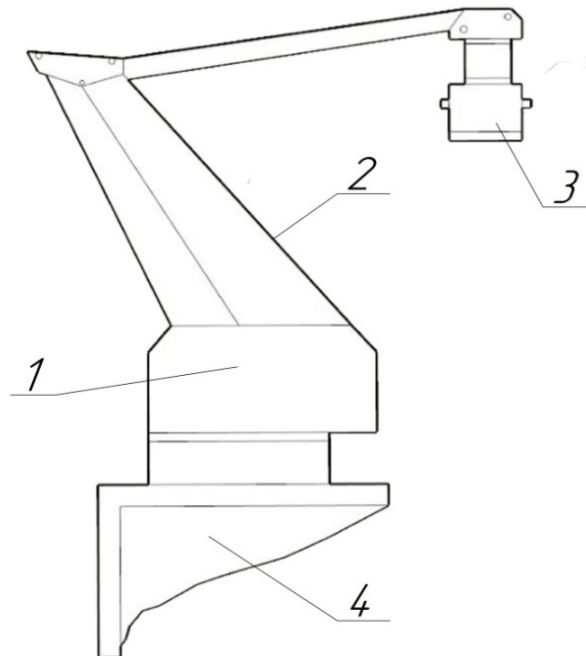


Рисунок 3.21 – Електромеханічний завантажувальний маніпулятор

Маніпулятор складається з таких основних вузлів:

- силового привода 1;
- важільного механізму 2;
- вантажного блока 3.

Важільний механізм має можливість повертатись навколо власної вертикальної осі на 360 градусів, вантажний блок також може повертатись на 360 градусів.

Захватні пристрої, змонтовані на вантажному блоці, – змінні.

Вантажопідйомність маніпулятора – 100 кг; максимальне горизонтальне і вертикальне переміщення вантажу – 1500 мм; максимальна швидкість вертикального переміщення – 200 мм/с.

Маніпулятор за допомогою кронштейна 4 встановлюється на вертикальний стоек стелажа складу.

**Грейфери.** Переміщення супутників може виконуватись за допомогою грейферних крокових транспортерів (рис. 3.22).

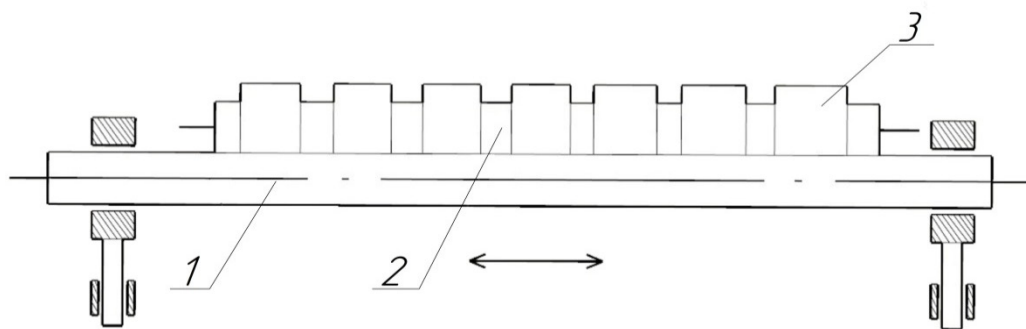


Рисунок 3.22 – Грейферний кроковий транспортер:  
1 – штанга; 2 – прапорці; 3 – супутник

**Агрегат завантаження супутників (його конструктивні елементи)**  
Захват захоплює супутник з обробленою деталлю (рис. 3.23).

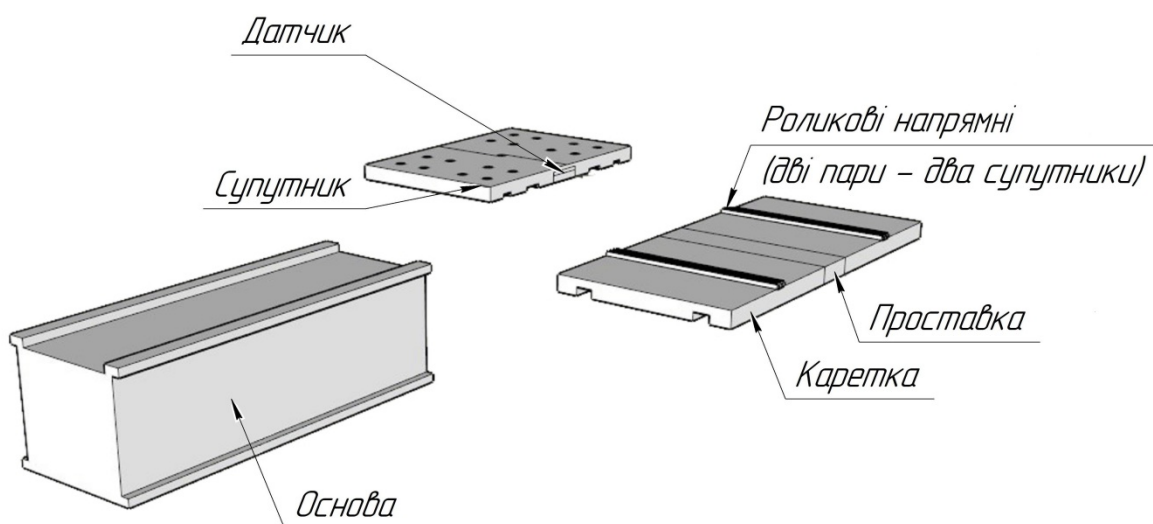


Рисунок 3.23 – Агрегат завантаження супутників

Привод подач складається із електродвигуна, черв'ячного редуктора, подавального ланцюга та блока кінцевих вимикачів. Конструкція ланцюга подач забезпечує його роботу в тягнучому та штовхальному режимах.

### 3.12 Роботизовані комплекси

Роботизовані комплекси є одним з найважливіших напрямків розвитку НТП галузей народного господарства. Це обумовлюється низкою причин, зокрема й тими, що вони дозволяють автоматизувати технологічні процеси, істотно збільшити продуктивність обладнання, легко переналагоджувати обладнання при зміні об'єкта виробництва та багатьма іншими.

**РТК** відповідно до ГОСТ 26228-85 визначений як сукупність одиниць технологічного обладнання, промислового робота і засобів оснащення, автономно функціонуюча і здійснююча багаторазові цикли.

Засобами оснащення РТК можуть бути пристрої накопичення, орієнтації, поштучної видачі об'єктів виробництва та інші пристрої, що забезпечують функціонування РТК.

Ці комплекси можна класифікувати за декількома ознаками, наприклад: за характером функцій, які виконуються промисловим роботом в складі комплексу, за галуззю застосування, за типом структури комплексу та ін. (рис. 3.24).

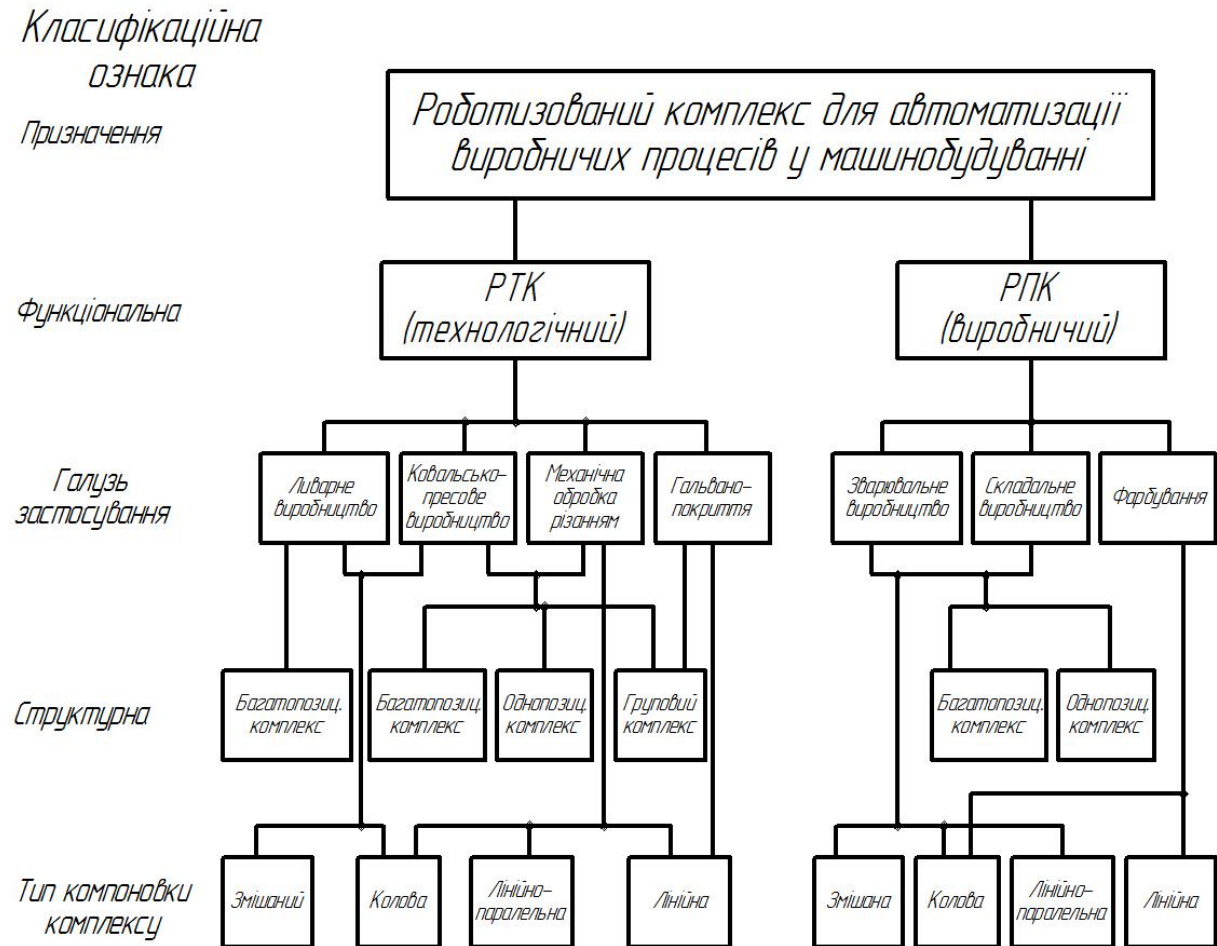


Рисунок 3.24 – Класифікація роботизованих комплексів

Однопозиційний РТК найчастіше має вбудований промисловий робот. Прикладом цього комплексу може слугувати один з перших вітчизняних РТК. До складу комплексу входять:

- токарний верстат моделі 16К20Ф3;
- ПР моделі СМ80Ц.48.1;
- магазин-накопичувач.

Комплекс призначений для токарної обробки гладких і ступінчастих валів в автоматичному режимі. ПР комплексу використовується для автоматизації заміни заготовок на металорізальному верстаті.



### Стисла технічна характеристика

Магазин-накопичувач, ємність в шт.	16-32
Маса заготовки, кг	40
Тип системи управління	H221M (контурна – верстат, циклова – ПР)
Точність позиціонування, мм	1,5
Тривалість циклу, с	45
Максимальний час заміни заготовки, не перебивається операційним часом	12

**Робот** безпосередньо закріплюється на передній бабці верстата і має дві руки.

**Верстат:** має автоматичне підведення–відведення огороження; затискання–розтискання патрона; датчики, які фіксують наявність деталі на верстаті.

**Робот:** керується в плоскій прямокутній системі координатних переміщень; має дві руки і три ступеня рухливості; забезпечений також універсальними захватами, що дозволяють брати гладкі і ступінчасті заготовки.

**Принцип роботи:** у вихідному положенні верстат завантажений заготовкою і налаштований на обробку конкретної деталі за певною програмою, магазин-накопичувач

РТК, будучи різновидом ГПС, класифікуються за рівнем автоматизації на роботизовані модулі, роботизовані АЛ і ділянки.

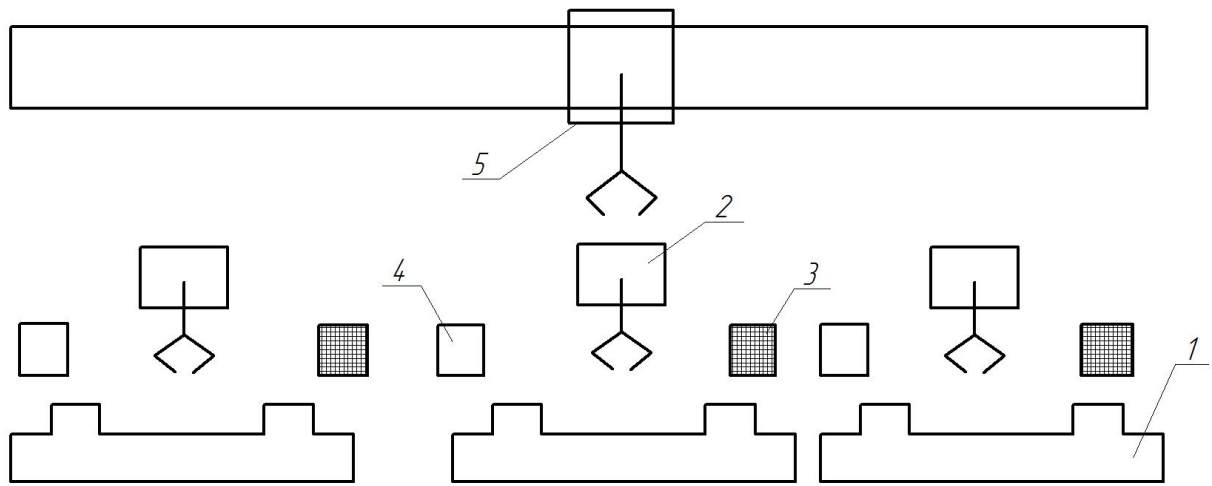
РТК може також вбудовуватися, наприклад, в ГАЦ і ГАЗ.

Рівень автоматизації РТК має бути економічно виправданим і сприяти розвитку та вдосконаленню всього технологічного комплексу в цілому.

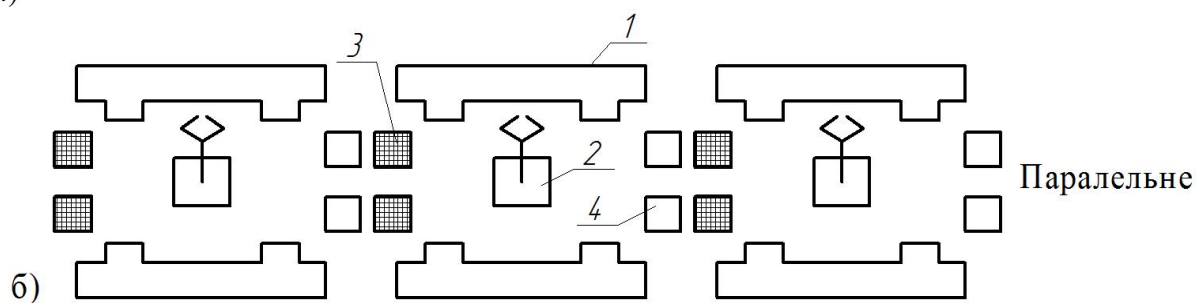
Практика використання ПР показує, що воно найбільш ефективно, коли ПР утворює із верстатом єдиний комплекс (модуль), який може функціонувати як автономно, так і в складі гнучкої виробничої системи (ГВС). Поступово збільшуючи число модулів, що входять у ГВС, можна збільшувати випуск продукції, розширювати номенклатуру виконуваних технологічних операцій і виготовлених деталей.

РТК типу «верстат-робот» чи «робот-група верстатів» (верстати розташовані по колу, в центрі якого встановлений обслуговуючий їх промисловий робот) з метою можливості стикування між собою мають бути згруповані за такими елементами, як приймальні позиції ПР, транспортні засоби, пристосування для кріплення деталей, тара (піддони, касети тощо), вихідні пристрої системи керування, верстатне обладнання.

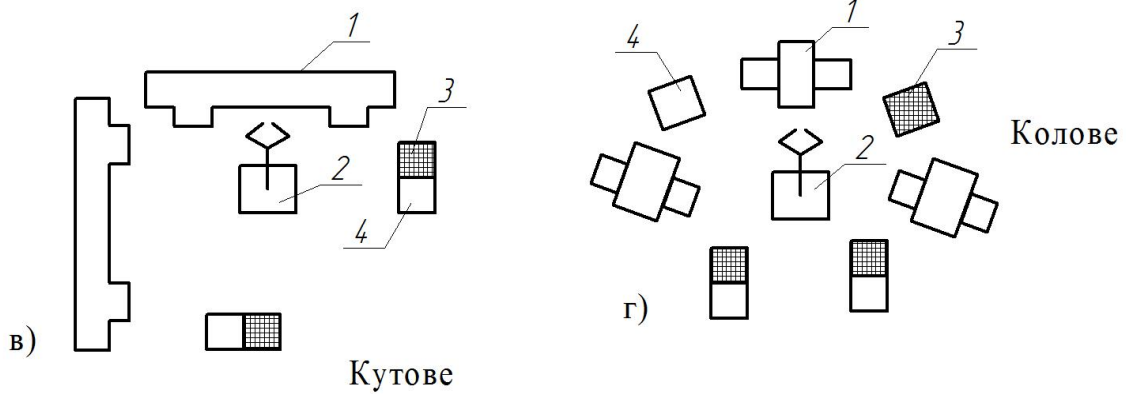
На базі одних і тих самих моделей верстатів можуть створюватися РТК різних компоновань, що комплектуються ПР, які мають різні технологічні можливості (рис. 3.25).



а) Лінійне розміщення обладнання

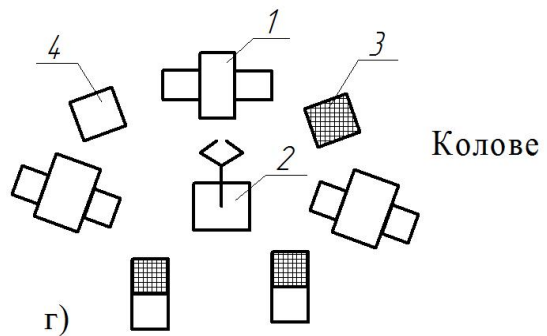


б)



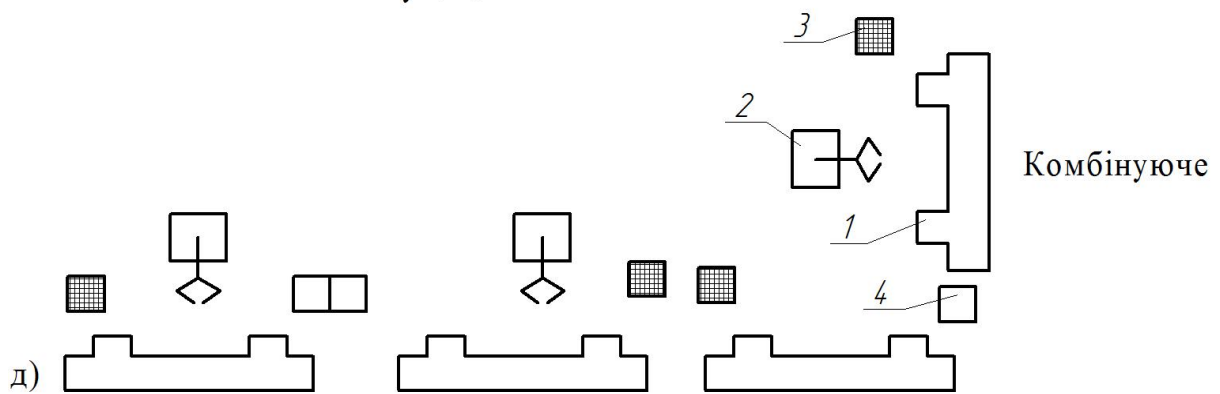
в)

Кутове



г)

Колове



д)

Комбінуюче

Рисунок 3.25 – Компонування РТК в ГАВ:

1 – верстат; 2 – завантажувально-розвантажувальний ПР; 3 – тара з обробленими деталями; 4 – магазин для заготовок; 5 – транспортний ПР

**Найбільш поширеними компоновальними рішеннями РТК є такі:**

- **одноверстатні** (верстат обслуговується підвісним ПР, розташованими над верстатом, підлоговим ПР, розташованим поряд з верстатом або вбудованим у верстат;

- **багатоверстатні лінійні та лінійно-паралельні** – верстати обслуговуються порталними ПР, що переміщуються уздовж лінії верстатів;

- **багатоверстатні колові** (верстати розташовані по колу, в центрі якого встановлений обслуговуючий їх підлоговий ПР).

РТК в багатьох випадках створюються на базі серійного випускання верстатів, які частково модернізуються з метою виконання зазначених вище вимог, що висуваються до верстатів, вбудовуваних в РТК.

При створенні РТК на базі МРС **потрібно враховувати специфічні вимоги до окремих видів верстатів:**

- у верстатах з горизонтальними столами і в токарних верстатах з вертикальним шпинделем необхідно автоматизувати очищення базових поверхонь пристосування або столу, призначених для встановлення оброблюваної деталі;

- у токарних верстатах з горизонтальним шпинделем має бути автоматизований підтиск оброблюваної деталі до торця патрона;

- у верстатах свердлильно-фрезерно-розточувальної групи має бути автоматизований підтиск деталі до опорної площини встановленого пристосування;

- верстати токарної групи необхідно оснастити пристроєм подрібнення стружки;

- кругло-торцешліфувальні і шліцеоброблювальні верстати мають бути обладнані самодійні патрони (торцеві, ланцюгові тощо);

- в зубообробних верстатах необхідно автоматизувати операцію базування оброблюваних деталей, а також переміщення і фіксацію бабки виробу на позиції завантаження.

ПЧПК і електроавтоматика верстата мають видавати в ПЧПК ПР інформацію про виклик робота на розвантаження або кантування деталі, а також про положення різних пристроїв верстата (патрона, огороження, пристрою зміни інструменту та ін.).

ПЧПК і електроавтоматика верстата мають також отримувати від ПЧПК ПР команди на ввімкнення пристроїв, не керованих від ПЧПК, і на пуск програми обробки.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які умови потрібно створити для зростання рентабельності виробництва та скорочення часу виготовлення деталей?

2. Які ступені автоматизації та інтеграції виробництва розрізняються в Німеччині та інших промислово розвинених країнах?

3. В яких напрямках проводиться вирішення науково-технічних задач з метою підвищення продуктивності праці?
4. Умови підвищення продуктивності праці в напрямку скорочення витрат часу та перспективні тенденції для цього.
5. Передумови створення ГАВ.
6. Дати характеристику історії розвитку ГАВ.
7. Соціально-технічні аспекти гнучкої технології.
8. Соціально-економічні аспекти гнучкої технології.
9. Науково-технічні та технологічні можливості й задачі впровадження ГАВ.
10. Які властивості потрібно надати виробництву для створення можливості скорочення термінів підготовки виробництва та зменшення трудомісткості виготовлення й вартості при високій якості продукції?
11. Принципи, які покладені в основу методики створення ГАВ. Характеристика кожного.
12. Основні показники технічної та організаційної ефективності впровадження ГАВ. Характеристика кожного.
13. Що розуміється під гнучкістю? Як вибрати гнучкість?
14. Форми гнучкості. Дати оцінку кожної.
15. Показники надійності.
16. Надійність роботи автоматичних комплексів.
17. Показники економічної ефективності ГАВ. Дати характеристику кожного.
18. Значимість багатоцільових верстатів (БВ) з ЧПК в роботі ГАВ.
19. Класифікація БВ.
20. Накопичувачі інструмента БВ. Види накопичувачів. Дати характеристику кожного.
21. Призначення пристроїв автоматичної заміни інструменту БВ (ПАЗІ), їх різновиди, характеристика кожного.
22. Значення робототехніки для комплексної автоматизації машинобудівного виробництва.
23. Загальне визначення та склад промислового робота (ПР).
24. Які проблеми виникають у сучасному виробництві з точки зору надання ПР відповідних можливостей?
25. Визначення за ГОСТ 26228-85 поняття «промисловий робот».
26. Функціональна схема ПР.
27. В яких режимах може працювати ПР?
28. Класифікація ПР. Характеристика за кожною ознакою.
29. Що являє собою маніпулятор ПР? Складові частини.
30. Класифікація маніпуляторів за типом їхніх кінематичних схем.
31. Класифікація маніпуляторів за типом приводних пристроїв.
32. Які бувають робочі органи маніпуляторів?
33. Призначення транспортно-накопичувальної системи (АТНС).
34. Що розуміємо під транспортною системою АТНС? Її класифікація.

35. Що являє собою авторобочар? Його призначення, функції, які виконує, переваги, недоліки.

36. Накопичувальна система АТНС. Пристрої, які використовуються в ній.

37. Що являє собою оперативний накопичувач? Його призначення, конструкція.

38. Для чого слугують супутники? Приклад конструкції.

39. Що відноситься до інших складових АТНС? Їх характеристика.

40. Визначення за ГОСТ 26228-85 роботизованого комплексу (РТК). Їх класифікація. Охарактеризувати РТК за кожною ознакою.

41. Які компонування РТК застосовуються у ГАВ? Дати їх характеристику.

42. Вимоги до складових РТК.

## 4 МЕХАНІЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ СКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ

### 4.1 Загальні поняття та означення

Порівняно із процесами механічної обробки складальні технологічні процеси потребують витрат більшої кількості ручної праці, тому їх механізація та автоматизація є справою першочергової важливості.

Основна задача механізації та автоматизації складальних технологічних процесів полягає у підвищенні продуктивності та якості складання разом із зниженням їх собівартості.

**Часткова механізація** складальних робіт полягає в застосуванні на окремих операціях або дільницях відповідних механізмів, які замінюють ручну працю.

**Комплексна механізація** характеризується тим, що всі складальні операції здійснюються за допомогою механізмів, якими керують робітники-складальники. Характерною особливістю комплексної механізації є виготовлення готової машини за допомогою механізованих засобів.

При **частковій автоматизації** основна частина робіт виконується за допомогою технічних засобів, а інші операції виконуються складальниками із застосуванням ручних механізмів. Прикладом часткової автоматизації є складання окремих вузлів за допомогою автоматів.

**Комплексна автоматизація** передбачає таку організацію робіт, при якій всі складальні операції, а також операції із регулювання та контролю виконуються автоматами. Прикладом комплексної автоматизації є складальна автоматична лінія.

### 4.2 Шляхи та засоби механізації та автоматизації технологічних процесів складання

Складальні процеси є найменш механізованими та автоматизованими, що пояснюється рядом технічних та організаційних труднощів. Ці труднощі виходять від того, що у складанні беруть участь дві і більше деталей машин, а тому порушення точності однієї з них порушує автоматичний процес всього складання.

Однією з основних причин, яка часто заважає підвищити рівень автоматизації складальних робіт, є недостатня технологічність конструкції машин та окремих механізмів з точки зору їх складаності. Тому успішне запровадження автоматизації складання потребує вирішення таких питань:

- в конструкціях деталей, які складаються, мають бути передбачені центрувальні та фіксувальні елементи, які полегшують з'єднання деталей (західні фаски, спеціальні напрямні поверхні і т. ін.);

- за наявності двох або більше посадочних поверхонь на одній і тій самій деталі конструкція деталей, які спрягаються, має передбачати послідовне, а не одночасне спряження цих поверхонь;
- форма деталей має бути, за змоги, спрощена, тому що процес автоматичного складання має бути «наскрізним»;
- потрібно уникати з'єднань, які шплінтуються або клепаються.

Складність автоматизації процесу складання значною мірою полягає в тому, що механізм має імітувати ручні прийоми. Нижче на рисунку показана принципова схема такого механізму, який здійснює складання втулки та пальця (рис. 4.1).

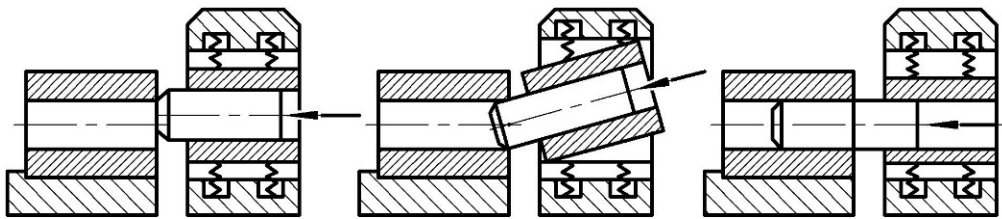


Рисунок 4.1 – Принципова схема здійснення автоматичного складання

В технології складальних робіт дуже часто передбачаються операції з приганяння (припасування) та доробки деталей, які спрягаються, наприклад, свердління, нарізання різі, розвертання і т. ін.

При проектуванні технологічних процесів для автоматизованого складального виробництва необхідно намагатися, щоб всі ці операції виконувалися в механічних цехах.

Технологічний процес автоматизованого складання характеризується виконанням таких етапів:

- переміщення деталей до робочої зони;
- орієнтація деталей, які належить скласти;
- спряження (складання) попередньо зорієнтованих деталей;
- закріплення складених деталей у необхідному положенні.

Деталі при порівняно невеликій вазі та малих габаритах переміщуються до робочої зони (до місця складання) за допомогою бункерів, магазинів та інших пристроїв, розглянутих на попередніх лекціях.

Великогабаритні деталі в механічних процесах складання переміщуються від одного робочого місця до другого за допомогою складальних конвеєрів.

Значне поширення для механізації складальних робіт отримали конвеєри таких типів: карусельні – при вузловому складанні та невеликій кількості операцій, стрічкові – на вузловому та загальному складанні легких виробів, візкові горизонтальні та вертикальні – замкнені, підвісні, штангові та інші (рис. 4.2).

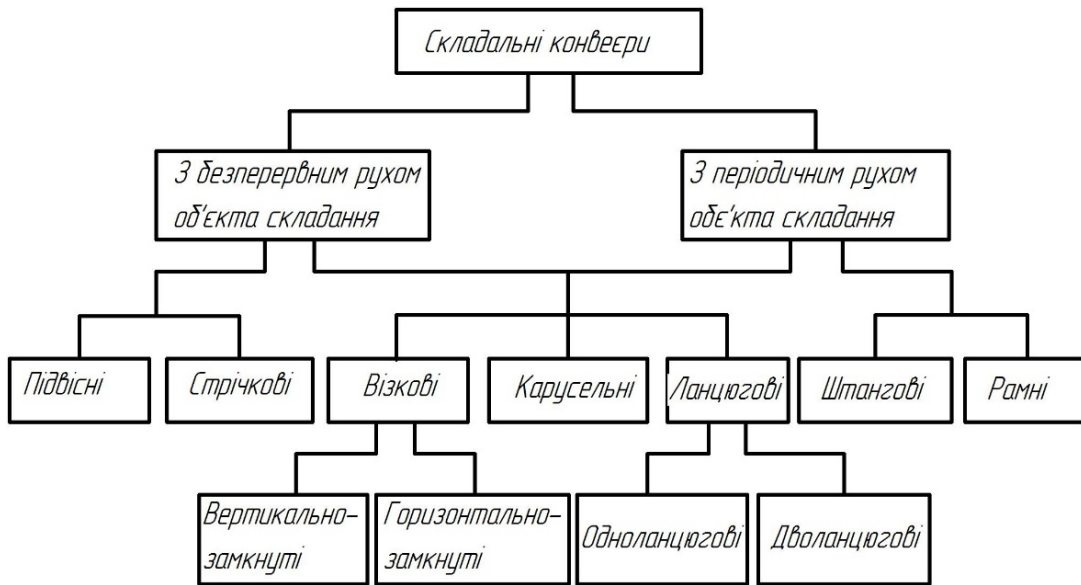


Рисунок 4.2 – Класифікація складальних конвеєрів

Рух конвеєрів залежно від характеру складального процесу може бути безперервним та пульсуючим.

Для закріплення складених деталей в потрібному положенні застосовуються механізовані інструменти. Ці інструменти залежно від привода можуть бути поділені на пневмогідрравлічні та гідрравлічні електрофіковані, пневматичні (рис. 4.3).

Електрофікований та пневматичний складальний інструмент завдяки невеликому розміру та вазі, нескладній будові та простоті користування має значне поширення, застосування його дає великий техніко-економічний ефект.

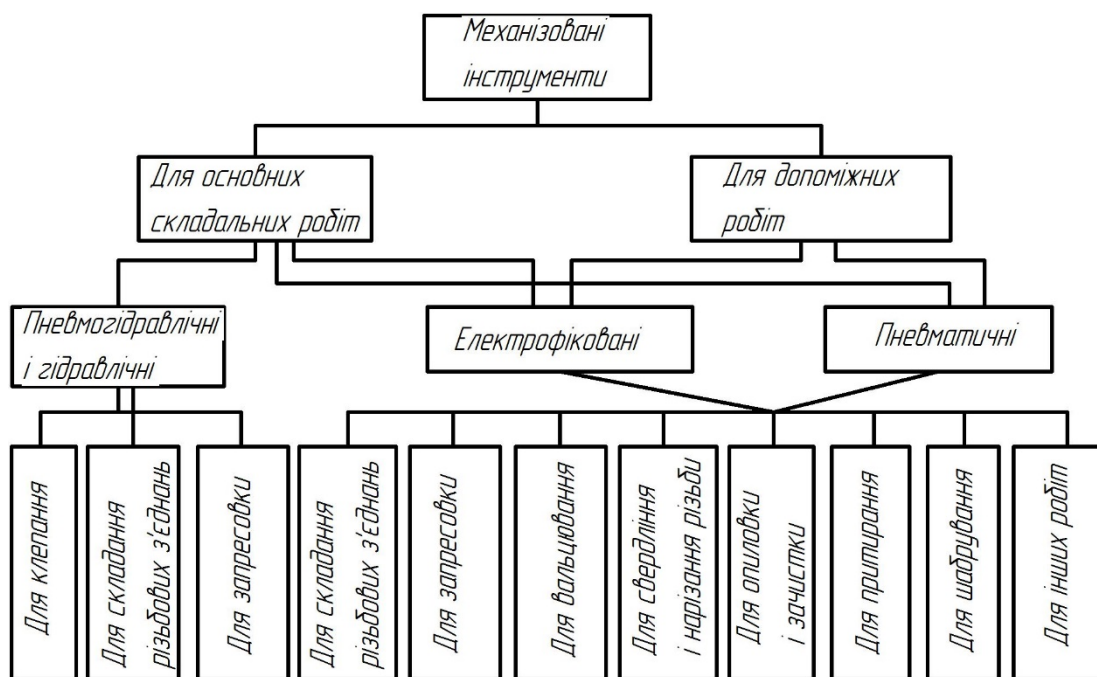


Рисунок 4.3 – Класифікація механізованого інструменту



При складанні різьбових з'єднань за допомогою гайковерта час, потрібний на виконання операції, скорочується в 7–10 разів порівняно з роботою вручну, а застосування пневматичних шуруповертів з автоматичною подачею гвинтів дозволяє збільшити продуктивність праці у 4 рази. В загальному випадку можна вважати, що комплексне застосування при складанні механізованого інструменту підвищує продуктивність на 40–70%. Застосовують також при автоматизації та механізації складальних робіт електрогайковерти, механічні викрутки, торцеві ключі з магазином для гайок, електричний багатощпindelний гайковерт.

#### **4.3 Методи проектування автоматизованих технологічних процесів складання**

Всі операції автоматизованого технологічного процесу складання виконуються автоматично без участі робітників. Технологічний процес автоматичного складання містить всі операції: складання, контроль, фарбування, сушіння, які проходить підвузол, який складається, або вузол в процесі складання.

Під час автоматичного складання подача складових деталей, їх орієнтування, спряження та, якщо потрібно, закріплення здійснюється автоматично. При розробці автоматизованих технологічних процесів потрібно вирішити такі питання: визначення технологічності конструкції окремих деталей, підвузла або вузла, уніфікації та стандартизації деталей, які надходять на складання, вибір оптимального варіанта технологічного процесу автоматизованого складання, вибір обладнання та оснащення для всіх операцій складання, вибір контрольних приладів, визначення кількості робітників операторів та налагоджувачів для обслуговування машин, визначення продуктивності лінії, визначення економічного ефекту та термінів окупності автоматизованої складальної лінії. Тип виробництва чинить основний вплив на структуру технологічного процесу автоматичного складання, вибір обладнання та оснащення, планування обладнання для автоматичного складання.

Здебільшого при автоматичному складанні застосовується метод **повної взаємозамінності**, який передбачає 100%-ий контроль деталей, які надходять на складання. Автоматичне селективне складання деталей застосовується у масовому виробництві для збільшення точності складання двох деталей, які підлягають спряженню із збереженням незмінної величини допуску на неточність обробки для кожної з двох деталей. При селективному складанні деталі, які складаються, розділяють за величинами відхилень розмірів поверхонь, які спрягаються, на декілька груп з наступним складанням двох деталей з одноймених груп.

Автоматизоване складання може здійснюватися також за **методом підбору**, наприклад, при складанні підшипників кочення.

#### **4.4 Технологічність конструкції деталей вузлів машин при переході на автоматичне складання**

При проектуванні автоматизованого технологічного процесу складання вузлів виробів потрібно виконати аналіз технологічності конструкції деталей, які входять до складаних вузлів. В результаті цього аналізу часто виникає необхідність зміни конструкцій деяких деталей, які входять до складу вузла, тому що здійснити автоматизоване складання при існуючих конструкціях неможливо.

Необхідно відмітити основні вимоги, які висуваються до деталей, що надходять на автоматичне складання; необхідно, щоб вони мали:

1) допуски на виготовлення в межах заданих класів точності, чистоти та технічних умов;

2) форму та розміри, необхідні для складання на поточному автоматизованому складанні;

3) прості базові поверхні – циліндричні або плоскі – для надійного та точного фіксування на складальних місцях.

Для оцінення технологічності конструкції деталей вузла, який складається при поточному автоматизованому складанні, немає єдиних досить чітких та обґрунтованих критеріїв.

#### **4.5 Обладнання, яке застосовується при автоматизованому складанні**

Складальне обладнання та технологічне оснащення можуть мати різний ступінь автоматизації. Складальне обладнання, на якому можна автоматично виконувати всі прийоми процесу складання, наприклад, видавання деталей, їх пересування, орієнтацію, з'єднання і в окремих випадках їх закріплення, називають **складальним автоматом**.

Процес автоматизованого складання може виконуватися на одній або декількох робочих позиціях складального агрегату (автомата) або на автоматичній складальній лінії, яка складається з окремих агрегатів. Складальне обладнання, на якому тільки частина прийомів складального процесу виконується автоматично, а інші вручну, називають **складальним напівавтоматом**.

Вивчення конструкцій автоматичного складального обладнання показує, що воно має типові вузли, які входять до конструкції цього обладнання. Розглянемо типове оснащення складального пристрою, який являє собою однопозиційний складальний автомат. Він складається з автоматичного бункерного або магазинного пристрою, в якому знаходиться запас деталей для складання. Із бункера деталі по одній штуці в орієнтованому положенні надходять до лотка. Пройшовши лоток, деталі надходять до магазину, який слугує для зберігання невеликого запасу деталей та безперебійної подачі їх до живильника. Живильник виконує

подачу деталей з магазину на складальну позицію в орієнтованому вигляді із заданим ритмом. На складальній позиції до моменту спряження деталі утримуються спеціальним пристроєм відносної орієнтації та з'єднувальних деталей. Залежно від виду з'єднань на складальній позиції можуть встановлюватися механізми для закріплення з'єднувальних деталей: прес, зварювальний апарат і т. ін. Пересування складених вузлів зі складальної позиції відбувається спеціальним механізмом розвантаження. До конструкції складального автомата входить система, яка керує роботою його вузлів, вона може бути вбудована у автомат або монтується на окремому пульті керування. При багатопозиційному складанні до складу складального обладнання входить механізм для пересування вузла, який складається, між всіма складальними позиціями.

Нині для автоматизації технологічних процесів складання застосовуються такі типи складального обладнання:

1. Однопозиційні складальні напівавтомати для складання нескладних вузлів з невеликої кількості деталей. Базову деталь та частину деталей, які важко автоматично зорієнтувати, встановлюють на складальну позицію вручну. Інші деталі подаються з бункерів та встановлюються на вузол автоматично в заданій послідовності. Складений вузол знімається автоматичним виштовхувальним пристроєм або вручну.

2. Однопозиційні складальні автомати, у яких подача складаних деталей з бункерів на позицію складання вузла здійснюється автоматично. Однопозиційні складальні автомати можуть вбудовуватися у автоматичні складальні лінії.

3. Багатопозиційні складальні напівавтомати застосовуються для складання більш складних вузлів з відносно великою кількістю переходів та прийомів складання. Напівавтомати такого типу мають поворотний стіл, на позиціях якого встановлені складальні пристосування для закріплення деталей складаного вузла. Стіл через певний проміжок часу повертається ділильним пристроєм на заданий кут залежно від кількості позицій. Базову деталь, а також деталі, які з бункера важко подати на якусь складальну позицію автоматично, встановлюють до пристосування вручну.

Автоматичні та напівавтоматичні лінії застосовуються для складання більш складних вузлів та виробів. До складу автоматичних ліній входить універсальне або спеціальне напівавтоматичне або автоматичне обладнання. Вузли або вироби, які складаються, встановлюють та закріплюють у пристосуваннях-супутниках, з'єднаних замкненим колом та періодично через певний час пересуваються між складальними позиціями. Застосовують автоматичні та напівавтоматичні схеми складальних ліній і з лінійним розташуванням складального обладнання. Вони компонуються із спеціальних та універсальних складальних агрегатів, розташованих на лінії згідно з технологічним процесом складання вузла або виробу. Роторні складальні автомати та лінії застосовуються для складання невеликих виробів або вузлів. Технологічний процес складання відбувається

безперервно без періодичних зупинок одного або декількох зв'язаних в одну систему багатопозиційних столів (роторів), на яких розміщуються складальні пристосування із встановленими в них складаними виробами. Вироби, які складаються, передаються з одного складального ротора на інший спеціальними транспортними (які живлять та знімають) роторами. Подача деталей до живильних роторів здійснюється з бункерних або магазинних завантажувальних пристроїв. На автоматичних роторних складальних установках або лініях можна виконувати запресовування, розвальцювання, обтиск та інші складальні операції, а також контролювати вузли за заданими розмірами. При складанні вузлів з декількох деталей складальні роторні автомати мають два–три живильних ротори, розташованих послідовно напроти відповідних позицій. Роторні автомати можуть мати автоматичні вимірювальні пристрої для контролю правильного розташування складаних деталей і т. ін.

На автоматичних складальних лініях немає запасів складальних агрегатів, тому що складальні механізми та інструменти не потребують частої заміни та підналагодження. Налагоджувальні та підналагоджувальні роботи на автоматичних лініях складання на всіх агрегатах виконуються між змінами.

Застосовуються дві системи керування складальними напівавтоматами, автоматами та автоматичними складальними лініями: **централізовані та децентралізовані.**

**Будь-яка система керування має забезпечувати:**

- 1) роботу автомата або складальної лінії в заданому ритмі;
- 2) синхронну роботу всіх вузлів автомата або всього обладнання складальної лінії;
- 3) блокування вузлів автомата або лінії для попередження браку або пошкодження;
- 4) контроль якості складаних вузлів.

У централізованих системах керування застосовуються командоапарати з безперервно або періодично обертовим розподільчим валом з кулачками, які керують роботою технологічних та допоміжних органів безпосередньо або через проміжні зв'язки. Системи керування розробляють на основі циклограми роботи автомата або складальної автоматичної лінії.

Децентралізовані системи керування застосовують для керування роботою досить складних складальних автоматів та автоматичних ліній. Ці системи допускають ввімкнення будь-якого виконавчого органа після отримання сигналу про закінчення роботи попереднього органа. У децентралізованих системах керування подача сигналів здійснюється у функції шляху шляховими перемикачами або у функції часу реле часу.

Найбільш досконалою формою поточного автоматичного складання є комплексне автоматичне складання. В цьому випадку автоматичне обладнання виконує всі складальні операції та всі види контролю

складаних вузлів, очищує та заправляє складені вузли змащенням, а також виконує різні операції механічної обробки. При контролі перевіряють розміри спряжень, які отримуються при складанні, зазори та взаємне положення деталей у складеному вузлі. Складені вузли перевіряють на герметичність в процесі гідравлічного або пневматичного випробування. Перевіряють різні технічні вимоги, які висуваються до вузлів залежно від їх призначення.

Пересування складаних вузлів транспортними пристроями на автоматичній складальній лінії має відповідати заданому темпу складання.

Залежно від конструкції вузлів або складаних виробів до складу складальної автоматичної лінії можуть входити такі пристрої: бункерні або штабельні завантажувальні пристрої – живильники, транспортні пристрої, пристосування для встановлення та закріплення вузлів, ділильні та фіксувальні пристрої, контрольні-вимірювальні пристрої, пристрої для виконання різних складальних з'єднань і т. ін.

Якщо автоматичне складання виробів або вузлів виконується на основі взаємозамінності, то загальна конструктивна схема автоматичної складальної лінії отримується відносно простою. При автоматичному складанні виробів або вузлів, яке виконується на основі селективного складання, конструктивна схема автоматичної складальної лінії ускладнюється введенням пристроїв для автоматичного сортування деталей та запам'ятовувальних пристроїв. При цьому складанні кількість бункерів в лінії залежить від кількості деталей у вузлі або виробі, а також кількості груп, на які розділяються деталі для спряження. Велику увагу потрібно приділяти контролю встановлення деталей та підвузлів в початковому та кінцевому положеннях.

У автоматичні складальні лінії потрібно вбудовувати пристрої, які зупиняють роботу лінії у випадку відсутності деталі або неправильного її розташування на одній з позицій складання.

Як такі пристрої застосовують упори з електроконтактними або пневматичними датчиками для крупних деталей та фотоелементи для дрібних деталей. Якщо на одній з позицій складальної лінії визначено неправильне положення деталі або відсутність її, то автоматична складальна лінія з централізованою системою керування зупиняється в результаті спрацьовування блокувального пристрою. На автоматичній складальній лінії з децентралізованою системою керування при визначенні бракованих деталей на одній з позицій лінії остання зупиняється, бракований вузол пересувається транспортним пристроєм на наступні позиції лінії, але виконавчі органи на наступних операціях, не отримуючи відповідного сигналу з попередньої операції, не виконують роботу зі складання. Тобто, складаний вузол отримав дефект на будь-якій операції складання, проходить всі наступні операції поточної лінії, але складальні роботи на цьому вузлі не виконують і в кінці лінії дефектний вузол надходить у брак.

#### 4.6 Автоматизація подачі деталей на складання

При виконанні робіт із автоматизації складальних процесів насамперед доводиться вирішувати питання подачі деталей, з яких виконується складання вузлів та виробів. Деталі з автоматичних завантажувальних пристроїв на складальну позицію подають поштучно. Завантажувальні пристрої автоматів або автоматичних ліній подають на складання остаточно оброблені деталі, які легше орієнтувати, ніж деталі необроблені.

Дрібні деталі простої форми до бункера завантажуються насипом. Із бункера через проміжні ланки деталі подаються на складання у орієнтованому вигляді. Більш складні за формою деталі та вузли середніх та крупних розмірів завантажують до магазинних пристроїв партіями в заданому (орієнтованому) положенні.

Типи бункерних, магазинних та штабельних завантажувальних пристроїв, які застосовуються для подачі штучних деталей на позиції складальних автоматів за конструкцією не відрізняються від подібних завантажувальних пристроїв для постачання штучними деталями металорізальних верстатів, які розглядалися в попередніх темах.

Нині для живлення деталями складальних автоматів отримали значне застосування вібраційні бункери. У вібробункері деталі безперервно рухаються догори по похилому спіральному лотку, закріпленому всередині корпусу вібробункера. Швидкість переміщення деталей по спіральному лотку вібробункера регулюється переважно за рахунок змінення амплітуди коливань корпусу за допомогою реостата, а в деяких конструкціях бункерів і частоти. Деталі з бункера можуть подаватися до одного або декількох живильників. Такі бункери мають просту конструкцію і надійно працюють.

Конструкції інших типів бункерів подають деталі на позиції складального автомата примусовим способом за допомогою захоплювально-орієнтувальних пристроїв. За такої системи живлення при переповненні лотків та накопичувачів деталями, які подаються на складання, можливі випадки заклинювання бункера. Для запобігання поламки бункера в ньому передбачені запобіжні пристрої. Звичайно живильний бункер з'єднується з накопичувачем-лотком.

Конструкція магазинних пристроїв для живлення деталями складальних автоматів здебільшого не відрізняється від пристроїв для живлення штучними деталями металорізальних верстатів-автоматів.

Пересування деталей середньої ваги в магазинному пристрої відбувається під дією сили тяжіння, а більш легких деталей – вагою, пружиною і т. ін.

Завантаження деталей до магазинного пристрою здійснюється робітником періодично через певний час.

#### 4.7 Автоматичне орієнтування деталей у завантажувальних пристосуваннях

При автоматизації складального процесу деталі отримують задане орієнтування на лотку всередині корпусу бункера за допомогою спеціальних пристроїв або поза ним при пересуванні до складальної позиції автомата, де вони встановлюються у положення, потрібне для складання.

Для можливості руху у орієнтованому стані деталі необхідно мати з шести ступенів рухомості один. Тому при орієнтації у завантажувальних пристроях кожна з деталей, яка пересувається, має бути позбавлена п'яти ступенів рухомості. Кількість різних положень, в яких може бути зафіксована кожна деталь, яка пересувається, залежить від форми та розмірів деталі. Наприклад, двоступінчастий вал при пересуванні може зайняти будь-яке з шести різних положень (рис. 4.4, а).

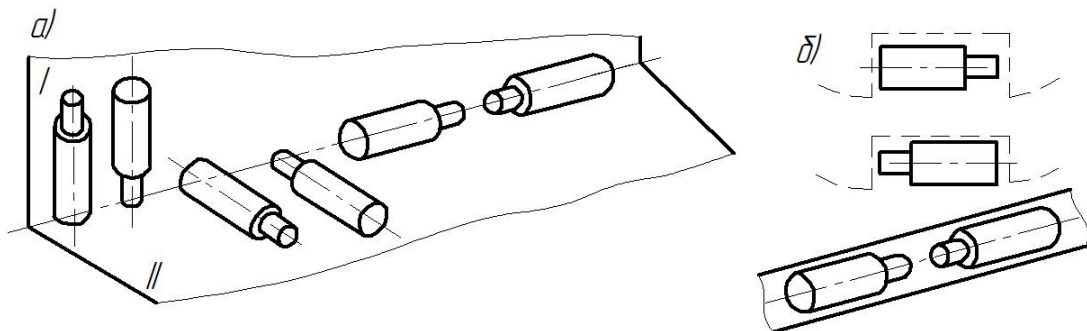


Рисунок 4.4 – Різні положення ступінчастого валу:  
а) – напрямна площина; б) – основна площина

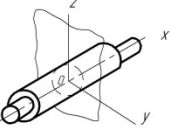
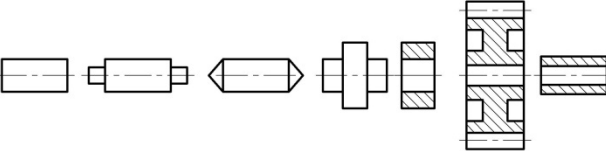
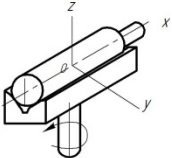
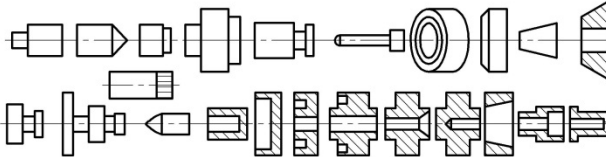
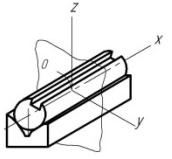
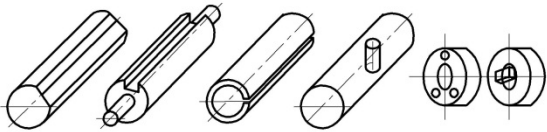
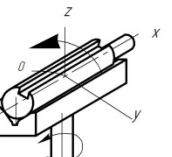
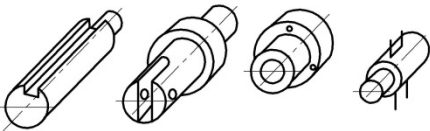
В бункерних завантажувальних пристроях деталі, які пересуваються, отримують повне або часткове орієнтування. Таким чином, при виході деталей з бункера кількість різних положень різко скорочується. Ступінчастий вал (рис. 4.4, б) отримує основне орієнтування, пересуваючись по спіральному лотку вібробункера, де він позбавляється чотирьох різних положень і, виходячи з бункера, може займати тільки два положення: меншою шийкою вперед або назад.

Пристрої автоматичного орієнтування деталей у завантажувальних автоматах мають механізми для контролю правильного положення деталей і виконавчий механізм для подачі команди на скидання неправильно розташованих деталей або на зміну їх положення на задане. В більшості конструкцій контрольний та орієнтувальний механізми об'єднані в один.

У таблиці 4.1, яку запропонував О. М. Рабінович, дана класифікація деталей форми тіл обертання залежно від способу їх орієнтації. До класу 1 віднесено симетричні деталі: вали, втулки, шестерні, вісь обертання яких збігається з віссю симетрії і площина симетрії розташовується

перпендикулярно до осі деталі. **Орієнтують деталі цього класу тільки за віссю симетрії, тому при орієнтації потрібно сумістити вісь обертання з однією з осей координат.**

Таблиця 4.1 – Класифікація деталей форми тіл обертання

<i>Способи орієнтації деталей</i>	<i>Ескізи</i>	<i>Клас деталей</i>	<i>Типи деталей</i>
<i>Тільки за віссю симетрії</i>		I	
<i>Тільки за віссю симетрії та її напрямом</i>		II	
<i>Тільки за віссю симетрії та поворотом відносно цієї осі</i>		III	
<i>Тільки за віссю симетрії, її напрямом та поворотом відносно цієї осі</i>		IV	

До класу 2 відносяться деталі, які мають тільки одну симетричну вісь (вісь обертання): вали, які мають різну форму торців, диски з канавками, деталі типу ковпачків і т. ін. **Орієнтують деталі класу 2 шляхом суміщення осі обертання з однією з осей координат (віссю симетрії X) та поворотом деталі в площині XOY або XOZ, яка проходить через цю вісь.**

До класу 3 відносяться деталі, на циліндричній поверхні яких є лиски, канавки, пази. Такі деталі мають дві площини симетрії, одна з яких проходить через вісь обертання, а друга розташовується перпендикулярно до осі. **Орієнтація деталей потребує суміщення осі обертання з однією з осей координат (віссю X) та повороту деталі в площині ZOY, перпендикулярній до цієї осі.**

До класу 4 відносяться деталі, які мають форми тіл обертання, а на поверхні – лиски, прорізи. Ці деталі мають тільки одну площину симетрії, яка проходить через вісь обертання. **При орієнтації деталей потрібно**



**сумістити вісь обертання деталі з однією з осей координат (віссю X) та повернути деталь в площині XOY або XOZ, яка проходить через цю вісь, та в площині YOZ, перпендикулярній до цієї осі.**

Таким чином, якщо деталі класів 2 та 3 потребують двох ступенів орієнтації, то деталі класу 4 – трьох ступенів орієнтації.

Деталі класу 1, пересуваючись по лотку вібробункера, орієнтуються за віссю повороту спеціальними пристроями. Деталі класу 2 під час пересування по лотку вібробункера отримують часткову або повну орієнтацію. При переміщенні в лотку вібробункера деталі класу 3 отримують часткове орієнтування, тому що повну орієнтацію таких деталей в бункері здійснити дуже важко. Деталі класу 4 виходять з бункера орієнтованими тільки за віссю обертання і в подальшому проходять ще два ступеня орієнтації.

Пересування складаних деталей від бункера до складальної позиції здійснюється трьома способами: під дією власної ваги, спеціальними живильниками, у вібраційних лотках під дією сил інерції.

### **Питання для самоконтролю**

1. Що розуміється під частковою механізацією складальної операції? Комплексною механізацією?
2. Що розуміється під частковою автоматизацією складальної операцією? Комплексною автоматизацією?
3. Які вимоги висуваються щодо технологічності конструкцій деталей для успішного запровадження автоматизації складання?
4. Назвіть проблеми, які виникають при намаганні автоматизації операцій складання.
5. Назвіть етапи технологічного процесу автоматизованого складання.
6. Засоби переміщення деталей між операціями у складальному процесі. Наведіть класифікацію складальних конвеєрів.
7. Які інструменти застосовуються для закріплення складених деталей у потрібному положенні?
8. Класифікація механізованого інструменту для складальних операцій.
9. Які Ви знаєте методи проектування автоматизованого технологічного процесу складання?
10. Основні вимоги, які висуваються до деталей вузлів при переході на автоматичне складання.
11. Що називається складальним автоматом? Складальним напівавтоматом?
12. Які обов'язкові типові вузли мають входити до складу складального обладнання?
13. Назвіть типи складального обладнання.
14. В якому випадку застосовуються автоматичні та напівавтоматичні складальні лінії? Дайте характеристику таких ліній.

15. Які застосовуються системи керування складальними напівавтоматами, автоматами та автоматичними лініями?

16. Що має забезпечувати у складальному процесі будь-яка система керування?

17. Дайте характеристику централізованих та децентралізованих системам керування у складальних процесах.

18. Що являє собою комплексне автоматичне складання?

19. Чим відрізняється селективне складання від складання на основі взаємозамінності?

20. За допомогою яких засобів автоматизується подача деталей на складання?

21. Які умови висуваються до правильного орієнтування деталей при складанні?

22. Класифікація деталей форми тіл обертання. Характеристика окремих класів.

## 5 МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА ТА КОНТРОЛЕРИ – НАЙЕФЕКТИВНІШИЙ ЗАСІБ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

### 5.1 Загальні відомості про мікропроцесорну техніку та контролери

**Мікропроцесор** – це мікроелектронний програмований пристрій, що призначений для обробки інформації та керування процесами обміну цією інформацією у складі мікропроцесорної системи (комп'ютера).

Мікропроцесори виготовляються за допомогою технологій сучасної мікроелектроніки на основі напівпровідникового кристала. Інформація в мікропроцесорній системі передається електричними імпульсами. Конструктивно мікропроцесор виконується у вигляді однієї мікросхеми (інколи – декількох). **Мікросхема** складається з пластикового або керамічного корпусу, всередині якого міститься мініатюрна напівпровідникова підкладка. На цій підкладці лазером «накреслені» усі електронні схеми мікропроцесора. Входи та виходи схеми на підкладці з'єднані з металевими виводами, що розташовані по боках або знизу корпусу мікросхеми.

Мікропроцесорні системи взагалі є універсальними, тобто здатні виконувати широке коло завдань з обробки інформації. А на виконання конкретної задачі мікропроцесор «налаштовується» за допомогою програми – переліку машинних команд.

**Обов'язковими компонентами мікропроцесора є реєстри, арифметико-логічний пристрій (АЛП) та блок керування.** Реєстри призначені для тимчасового зберігання даних, арифметико-логічний пристрій – для виконання арифметичних і логічних операцій (тобто, для обробки даних). Блок керування відповідає за послідовне виконання команд програми та правильне спрямування потоків даних.

Мікропроцесор не може працювати сам по собі. Він є центральною ланкою мікропроцесорної системи, до якої також входять пристрої постійної та оперативної пам'яті, пристрої введення та виведення інформації, накопичувачі на жорстких магнітних дисках (так звані **вінчестери**) тощо. Такі мікропроцесорні системи називають **комп'ютерами**.

Персональний комп'ютер може мати багато застосувань, проте це досить дорогий і громіздкий пристрій. А як же наділити елементами інтелекту побутову техніку, автомобілі, медичні прилади? Як зробити їх «розумними»? Зрозуміло, що у побутовий кондиціонер не можна вмонтувати системний блок звичайного персонального комп'ютера. Це підвищить його вартість у два-три рази. І у складі так званого смарт-телевізора ми не знайдемо окремого персонального комп'ютера у його звичайному вигляді. Для автоматизації такого роду техніки розроблені та

виготовляються спеціальні процесорні пристрої – однокристальні мікроконтролери (англ. «*microcontroller*»). Англійське слово «control» означає «контролювати», «керувати». Таким чином, **мікроконтролер** – це спеціальний мікропроцесор, що призначений для автоматизації різноманітних пристроїв і керування їх роботою.

Отже, **мікроконтролер** – це спеціалізований мікроелектронний програмований прилад, призначений для використання в керівних пристроях, системах передачі даних та системах керування технологічними процесами.

Мікроконтролери використовують у побутовій техніці, медичних приладах, системах керування ліфтами, телефонах, раціях та інших засобах зв'язку, електронних музичних інструментах та автомагнітолах, комп'ютерній периферії (клавіатурах, джойстиках, принтерах тощо), світлофорах, автоматичних воротах та шлагбаумах, інтерактивних дитячих іграшках, автомобілях, локомотивах та літаках, роботах та промислових верстатах. Наприклад, електроніка автомобіля «Peugeot 206» має 27 мікроконтролерів, а у автомобілі «BMW» сьомої серії використовується понад 60 мікроконтролерів (керують вприском палива, жорсткістю адаптивної підвіски, світлотехнікою, двигунами «двірників», склопідіймачів та дзеркал заднього виду тощо).

Мікроконтролер, на відміну від мікропроцесора, зазвичай має порівняно невелику розрядність (8–9 бітів) та багатий набір команд маніпулювання окремими бітами. Бітові команди дають змогу керувати дискретним обладнанням (підняти – опустити шлагбаум, увімкнути – вимкнути лампу, нагрівач, запустити – зупинити двигун, відкрити – закрити клапан тощо). Наявність можливості оперувати окремими бітами, вводити та виводити дискретні сигнали називають «**бітовими процесорами**».

Ще одна з основних відмінностей мікроконтролера від мікропроцесора полягає у тому, що у складі мікросхеми контролера є усі елементи для побудови простої (а інколи – і досить складної) системи керування. Так, всередині мікроконтролера є пам'ять даних (оперативна пам'ять), пам'ять програм (постійна пам'ять), генератор тактових імпульсів, таймери, лічильники, паралельні та послідовні порти. Тож система мінімальної конфігурації на основі мікроконтролера може складатися з блока живлення, безпосередньо мікросхеми контролера та кількох пасивних елементів (резисторів, конденсаторів та кварцового резонатора). І це фактично є ніщо інше, як одноплатний мінікомп'ютер на основі однієї мікросхеми, придатний для вбудовування до об'єкта керування. Середня вартість системи мінімальної конфігурації становить кількадесят доларів (порівняйте із середньою вартістю персонального комп'ютера).

Типова архітектура мікроконтролера складається з системи синхронізації та керування, арифметико-логічного пристрою, регістрів загального призначення, пам'яті даних та пам'яті програм, портів,

функціональних пристроїв (таймерів, лічильників, широтно-імпульсних модуляторів, інтерфейсів) та реєстрів їх настроювання. Програми для мікроконтролерів створюють у спеціальних інтегрованих інструментальних середовищах (англ. *Integrated Development Environment* або *IDE*), мовами Асемблера (машинних команд) або C<sup>++</sup>.

Ще один тип мікропроцесорних пристроїв, що за останні 30–40 років зайняли свою ринкову нішу – так звані програмовані логічні контролери.

**Програмований логічний контролер (ПЛК)** (англ. *Programmable Logic Controller* або *PLC*) – це спеціалізована мікропроцесорна система, що використовується для автоматизації технологічних процесів та загальнопромислових установок і комплексів (конвеєрів, рольгангів, підйомних кранів, подрібнювачів, млинів, класифікаторів, змішувачів, пакувальників, робототехнічних та гнучких виробничих комплексів тощо).

Тобто основна сфера застосування ПЛК – це сфера промислового виробництва. Проте вони також використовуються для автоматизації будівель (контроль доступу до приміщення, керування освітленням, обігрівом, вентиляцією та кондиціонуванням повітря, керування ліфтами, ескалаторами тощо). Також ПЛК можуть бути застосовані для створення мікроклімату в тепличному господарстві, на птахофабриках, тваринницьких фермах.

Зазвичай ПЛК – це одноплатний мінікомп'ютер, що побудований на основі однокристального мікроконтролера та розташований у корпусі стандартних розмірів (розміром з цеглину). Також існують модульні контролери. До входів ПЛК можна приєднати кнопки, контакти джойстика, перемикачі (тобто органи керування), датчики та виконавчі механізми (двигуни, лампи, нагрівальні елементи, клапани, вентилі, актуатори тощо). ПЛК циклічно опитує вхідні сигнали (органи керування та датчики), виконує програму користувача (перераховує значення змінних) та видає отримані вихідні значення на виконавчі механізми. Тобто ПЛК циклічно, раз за разом виконує одну й ту саму програму (програму користувача).

Окрім апаратної уніфікації (використання стандартних розмірів, рівнів напруг, видів сигналів), проривному поширенню ПЛК сприяло й те, що для них були створені інтуїтивні «загальноінженерні» мови програмування. Тепер для розробки програми користувача не обов'язково запрошувати програміста високого класу. З цим може впоратися (іноді й краще) і технолог, і електрик, і хімік, і, звичайно, спеціаліст з автоматизації. А у випадку складних задач ці мови програмування стирають межу непорозуміння між програмістом та інженером. Вони однаково зрозумілі замовнику (інженеру) і виконавцю (програмісту). Таких мов програмування – 6 (5 стандартизованих), причому 4 з них – візуальні (тобто програма вводиться не у вигляді тексту, а як набір графічних елементів (блоків), що поєднані один з одним. Зазвичай один й

той самий контролер можна програмувати кількома мовами на вибір користувача. Для цього існують інструментальні програмні комплекси, які дозволяють не тільки розробити програму, а й налагодити її за допомогою програмної моделі контролера («на стимуляторі» або в режимі моніторингу (коли програму користувача виконує реальний контролер, а на дисплеї комп'ютера можна спостерігати за його роботою. Апаратна та програмна уніфікація ПЛК дає можливість легко переходити на контролери іншого виробника, переносити програми з однієї системи на іншу. Це підвищує гнучкість систем автоматизації, сприяє конкурентному інноваційному розвитку ринку.

## **5.2 Приклади застосування мікропроцесорної техніки у системах керування верстатів з ЧПК, промислових роботів та роботизованих технологічних комплексів**

З пристроїв, структурно подібних ЕОМ, особливо перспективні ті, які мають розширену оперативну пам'ять. У певних зонах пам'яті можна зберігати всю керівну програму (КП) цілком (або навіть декілька програм).

Це дає дві важливі переваги: по-перше, з'являються широкі можливості для редагування КП, по-друге, з процесу відпрацювання КП виключається покадрове зчитування з програмоносія, що потенціально несе в собі вірогідність збоїв (порівняння з системами перших поколінь).

Сучасніші СЧПК, що мають назву CNC, базуються на системі керування, побудованій на:

- мікроконтролері;
- програмованому логічному контролері;
- промислового комп'ютері на базі мікропроцесора.

Структурно до складу таких систем ЧПК входять (детально див. рис. 5.1):

- пульт оператора (або консоль введення-виведення), що дозволяє вводити КП, задавати режими роботи, виконувати операцію вручну;

- дисплей (або операторська панель) – для візуального контролю режимів роботи і редагування КП або даних;

- контролер – комп'ютеризований пристрій, вирішує завдання формування траєкторії руху різального інструмента, технологічних команд, керування пристроями автоматики верстата, загальним керуванням, редагування КП, діагностики та динамічних розрахунків (траєкторій руху інструментів, режимів різання);

- постійний запам'ятовувач – пам'ять, призначена для довготривалого зберігання (роки і десятки років) системних програм і констант, інформація з неї може тільки зчитуватися;

- оперативна пам'ять – призначена для тимчасового зберігання КП і системних програм, що використовуються в даний момент.

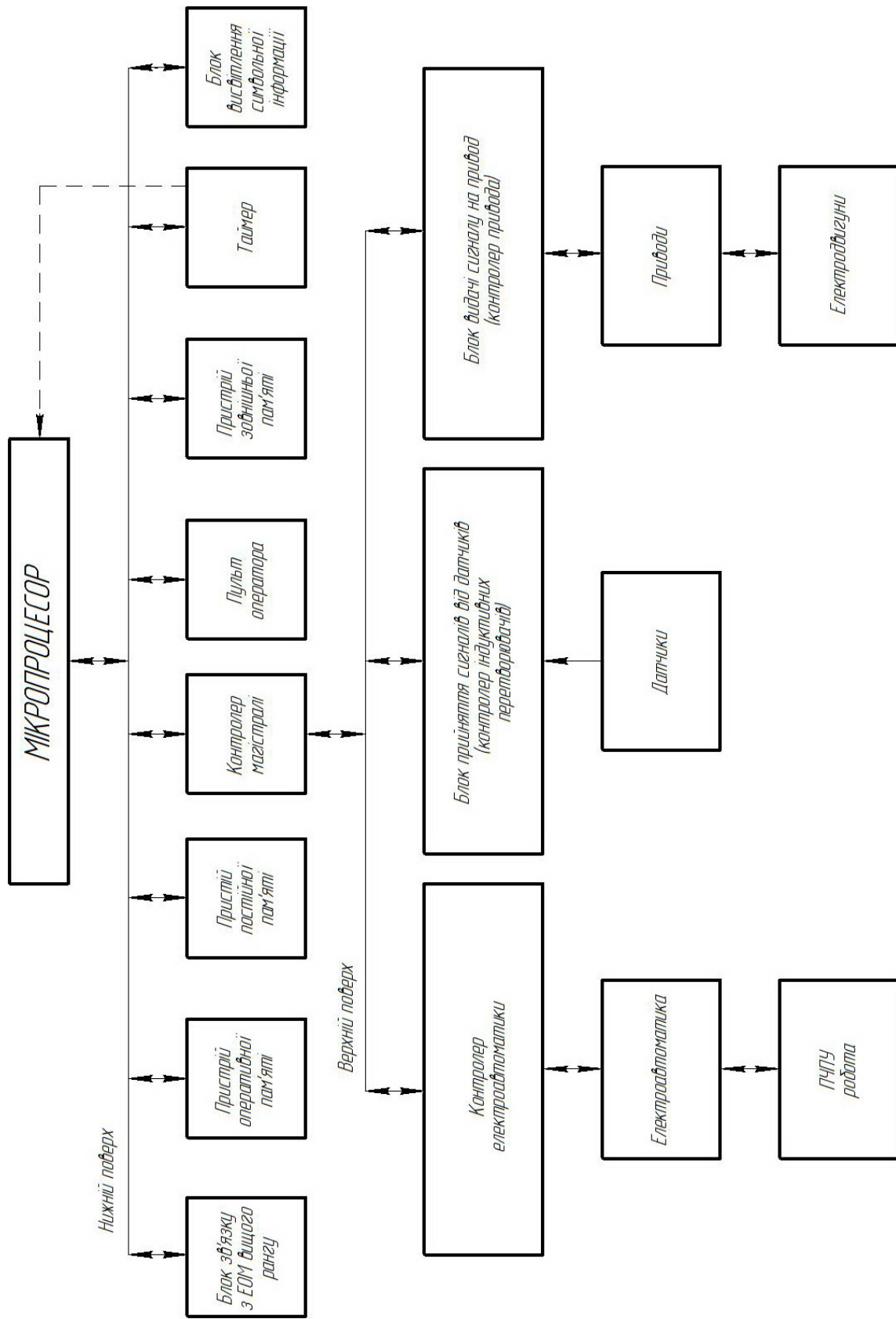


Рисунок 5.1 – Блок-схема системи ЧПК типу CNC

У ролі контролера виступає промисловий контролер, як то: мікропроцесор, на якому побудована вбудована система; програмований логічний контролер або більш складний пристрій – програмований комп'ютер.

Важливою характеристикою CNC-контролера є кількість осей (каналів), які він здатний синхронізувати (керувати) – для цього потрібна висока продуктивність і відповідне програмне забезпечення.

Для передачі даних між виконавчим механізмом і системою керування верстатом зазвичай використовується промислова мережа (наприклад, CAN, Profibus, Industrial Ethernet).

Найбільш закінчене втілення подібний напрямок отримав у пристроях числового програмного керування (ПЧПК), які мають **мікропроцесор на вході** (рис. 5.2).

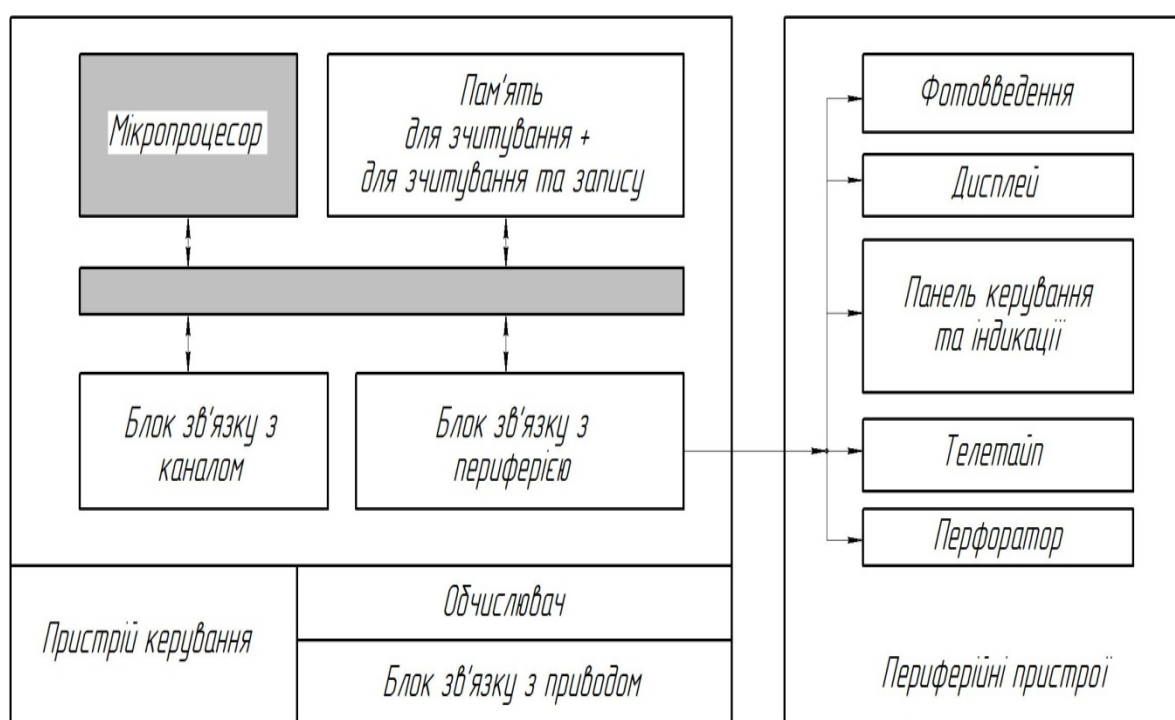


Рисунок 5.2 – Структурна схема ПЧПК класу CNC (DNC, HNC) з мікропроцесором на вході

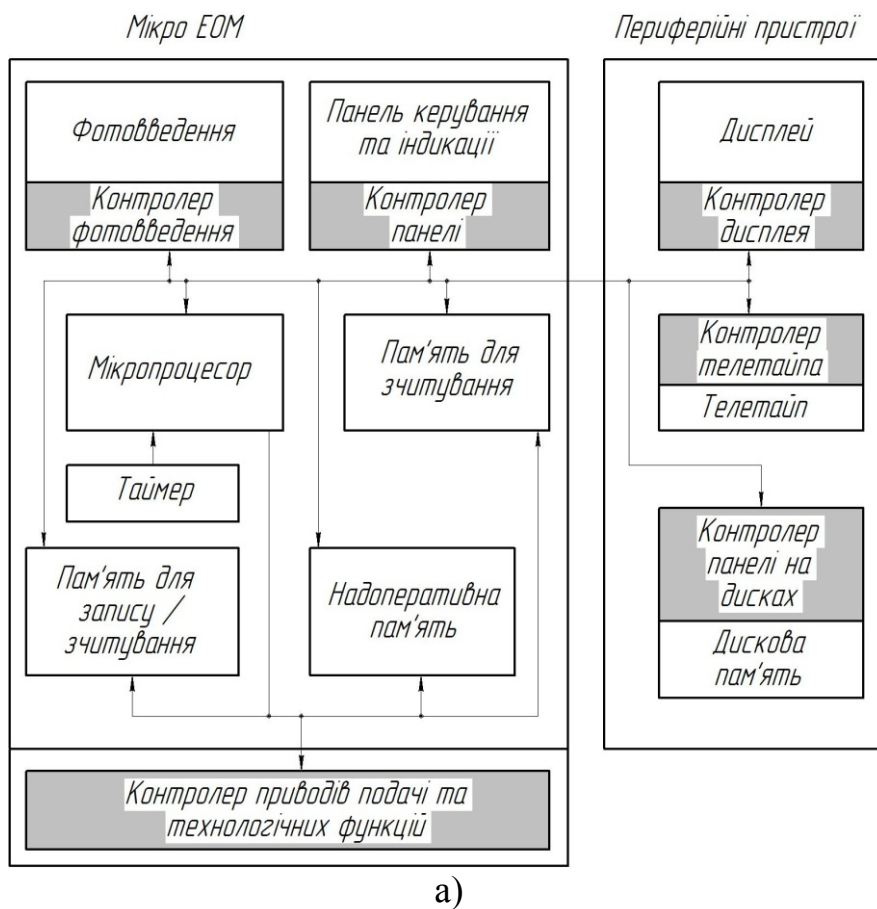
Мікропроцесорний вузол має певну автономію і вирішує задачі розподілу у пам'яті великих масивів керівної інформації, роботи з широким набором периферійних засобів, первинної переробки інформації перед наступними обчисленнями. КП розташовується у пам'яті типу «для зчитування та запису». Робочі програми, які забезпечують функціонування мікропроцесорного агрегату ПЧПК, розміщені у пам'яті типу «для зчитування», яка захищена від руйнування інформації, що там зберігається.

Вся інша частина ПЧПК може бути побудована за типом цифрової моделі або з використанням структурних компонентів ЕОМ.



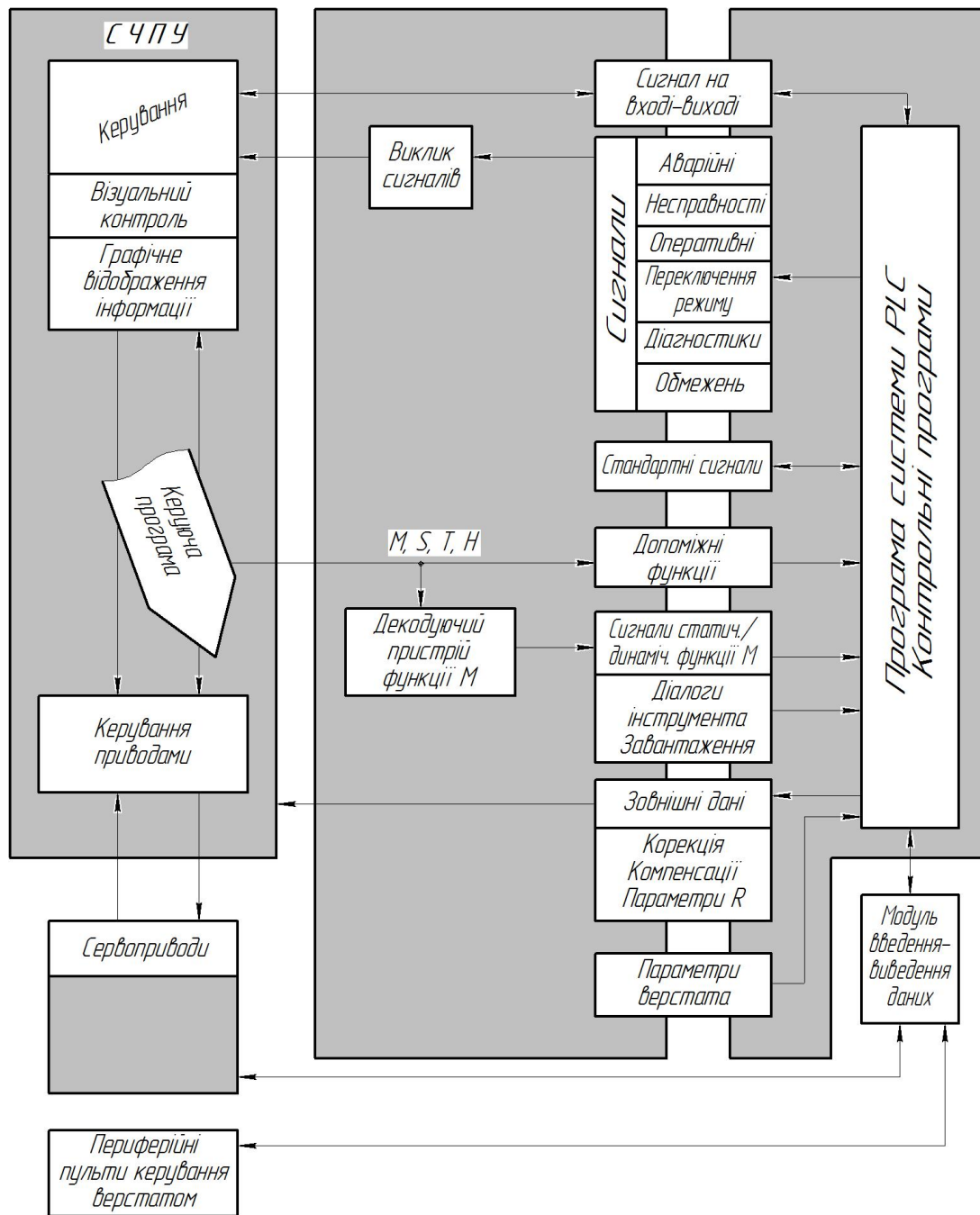
ПЧПК (рис. 5.3) на базі однієї ЕОМ може мати вбудовані місцеві автономні недорогі керівні засоби – **контролери**, які розвантажують мікропроцесор ЕОМ від другорядних операцій.

Контролери являють собою засоби програмованої логіки (PLC) та конструктивно виконані з окремих блоків – модулів. При передачі по інформаційному каналу інструкцій від мікропроцесора контролер, маючи багато входів та виходів каналів керування, переходить до самостійного обміну інформацією з фотовведенням, панеллю керування, периферійними засобами, приводами подач, з кінцевими вимикачами, елементами систем охолодження і т. ін. Наприклад, контролери приводів подач здійснюють тонку (кінцеву) інтерполяцію, порівнюють сигнали програми та зворотного зв'язку, формують керівні дії на виконавчі приводи, які регулюються за швидкістю, забезпечують адаптивне керування. Контролери приймають сигнали від шляхових датчиків, формують відображення дійсної інформації на дисплеї, забезпечують функціонування систем заміни інструмента, пристосувань. Окремий контролер може бути виділений на систему діагностики різального інструмента, на систему контролю, на програмні та верстатні обмеження по шляху та по швидкості і т. ін.



а) – структурна схема

Рисунок 5.3 – ПЧПК класу CNC з контролерами



б)

б) – схема обміну сигналами між системою ЧПК та PLC

Рисунок 5.3, аркуш 2

За наявності ПЧПК контролерів обмін інформацією з ними може займати до 10% часу роботи мікропроцесора, а весь інший час буде витратитися на обчислення, які пов'язані з оперативним керуванням відповідно до КП. Нині все більше почали застосовуватися контролери без базової ЕОМ як вільно програмовані засоби керування нескладним обладнанням.

ПЧПК оперативного типу має структурну схему, показану на рис. 5.4.

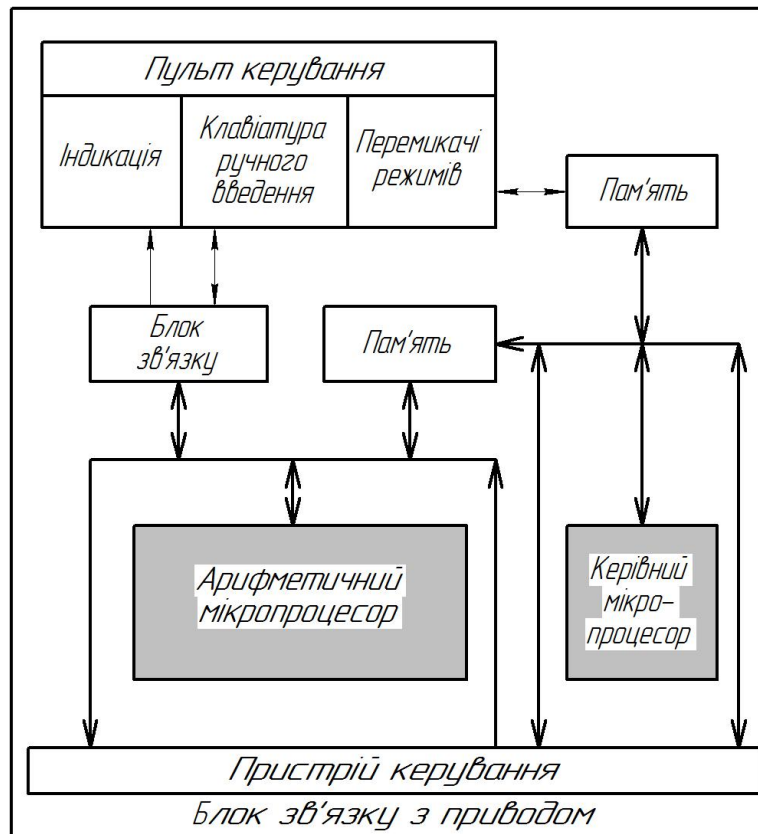


Рисунок 5.4 – Структурна схема ПЧПК класу CNC з формуванням програми при обробці першої деталі

Головними елементами агрегату є арифметичний і керівний мікропроцесори. Перший з них забезпечує розміщення і зберігання у пам'яті інформації, яка вводиться з клавіатури пульта, підготовку даних для інтерполяції. Керівний мікропроцесор реалізує стандартні цикли, узгоджує ці цикли із загальною програмою та ін.

Одним із варіантів застосування мікропроцесорів в системах керування верстатами можна вважати **багатопроцесорні системи**, які складаються з окремих функціональних модулів. Такі системи дозволяють використовувати прості та дешеві мікропроцесори з обмеженим математичним забезпеченням. Модулі мають бути уніфікованими і відрізнятися лише закладеним в них математичним забезпеченням. Кожний модуль має займати не більше однієї друкованої плати. Функції, які виконуються модулями, можна розділити таким чином:

1. інтерполяція;
2. введення, зберігання та редагування даних; формування програми з врахуванням підпрограми, постійних циклів і т. ін.;
3. розрахунок корекцій на положення та розміри інструменту, врахування похибок гвинтових пар та датчиків, врахування зазорів;
4. зв'язок з датчиками та керування приводами, ручне керування та цифрова індикація;

5. зв'язки та керування зовнішніми пристроями типу алфавітно-цифрового або графічного дисплея, телетайпу, перфаторів, друку і т. ін.;
6. керування циклами електроавтоматики;
7. керування обладнанням, яке пов'язане з верстатами, наприклад, маніпуляторами, засобами активного контролю і т. ін.;
8. обробка даних, які надходять від датчиків адаптивного керування.

Модульна побудова ПЧПК передбачає широку номенклатуру систем керування з використанням обмеженої кількості функціональних модулів. Спрощується ремонт та обслуговування систем.

Системи ЧПК **класу MPST** – децентралізовані мультипроцесорні, вони використовують велику кількість (десять–дванадцять) однакових або майже однакових обчислювачів, побудованих на мікропроцесорних наборах і відрізняються великим обсягом пам'яті. Окремі універсальні обчислювачі складаються, як правило, з арифметично-логічного пристрою (АЛП), оперативного запам'ятовувального пристрою (ОЗП), надоперативного запам'ятовувального пристрою (НЗП), постійного запам'ятовувального пристрою (ПЗП) та блока мікрокомандного керування. Системи мають велику кількість каналів керування і можуть обслуговувати одночасно декілька верстатів при незалежному складанні для них КП.

Важливою тенденцією розвитку робототехніки (також як і для верстатів з ЧПК) є широке використання мікропроцесорної техніки при створенні систем керування роботами і основаними на них технологічними комплексами. Основним напрямком потрібно вважати створення уніфікованих мікропроцесорних структур засобів управління з розвиненим математичним забезпеченням і набором проблемно-орієнтованих засобів введення і сполучення з об'єктами управління.

Розглянемо деякі приклади. Фірмою «Шин мейва» (Shin Meiva, Японія) розроблений промисловий робот (ПР) моделі P1-65 для дугового зварювання, пристрій керування якого реалізовано на базі 16-розрядного мікропроцесора. Мікропроцесор виконує повний набір арифметичних операцій, а також лінійну і колову інтерполяції. При використанні лінійної інтерполяції достатньо задати дві точки робочого органа маніпулятора; проміжні точки прямої, що проходить через дві задані точки, розраховуються мікропроцесором. При використанні колової інтерполяції для задання частини кола вказують три точки, за якими здійснюється розрахунок решти точок дуги. Для задання кола вказується четверта точка, яка замикає коло. Крива довільної форми апроксимується відповідно відрізками дуг. Це значно скорочує число позицій, що задаються при програмуванні робота методом навчання. Програмування робота істотно полегшується також завдяки можливості автоматичного перерахунку координат маніпулятора в прямокутні координати робочої зони. Мікропроцесор дозволяє також реалізувати ряд додаткових функцій, що поліпшують роботу робота, наприклад, імітувати складні рухи кінця

електрода, виконувані зварювальником. Задання цього режиму гранично спрощено: достатньо записати в пам'ять п'ять точок (початок шва, кінець шва і три точки поперечних коливань, що визначають амплітуду і період коливань). Є також можливість обліку зміщення електрода відносно центру осі маніпулятора і уточнення положення електрода на етапі навчання за торканням до зварюваних деталей.

Подальше розширення можливостей мікропроцесорів, підвищення ступеня інтеграції, розрядності і швидкодії дозволяють забезпечувати все більш високу універсальність основаних на них систем керування роботами. Так, подібний перспективний пристрій керування промисловими роботами фірми «Фанук» (Fanuc, Японія) забезпечує можливість підключення їх до маніпуляторів з різною кінематикою. При цьому необхідні перерахунки з врахуванням системи координат конкретного маніпулятора здійснюються однокристальними мікроЕОМ. Операторові потрібно лише задати код кінематики цього маніпулятора. Пристрій забезпечує також адаптивне керування від п'яти–шести сенсорних пристроїв. Завдяки застосуванню однокристальних мікроЕОМ пристрій виконано всього на трьох платах. Прикладом якісно нового рішення в керуванні роботами, яке стало можливим при широкому застосуванні мікропроцесорної техніки, може слугувати система керування ПР фірми «Інтернешнл роботейшн інтелідженс» (International Robotation intelligene, США). Робот має пневматичні приводи з широтно-імпульсним керуванням від окремих мікропроцесорів, які оптимізують параметри привода, забезпечуючи економію енергії і адаптації до навантаження. Окремий мікропроцесор координує рух за п'яти ступенями рухливості, одночасно керуючими гальмівними пристроями в цих напрямках. В системі використана мікроЕОМ «Motorolla 6800», що має пам'ять 128 Кбайт, що забезпечує загальне керування роботом і його програмування, яке виконується спеціальною мовою робота IRI або мовами Фортран і Паскаль.

Розглянемо компонування дільниці АСВР-01, призначеної для токарної комплексної обробки ступінчастих валів (рис. 5.5) і в системі керування якою широко застосовуються засоби мікропроцесорної техніки.

Промисловий робот 1 здійснює завантаження–розвантаження верстатів та міжверстатне транспортування деталей, а також ряд допоміжних операцій. Він оснащений датчиками зовнішньої інформації, що дозволяє вести пошук деталей у накопичувачі, вимірювати діаметр та довжину заготовки, відбракувати заготовки, які мають неприпустимі відхилення розмірів. У електросхемі промислового робота є пристрій світлозахисту, що забезпечує безпечну експлуатацію обслуговуваного обладнання. Центрувально-фрезерувальний верстат 2 призначений для фрезерування торців заготовки та обробки центрових отворів з обох боків за один робочий цикл. Два токарних напівавтомати 3 з ЧПК слугують для обробки

циліндричних, конічних та сферичних поверхонь, прорізання канавок та нарізання різьб.

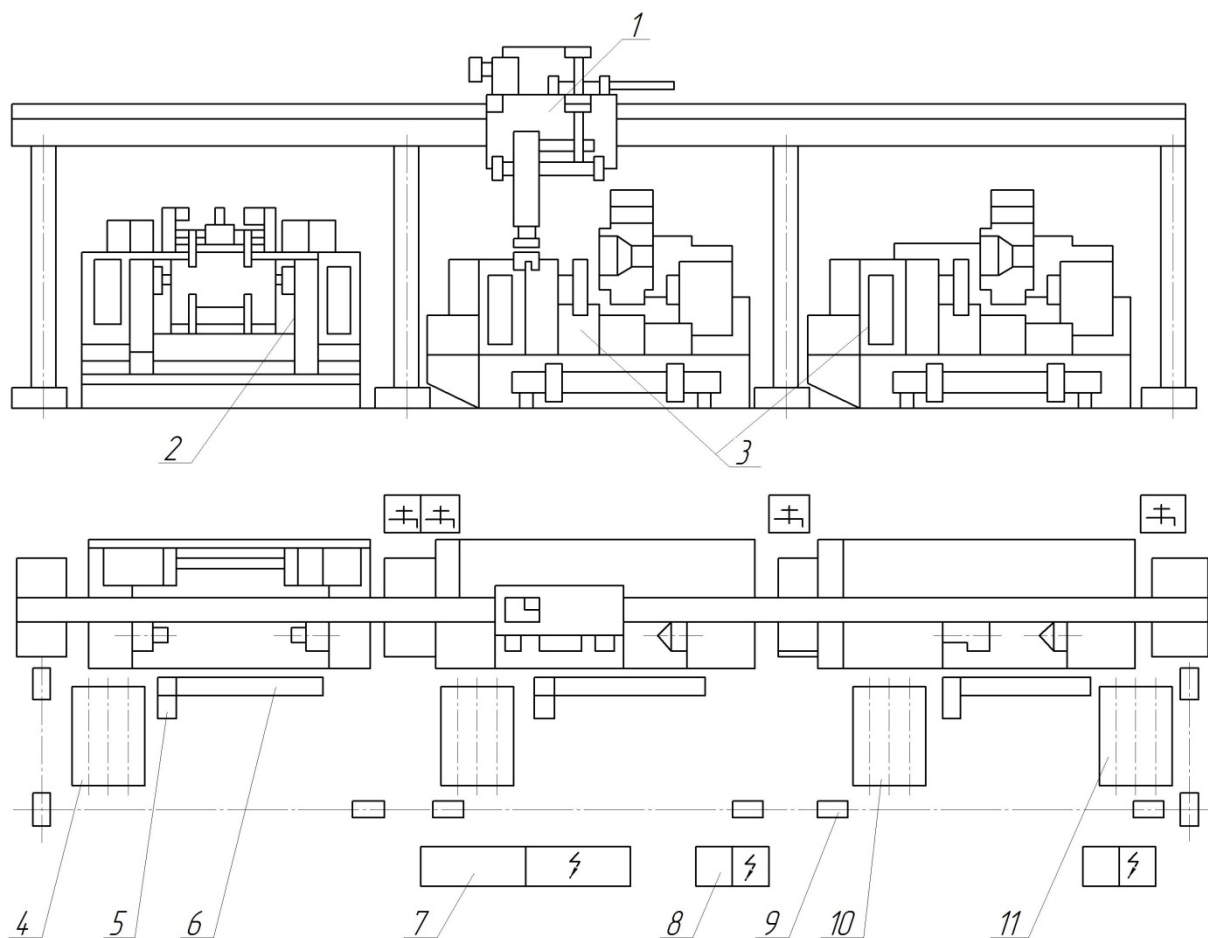


Рисунок 5.5 – Дільниця АСВР-012

Вхідний 4, проміжні 10 та вихідний 11 магазини-накопичувачі являють собою тари з підставками зварної конструкції. Тара виконана у вигляді напрямних, до яких кріпиться планка з призматичними пазами. Планки встановлюють у різні положення для валів різної довжини. Крок пазів вибирають згідно з діаметром заготовок з врахуванням проміжків для введення губок захоплювального пристрою ПР. Система 5 пошуку заготовок у позиціях 6 для перекладання заготовок та готових деталей керується сигналами датчика, встановленого на захоплювальному пристрої. Система ЧПК 7 промислового робота забезпечує індивідуальне обслуговування верстатів за викликами. При одночасному надходженні викликів з двох або більше верстатів встановлюється система пріоритетів, за якою насамперед обслуговується верстат з більшою тривалістю циклу обробки конкретної деталі.

Системи ЧПК та електроавтоматики 8 верстатів передбачають можливість роботи у режимі діалогу «верстат–робот». Керування електроавтоматикою РТК покладено на систему ЧПК промислового робота як координувальної системи керування при груповому обслуговуванні

верстатів. До кількості функцій системи ЧПК промислового робота входять пуск верстата з ЧПК для роботи за керівною програмою, які раніше виконував оператор верстата з ЧПК.

Пристрій світлозахисту 9 необхідний насамперед тому, що промисловий робот являє собою механізм підвищеної небезпеки. Він реєструє момент появи людини в зоні робочого простору ПР і вмикає світлофор. Місце розташування обслуговуючого персоналу у робочій зоні робота може бути визначено різними способами, зокрема, за допомогою кінцевих вимикачів, які спрацьовують під дією маси людини.

Спеціальні блокувальні пристрої запобігають обладнання від пошкоджень та перевантажень, а пристрої вимірювання та контролю забезпечують можливість адаптивного керування роботою РТК. Використання властивостей адаптації до змінних умов значно підвищує надійність роботи дільниці верстатів.

Програма роботи РТК складається з ряду підпрограм, які реалізуються у потрібній послідовності. Підпрограма очікування виклику є організуючою програмою, з якої починається цикл роботи обладнання. Ця підпрограма залежно від інформації, яка надходить від датчиків верстата та магазинів-накопичувачів, з врахуванням прийнятого пріоритету керує виконанням потрібних дій із завантаження верстата, його розвантаження та укладання деталей до магазинів-накопичувачів.

Підпрограма завантаження верстата реалізує таку послідовність дій: переміщення ПР до ложементу магазину-накопичувача, захоплення заготовки, переміщення руки робота в зону обробки, встановлення заготовки до патрона, підтискання заготовки заднім центром, затискання заготовки кулачками патрона, виведення руки робота із зони обробки. Після виконання програми завантаження автоматично закривається захисний екран верстата і починається робота верстата за керівною програмою.

Після закінчення обробки за керівною програмою здійснюється звертання до підпрограми розвантаження верстата, яка виконує таку послідовність дій: переміщення робота до робочої зони, переміщення руки робота в робочу зону обробки, захоплення обробленої деталі, розтискання кулачків та відведення заднього центра, виведення руки робота з деталлю з робочої зони верстата, укладання деталі до певного ложементу магазину-накопичувача. Далі здійснюється перехід до програми очікування виклику і повторюється цикл виготовлення другої деталі партії.

### **Питання для самоконтролю**

1. Що називається мікропроцесором? Мікросхемою?
2. Що входить до обов'язкових компонентів мікропроцесора? Призначення складових компонентів.

3. Що називається мікроконтролером? Використання мікроконтролерів в практиці.
4. Чим відрізняється мікроконтролер від мікропроцесора?
5. Склад типової архітектури мікроконтролера.
6. Що являє собою програмований логічний контролер (ПЛК)? Основні сфери застосування.
7. Мови програмування ПЛК.
8. Дати характеристику ПЧПК, в яких використовуються мікропроцесори та контролери.
9. Дати характеристику систем керування ПР та РТК, в яких використовуються мікропроцесори та контролери.



## ВИСНОВОК

Засвоєння матеріалів дисципліни «Автоматизація виробництва в машинобудуванні» студентами спеціальності 131 «Прикладна механіка», сподіваємось, сприятиме швидкій адаптації випускника при роботі на підприємстві, наприклад, у відділі механізації та автоматизації або при навчанні у аспірантурі, де потрібно розробляти або нові конструкції машин з автоматичним підтримуванням певного режиму роботи, або автоматично контролювати певні параметри, або автоматизувати транспортні передавання об'єктів виробництва і т. ін. Ці сподівання базуються на опитуванні студентів-випускників попередніх років та керівників відповідних виробничих підрозділів, де працюють бувші студенти, що той матеріал, який викладається з цієї дисципліни у нашому закладі вищої освіти достатній і за формою, і за змістом, і за новизною для пристосування до виконання поставлених виробничих завдань в галузі автоматизації в досить стислі часові діапазони.

У декого можуть виникнути сумніви щодо того, що в матеріалах навчального посібника в достатньо великій кількості розглядаються приклади застарілих автоматичних систем, але головне завдання дисципліни – це засвоєння основних принципів побудови окремих ланок та систем в цілому. Ці принципи стали і на будь-якому етапі розвитку виробництва, де планується застосувати автоматичні системи, кожне нове покоління, на відміну від попереднього, буде відрізнятися тільки за сучасністю застосовуваних джерел інформації, виду енергоносія, пристроїв перетворення енергії, обробки та передачі інформаційних сигналів, габаритів системи, швидкодії роботи, точності і т. ін. І не треба забувати, що дисципліна являє собою сукупність теоретичного матеріалу (матеріали двох частин посібника), а також виконання циклу лабораторних робіт, в яких використовуються більш сучасні засоби автоматизації, виконання практичних робіт та індивідуальних завдань. У разі необхідності, працівник підприємства, бувший випускник, який прослухав цю дисципліну, може звернутися до інших інформаційних джерел і самостійно підняти свій фаховий рівень у вивченні конкретного питання.

Шановні студенти! Автоматизація виробництва – це той інструмент, який надає прогресивності розвитку будь-якій галузі промисловості, а машинобудування є основою їх технічного розвитку. Якісно опануйте матеріали дисципліни «Автоматизація виробництва в машинобудуванні» і це надасть Вам гарантовану можливість швидко адаптуватися на діючому підприємстві в сфері вирішення проблем автоматизації процесів, які там здійснюються.

Автори цього посібника бажають Вам успіхів в застосуванні наведених матеріалів у Вашій практичній діяльності!

## ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизація виробництва в машинобудуванні : практикум / [Ю. І. Муляр, В. П. Пурдик, С. В. Репінський та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 133 с.
2. Автоматизация процессов в машиностроении / А. П. Белоусов, А. И. Дашенко, П. М. Полянский, А. В. Шулешкин. – М. : Высшая школа, 1973. – 456 с.
3. Буренніков Ю. А. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : навчальний посібник / Ю. А. Буренніков, І. А. Немировський, Л. Г. Козлов. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 273 с.
4. Волосов С. С. Приборы для автоматического контроля в машиностроении / С. С. Волосов, Е. И. Педь. – М. : Издательство стандартов, 1975. – 336 с.
5. Владзиевский А. П. Основы автоматизации производства в машиностроении / А. П. Владзиевский, А. П. Белоусов. – М. : Высшая школа, 1974. – 352 с.
6. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : учебник для машиностроительных вузов / [Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др.]. – [2-е изд., перераб.]. – М. : Машиностроение, 1982. – 423 с.
7. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи, гідропневмоавтоматика : лабораторний практикум / [Ю. А. Буренніков, О. В. Дерібо, Л. Г. Козлов та ін. ]. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 100 с.
8. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. Курсове проектування для студентів напрямів підготовки 6.050502 – «Інженерна механіка», 6.050503 – «Машинобудування» : [навчальний посібник] / Ю. А. Буренніков, Л. Г. Козлов, В. П. Пурдик, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 238 с.
9. Головка Д. Б. Автоматика і автоматизація технологічних процесів : підручник / Головка Д. Б., Рего К. Г., Скрипник Ю. О. – К. : Либідь, 1997. – 232 с.
10. Гжиров Р. И. Программирование обработки на станках с ЧПУ : Справочник. / Р. И. Гжиров, П. П. Серебrenицкий. – Л. : Машиностроение, 1990. – 588 с.
11. Двойных Н. А. Роторно-конвейерные автоматические линии в гибких автоматизированных производствах / Двойных Н. А. – К. : Техніка, 1987. – 112 с.
12. Дерябин А. Л. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГПС / А. Л. Дерябин, М. А. Эстерзон. – М. : Машиностроение, 1989. – 288 с.
13. Доля В. М. Програмування, введення та відпрацювання управляючих програм для верстатів з ЧПУ та РТК / Доля В. М. – Харків : НТУ «ХПЗ», 2004. – 169 с.

14. Кузнецов М. М. Автоматизация производственных процессов / М. М. Кузнецов, Л. И. Волчкевич, Ю. П. Замчалов ; под общ. ред. Г. А. Шаумяна. – М. : Высшая школа, 1978. – 431 с.
15. Лебедевский М. С. Автоматизация сборочных работ / М. С. Лебедевский, А. И. Федотов. – Л. : Лениздат, 1970. – 448 с.
16. Либерман Б. С. Автоматизация технологических процессов механической обработки / Либерман Б. С., Терган В. С., Андреев И. Б. – М. : Машиностроение, 1969. – 251 с.
17. Малов А. Н. Основы автоматики и автоматизация производственных процессов / А. Н. Малов, Ю. В. Иванов. – М. : Машиностроение, 1974. – 368 с.
18. Многоцелевые системы ЧПУ гибкой механообработкой / [В. Н. Алексеев, В. Г. Воржев, Г. П. Гырдымов и др.] ; под общ ред. В. Г. Колосова. – Л. : Машиностроение, 1984. – 224 с.
19. Модульное оборудование для гибких производственных систем механической обработки: Справочник. / [Р. Э. Сафраган, Г. А. Кривов, В. Н. Титаренко и др.] – К. : Техника, 1989. – 175 с.
20. Пашков Є. В. Електропневмоавтоматика у виробничих процесах : навч. посібник / Пашков Є. В., Осинський Ю. О., Четв'юркін О. О. ; під ред. Є. В. Пашкова. – [2-е вид., перероб. і доп.]. – Севастополь : Вид-во СевНТУ, 2003. – 496 с.
21. Пашков Є. В. Промислові мехатронні системи на основі пневмоприводу : навч. посібник / Є. В. Пашков, Ю. О. Осинський. – Севастополь : Вид-во СевНТУ, 2007. – 388 с.
22. Пуховский Е. С. Технологические основы гибкого автоматизированного производства / Пуховский Е. С. – К. : Вища школа, 1989. – 240 с.
23. Пуховский Е. С. Технология гибкого автоматизированного производства / Е. С. Пуховский, Н. Н. Мясников. – К. : Техника, 1989. – 207 с.
24. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9-ти кн. Кн. 7. Гибкие автоматизированные производства в отраслях промышленности / [И. М. Макаров, П. Н. Белянин, Л. В. Лобиков и др.] – М. : Высшая школа, 1986. – 176 с.
25. Трифонов Л. М. Процессы и оборудование гибкого автоматического производства обработки металлов резанием / Трифонов Л. М. – М. : Министерство радиопромышленности СССР, институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов, 1985. – 101 с.

*Навчальне видання*

**Муляр Юрій Іванович,  
Репінський Сергій Володимирович**

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА В МАШИНОБУДУВАННІ**

**Частина II**

**Навчальний посібник**

Рукопис оформив *С. Репінський*

Редактор *Т. Старічек*

Оригінал-макет підготував *О. Ткачук*

Підписано до друку 13.01.2020.  
Формат 29,7×42 ¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 7,38.  
Наклад 50 (1-й запуск 1-21) пр. Зам. № 2020-008.

Видавець та виготовлювач  
Вінницький національний технічний університет,  
інформаційний редакційно-видавничий центр.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Хмельницьке шосе, 95,  
м. Вінниця, 21021.  
Тел. (0432) 65-18-06.  
**press.vntu.edu.ua;**  
*E-mail: kivc.vntu@gmail.com*  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.