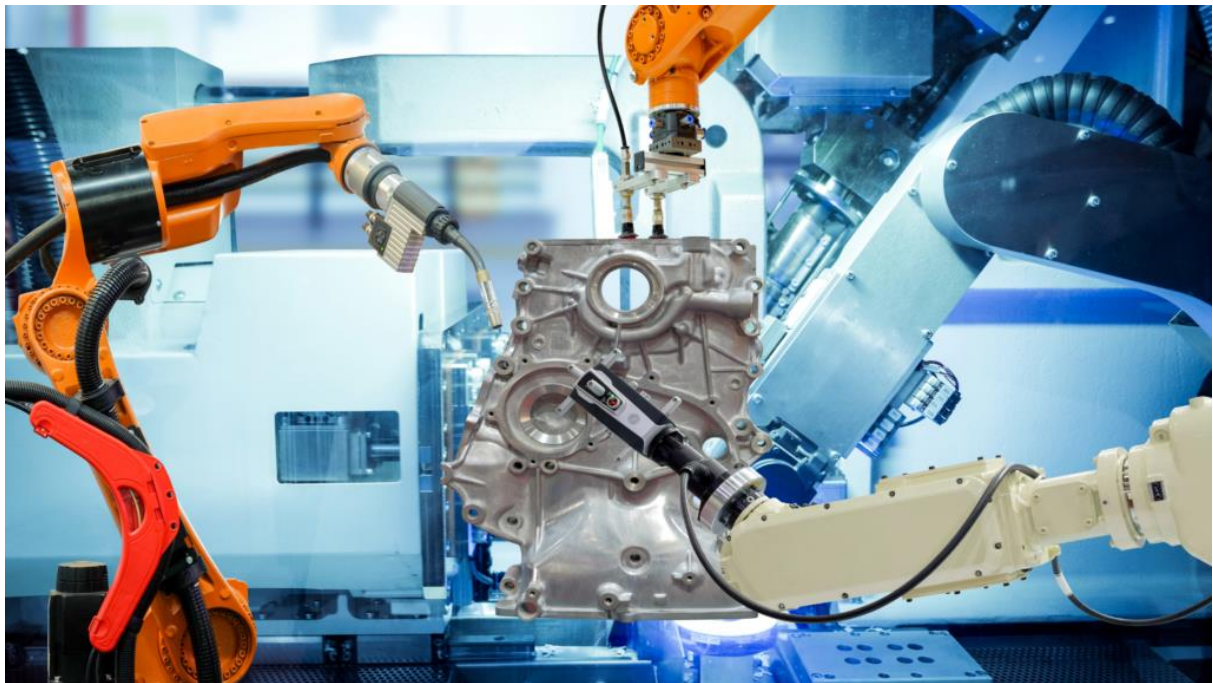


**Ю. І. Муляр  
С. В. Репінський**

# **АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА В МАШИНОБУДУВАННІ**

**Самостійна та індивідуальна  
робота студентів**



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

# **АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА В МАШИНОБУДУВАННІ**

**Самостійна та індивідуальна  
робота студентів**

Електронний навчальний посібник  
комбінованого (локального та мережного) використання

Вінниця  
ВНТУ  
2022

УДК 621.0  
М90

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 7 від 31.03.2022 р.)

Рецензенти:

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

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

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

**Муляр, Ю. І.**

**М90** Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Самостійна та індивідуальна робота студентів : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 115 с.

В посібнику наводяться теми лекцій, питання, що на них розглядаються, зміст практичних занять, питання для підготовки до проміжного та підсумкового контролів знань, а також матеріали для самостійного опрацювання деяких важливих тем лекційного курсу дисципліни «Автоматизація виробництва в машинобудуванні».

Посібник призначений для студентів, що навчаються за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка» денної та заочної форм навчання. Перелік та зміст матеріалу відповідає програмі дисципліни «Автоматизація виробництва в машинобудуванні».

**УДК 621.0**

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	5
1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ.....	7
2 ТЕМИ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ ТА ПИТАННЯ, ЩО НА НИХ РОЗГЛЯДАЮТЬСЯ.....	8
3 ЗМІСТ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ.....	12
3.1 Теми та зміст практичних занять.....	12
3.2 Опис конструкції електрогідравлічного підсилювача типу УЭГ.С-100 для виконання практичного заняття № 1.....	15
4 ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ.....	18
5 САМОСТІЙНА РОБОТА ПО ЛЕКЦІЙНОМУ КУРСУ.....	25
Тема 3. ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	25
3.1 Перетворювачі тиску рідин та газів.....	25
3.2 Прилади для вимірювання температури.....	35
Тема 4. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИМИ ВЕРСТАТАМИ.....	43
4.1 Поняття автоматичного циклу.....	43
4.2 Автоматизація робочих циклів металорізальних верстатів.....	44
Тема 5. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ. РОЗРАХУНОК БУНКЕРНИХ ЗАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ПРИ ЗАВАНТАЖЕННІ РОБОЧИХ ЗОН ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ШТУЧНИМИ ЗАГОТОВКАМИ.....	50
5.1 Визначення технічних характеристик та параметрів вібраційних бункерних завантажувальних пристроїв.....	50
5.2 Визначення технічних характеристик кишенькових бункерних завантажувальних пристроїв.....	60
Тема 7. ЗАСОБИ ТА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РОЗМІРІВ ТА ОСНОВНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ.....	65
7.1 Вступна частина.....	65
7.2 Індуктивні вимірювальні перетворювачі (ІВП).....	67
7.3 Електронні вимірювальні перетворювачі (ЕВП).....	70

7.4 Пневматичні вимірювальні перетворювачі (ПВП).....	70
7.5 Ємнісні перетворювачі.....	72
7.6 Електроконтактні вимірювальні пристрої.....	75
7.7 Активний контроль з автоматичним регулюванням.....	80
Тема 8. КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦІЯ ШИРОКОНОМЕНКЛАТУРНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	
8.1 Експлуатація ГВС.....	89
8.2 Системи керування ГВС.....	98
8.3 Приклад організації виробничого процесу в ГВС.....	100
Тема 9. МЕХАНІЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ СКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НА ТОЧНІСТЬ СКЛАДАЛЬНИХ ВУЗЛІВ.....	
ЛІТЕРАТУРА.....	103
	112

## ПЕРЕДМОВА

Розроблений навчальний посібник має допомогти студентам, що навчаються за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка» денної та заочної форми навчання, виконати заплановану самостійну роботу і опрацювати деякі важливі теми лекційного курсу, як то «Засоби автоматизації» (більш широке ознайомлення порівняно з аудиторними заняттями), «Системи автоматичного керування металорізальними верстатами» (автоматизація робочих циклів металорізальних верстатів), «Автоматизація завантаження металорізальних верстатів» (розрахунок бункерних завантажувальних пристроїв штучними заготовками), «Засоби та системи контролю розмірів та основних функціональних параметрів» (матеріали зі складання елементарних схем контролю параметра процесу, забезпечення розміру поверхонь та систем автоматичного регулювання певного значення функціонального параметра процесу), «Комплексна автоматизація широко номенклатурного виробництва» (допоміжні системи гнучких виробничих систем: інструментальне забезпечення, системи автоматичного контролю, АСУТП, САПР, АСПВ, АСК), «Автоматизація процесів складання» (ознайомлення з методиками розрахунку на точність складальних вузлів).

У зв'язку зі зміною освітньо-професійної програми підготовки магістрів за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», лабораторні роботи з дисципліни «Автоматизація виробництва в машинобудуванні», що виконувалися раніше, переформатовано в практичні заняття. Тому при виконанні тем практичних занять необхідно користуватися навчально-методичними матеріалами: Автоматизація виробництва в машинобудуванні : практикум / Ю. І. Муляр, В. П. Пурдик, С. В. Репінський [та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 133 с. Але з розгляду потрібно виключити практичне виконання розглядуваними системами та датчиками відповідних досліджень на лабораторному устаткуванні.

Крім того, в посібнику надаються додаткові матеріали для проведення відповідних розрахунків за темою практичного заняття «Розрахунок бункерних завантажувальних пристроїв при завантаженні робочих зон технологічного обладнання штучними заготовками» під час виконання індивідуального завдання, а також для більш детального уявлення про конструкцію приладу, який є предметом дослідження в процесі виконання практичного заняття за темою «Електрогідравлічний підсилювач типу УЭГ.С-100 та визначення його експлуатаційної характеристики».

Матеріали посібника рекомендовано використовувати для вивчення матеріалів лекційного курсу, які не увійшли до аудиторного навантаження, під час виконання індивідуального завдання студентами денної форми навчання та контрольної роботи студентами заочної форми навчання, а

також для підготовки до заходів проміжного і підсумкового контролю знань з дисципліни.

Посібник для самостійної та індивідуальної роботи студентів з дисципліни «Автоматизація виробництва в машинобудуванні» призначений допомогти студентам засвоїти матеріал дисципліни в повному обсязі, застосувати отримані навички в процесі виконання випускних робіт та в подальшій професійній діяльності за фахом.

## 1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Завдяки автоматизації виробничих процесів реалізується один з основних напрямів діяльності людини – вдосконалення процесів виробництва з метою полегшення важкої фізичної праці, підвищення продуктивності, якості та ефективності процесу в цілому. Нині робота машинобудівних підприємств в умовах ринку потребує постійного вдосконалення технологічних процесів, засобів автоматизації та технології управління на всіх рівнях виробництва.

Дисципліна «Автоматизація виробництва в машинобудуванні» є професійною і завершальною в системі підготовки магістрів за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка». Дисципліна базується на знаннях, що отримані під час вивчення попередніх дисциплін бакалаврського рівня освіти. Передбачає проведення комплексу лекційних занять і практичних робіт, виконання індивідуального завдання та контрольної роботи для студентів заочної форми навчання. Контроль знань студентів протягом навчання здійснюється за допомогою вхідного контролю, поточних контрольних робіт та колоквиумів. Дисципліна має не тільки самостійне значення, а й забезпечує студентів основними базовими знаннями для успішного вивчення інших дисциплін технологічного циклу, передбачених навчальним планом.

**Метою вивчення дисципліни** «Автоматизація виробництва в машинобудуванні» є теоретична та практична підготовка магістрів за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка», а також надання комплексу спеціальних знань та навичок, необхідних під час роботи з конструювання, виготовлення, дослідження і експлуатації засобів автоматизації та автоматизованих систем виробництва в машинобудуванні.

До завдань дисципліни відноситься комплекс знань та умінь, який має набути студент під час вивчення дисципліни. Тобто, студенти мають

***вміти:***

- розробляти принципові схеми автоматизованих пристроїв;
- розраховувати основні параметри автоматизованих пристроїв;
- застосовувати сучасні засоби для автоматизації технологічних процесів виробництва та складання машин;

***знати:***

- елементну базу засобів автоматизації виробничих процесів в машинобудуванні;
- принципи побудови автоматичних пристроїв та автоматизованого обладнання на основі механічних, електричних, пневматичних та гідравлічних приводів;
- методики розрахунків автоматичних пристроїв;
- особливості експлуатації автоматизованого обладнання;
- основні засоби автоматизації отримання заготовок, виготовлення деталей, складання та транспортування в машинобудуванні.



## **2 ТЕМИ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ ТА ПИТАННЯ, ЩО НА НИХ РОЗГЛЯДАЮТЬСЯ**

### **Тема 1. Вступ. Загальні відомості про автоматизацію виробництва**

- 1.1 Мета та основні задачі дисципліни.
- 1.2 Значення автоматизації виробничих процесів в прискоренні науково-технічного прогресу.
- 1.3 З історії автоматики.
- 1.4 Основні поняття та означення.
- 1.5 Продуктивність автоматичної машини.

### **Тема 2. Прогресивний технологічний процес – основа автоматизованого виробництва**

- 2.1 Вибір прогресивних методів отримання заготовок.
- 2.2 Підвищення технологічності конструкцій.
- 2.3 Точність обробки.
- 2.4 Особливості проектування технологічного процесу у автоматизованому виробництві.

### **Тема 3. Засоби автоматизації**

- 3.1 Основні поняття та означення.
- 3.2 Класифікація розпоряджувальних засобів автоматизації. Розгляд окремих представників класів (датчиків).
- 3.3 Проміжні елементи.
  - 3.3.1 Підсилювачі.
  - 3.3.2 Зменшувачі.
  - 3.3.3 Сповільнювачі.
- 3.4 Виконавчі пристрої.

#### ***Питання, які виносяться на самостійне опрацювання (СРС):***

- більш широке ознайомлення (порівняно з лекційним курсом) із засобами автоматизації.

### **Тема 4. Системи автоматичного керування металорізальними верстатами**

- 4.1 Класифікація систем автоматичного керування (САК) металорізальними верстатами.
- 4.2 Види САК за ступенем централізації.
- 4.3 САК за видом програмоносія.
- 4.4 Види САК за способом дії на виконавчий орган та за наявністю зворотного зв'язку.

#### ***Питання, які виносяться на самостійне опрацювання (СРС):***

- автоматизація робочих циклів металорізальних верстатів.

## **Тема 5. Автоматизація завантаження металорізальних верстатів**

5.1 Основні етапи завантаження металорізального обладнання.

5.2 Автоматизація орієнтування.

5.3 Завантажувальні пристрої.

5.3.1 Магазинні завантажувальні пристрої

5.3.2 Бункерні завантажувальні пристрої (БЗП)

5.3.3 Інші механізми завантажувальних пристроїв

5.3.4 Автооператори (маніпулятори)

5.3.5 Використання промислових роботів для завантаження-розвантаження).

5.3.6 Автоматичний затиск заготовок.

5.3.7 Вимоги до точності робіт завантажувально-орієнтувальних пристроїв.

***Питання, які виносяться на самостійне опрацювання (СРС):***

- розрахунок бункерних завантажувальних пристроїв штучними заготовками робочих зон технологічного обладнання.

## **Тема 6. Комплексна автоматизація великосерійного і масового виробництва**

6.1 Особливості обробки в умовах великосерійного і масового виробництва; визначення автоматичної лінії.

6.2 Класифікація автоматичних ліній (АЛ).

6.3 Основні вузли та механізми АЛ (силові головки; транспортні засоби АЛ; механізми затискання та фіксації деталей).

6.4 Допоміжні механізми АЛ (агрегати накопичення та видавання деталей; механізми зміни положення деталей; пристрої для видалення стружки.

6.5 Конструкції АЛ (АЛ з агрегатних верстатів; АЛ із спеціальних верстатів; АЛ із спеціалізованих верстатів; роторні та роторно-конвеєрні АЛ).

## **Тема 7. Засоби та системи контролю розмірів та основних функціональних параметрів**

7.1 Значення автоматичного контролю у сучасних виробничих процесах машинобудівної галузі промисловості.

7.2 Основні відомості про автоматичний контроль.

7.3 Вимірювальні прилади для здійснення активного контролю.

7.4 Автоматичні підналадчики.

7.5 Автоматичні блокувальні пристрої.

***Питання, які виносяться на самостійне опрацювання (СРС):***

- складання елементарних схем контролю параметра процесу, забезпечення відносного розташування поверхонь, форми, розміру поверхонь;

- складання елементарних схем систем автоматичного регулювання певного значення функціонального параметра процесу.

## **Тема № 8. Комплексна автоматизація широкономенклатурного виробництва**

8.1 Передумови для створення ГАВ.

8.2 Історія розвитку ГАВ.

8.3 Соціально-технічні та соціально-економічні аспекти гнучкої автоматизації виробництва.

8.4 Науково-технічні та технологічні можливості й задачі впровадження ГАВ.

8.5 Методика створення ГВС.

8.6 Техніко-економічна та організаційна ефективність впровадження ГВС.

8.7 Надійність роботи автоматизованих комплексів.

8.8 Економічна ефективність ГВС.

8.9 Технологічне обладнання. Багатоцільовий верстат з ЧПК.

8.10 Промислові роботи та маніпулятори.

8.11 Автоматизована транспортно-накопичувальна система.

8.12 Роботизовані комплекси.

### ***Питання, які виносяться на самостійне опрацювання (СРС):***

- інструментальне забезпечення ГВС;

- системи автоматичного контролю ГВС;

- автоматична система видалення відходів;

- автоматичні системи керування технологічними процесами;

- системи автоматизованого проектування.

## **Тема № 9. Механізація та автоматизація складальних робіт**

9.1 Загальні поняття та означення.

9.2 Шляхи та засоби механізації та автоматизації технологічних процесів складання.

9.3 Методи проектування автоматизованих технологічних процесів складання.

9.4 Технологічність конструкції деталей вузлів машин за переходу на автоматичне складання.

9.5 Обладнання, яке застосовується в процесі автоматизованого складання.

9.6 Автоматизація подачі деталей на складання.

9.7 Автоматичне орієнтування деталей у завантажувальних пристосуваннях.

### ***Питання, які виносяться на самостійне опрацювання (СРС):***

- ознайомлення з методиками розрахунку на точність складальних вузлів.

**Тема № 10. Мікропроцесорна техніка та контролери –  
найефективніший засіб в системах автоматичного керування**

10.1 Загальні відомості про мікропроцесорну техніку та контролери.

10.2 Приклади застосування мікропроцесорної техніки у системах керування верстатів з ЧПК, промислових роботів та роботизованих технологічних комплексах.

### 3 ЗМІСТ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

На основі вивченого теоретичного матеріалу проводяться практичні заняття. За результатами практичних занять передбачається виконання індивідуального завдання (ІЗ) студентами денної форми навчання і контрольної роботи (КР) студентами заочної форми навчання.

Внаслідок проведення практичних занять і виконання ІЗ або КР студенти повинні:

**знати:**

- конструкції та принцип дії всіх датчиків, які розглядаються на заняттях;
- можливі напрямки їхнього застосування на практиці;
- методики дослідження цих датчиків з метою отримання статичних характеристик;
- склад стендів та схеми підключення датчиків для проведення досліджень;
- методику та закономірності побудови автоматичних виробничих процесів;
- принципи дії елементної бази автоматизації в межах викладеного лекційного курсу;
- методику побудови циклограм роботи автоматичного обладнання;

**вміти:**

- орієнтуватися у виборі певних засобів автоматизації для певного функціонального призначення системи;
- розробляти елементарні автоматичні системи для виконання певних функцій виробничих процесів;
- робити розрахунки основних параметрів деяких засобів та пристроїв автоматизації;
- складати структурну схему розробленої автоматичної системи з поданням всіх зв'язків (інформаційних, енергетичних тощо), які мають бути передбачені в системі для виконання свого функціонального призначення;
- складати алгоритм роботи автоматичної системи, зокрема і роботизованого комплексу, які мають в автоматичному режимі виконувати певну послідовність дій в межах циклу;
- складати циклограму роботи автоматичної системи.

#### 3.1 Теми та зміст практичних занять

**Практичне заняття № 1.** Конструкція, принципи дії та експлуатація засобів автоматизації на прикладі випробувального стенда для дослідження рукавів високого тиску.

1.1 Вимірювально-реєстраційна система контролю параметрів технологічного процесу.

1.2 Датчик тиску рідини та методика підготовки його до експлуатації.

1.3 Датчики лінійного переміщення та методика підготовки їх до експлуатації.

1.4 Електрогідравлічний підсилювач типу УЭГ.С-100 та визначення його експлуатаційної характеристики.

1.5 Засвоєння методики проведення експериментальних досліджень на стенді з вимірювально-реєстраційною системою на основі цифрового адаптера.

Зміст заняття:

- ознайомлення з конструкцією випробувального стенда, принципом його роботи та з системою реєстрації показників технологічного процесу на ЕОМ, до складу якої входять необхідні засоби автоматизації, за використання в реальних виробничих умовах;

- ознайомлення з конструкцією датчика тиску рідини та зняття його статичної характеристики;

- вивчення конструкції датчика лінійного переміщення індуктивного типу та зняття його статичної характеристики;

- ознайомлення з конструкцією, принципом дії електрогідравлічного підсилювача та зняття його експлуатаційної характеристики – точності відпрацювання виконавчим органом сигналу підсилювача;

- ознайомлення з методикою експлуатації випробувального стенда та реєстраційно-вимірювальної системи на основі адаптера ADA-1406 та ЕОМ.

**Практичне заняття № 2.** Ознайомлення з конструкцією, принципом дії та використанням у роботі датчика температури.

Зміст заняття:

- ознайомитись з конструкцією, принципом дії датчика температури – термоелектричного термометра; виконати градування датчика; ознайомитися зі складом, принципом дії автоматичної системи регулювання заданого температурного режиму у тепловому процесі згідно з завданням викладача.

**Практичне заняття № 3.** Методи та засоби вимірювання частоти обертання вала технологічної машини.

Зміст заняття:

- набуття відповідних знань та практичних навичок щодо датчиків, призначених для вимірювання частоти обертання вала технологічної машини, методів їх випробування, схем підключення до вимірювальних кіл та їх використання в практичній роботі.

**Практичне заняття № 4.** Автоматична система керування технологічним процесом сушильної камери.

Зміст заняття:

- ознайомлення з конструкцією, принципом дії та навичками програмування автоматичної системи керування сушильною камерою.

**Практичне заняття № 5.** Автоматична система контролю рівня рідини.

Зміст заняття:

- ознайомлення із системою автоматизованого контролю рівня рідини, її налагодження на робочі режими та визначення напрямків застосування в промисловості.

**Практичне заняття № 6.** Автоматична дозувальна система для фасувальних технологічних процесів на основі вагового датчика.

Зміст заняття:

- ознайомлення з автоматичною дозувальною системою для фасування штучно-сипучої продукції в харчовій промисловості або в процесах складання машинобудівної галузі.

**Практичне заняття № 7.** Розробка керівної програми роботи промислового роботу РФ-204М у складі роботизованого комплексу.

Зміст заняття:

- набуття практичних навичок у програмуванні роботи промислового робота у складі роботизованого комплексу.

**Практичне заняття № 8.** Створення системи керування цикловим процесом на основі вільнопрограмованого контролера FC620-FST.

Зміст заняття:

- набуття навичок створення та редагування програми мовою STL з використанням прапорців, абсолютних та символічних операндів; вміння будувати програми з кроковою і мультипроцесною будовою для керування цикловою роботою системи приводів.

**Практичне заняття № 9.** Розробка елементарних систем автоматичного регулювання певного функціонального параметра виробничого процесу за заданим набором складових елементів.

Зміст заняття:

- визначення складу елементної бази для автоматизації процесу регулювання заданим параметром виробничого процесу (розглядається декілька варіантів);

- розробка структурної схеми автоматичної системи з поданням усіх зв'язків (інформаційних, енергетичних тощо), які мають бути передбачені в системі для виконання свого функціонального призначення;

- розробка ескізного проекту такої системи; виконання відповідних розрахунків параметрів системи.

**Практичне заняття № 10.** Роботизація заданої або заданих операцій технологічного процесу механічної обробки деталі та розробка алгоритму роботи.

Зміст заняття:

- відповідно до завдання, у якому наводяться компонування роботизованого комплексу (РК) і функція його роботи, розробка двох альтернативних варіантів алгоритму роботи в межах циклу;

- побудова циклограм роботи двох варіантів РК і за результатами визначення циклу в кожному вибір найбільш продуктивного варіанта алгоритму.

**Практичне заняття № 11.** Розрахунок бункерних завантажувальних пристроїв (БЗП) при завантаженні робочих зон технологічного обладнання штучними заготовками.

Зміст заняття:

- вивчення складу і принципу роботи вібраційного та кишенькового БЗП;

- розрахунок параметрів вібраційного та кишенькового БЗП.

### **3.2 Опис конструкції електрогідравлічного підсилювача типу УЭГ.С-100 для виконання практичного заняття № 1**

Призначення, галузь застосування та опис принципової схеми (рис. 3.1) електрогідравлічного підсилювача типу УЭГ.С-100 подано в [1].

Конструктивно підсилювач складається з двох блоків (рис. 3.2):

- електрогідравлічного блока з важелем зворотного зв'язку;

- золотникового блока.

Електрогідравлічний блок являє собою електромеханічний перетворювач, конструктивно об'єднаний з керівним диференціальним елементом «сопло-засувка». Електромагнітна система блока містить два магнітопроводи 1, чотири постійних магніти 2, дві котушки 3, розташовані всередині магнітопроводів та охоплювальний якір 4. Магнітопроводи затиснуті між двома корпусами 5 та 6 і стягнуті гвинтами 7, у корпусі 5 на дрібній різі, яка дозволяє здійснювати регулювання, вгвинчено сопла 8. Якір жорстко зв'язаний з торсіоном 9, який має ділянки строго нормованого перерізу, що працюють на скручування. Один кінець торсіона жорстко заземлений у корпусі за допомогою упора 10 та гвинта 11, другий (вільний) кінець розташований у підшипнику 12. На вільному кінці торсіона жорстко закріплено важіль зворотного зв'язку 13, верхня частина якого слугує засувкою для сопел. Порожнина «В», де розташовано підшипник, закрита кришкою 14. Всі гідравлічні ущільнення виконано за допомогою гумових кілець.



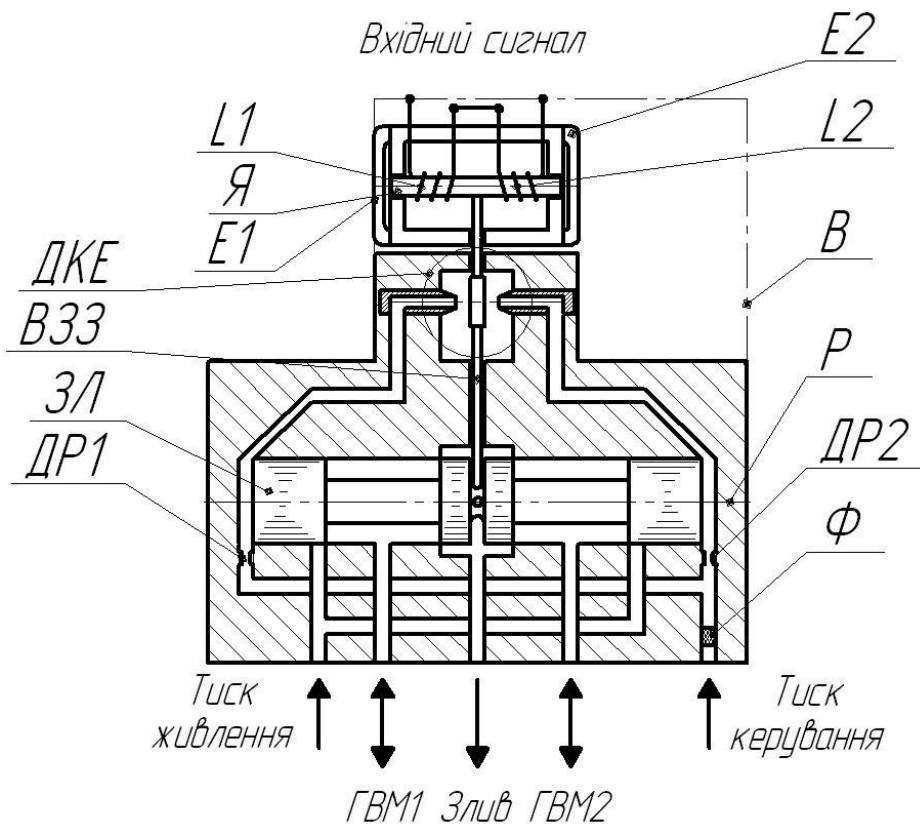


Рисунок 3.1 – Принципова схема підсилювача:

В – перетворювач електромеханічний; ВЗЗ – важіль зворотного зв’язку;  
 ГВМ1, ГВМ2 – гідравлічний виконавчий механізм;  
 ДКЕ – диференціальний керівний елемент; ДР1, ДР2 – дросель постійний;  
 ЗЛ – золотник; Р – розподільник гідравлічний; Ф – фільтр; Я – якір;  
 E1, E2 – магніт постійний; L1, L2 – котушка

Золотниковий блок являє собою золотникову пару (золотник 15 – втулка 16), встановлену у корпусі 17 на гумових кільцях. Торцеві порожнини золотникової пари закриті пробками 18. Нижній кінець важеля зворотного зв’язку виконано у вигляді розрізної кульки та вставлено з натягом до кільцевої розточки золотника. Від провертання втулка фіксується шпонкою ковзання 23. У корпусі розташовано фільтр 19, призначений для очищення масла, яке надходить до системи керування, та два постійних дроселі 20.

Блоки з’єднано між собою методом стикового монтажу. Стикові площини ущільнено гумовими кільцями, які розташовані у отворах прокладки 21.

В конструкції золотникового блока також передбачено два отвори, які при транспортуванні виробу заглушено пробками 22 – це канали, через які можна підключити гідравлічні виконавчі механізми ГВМ1 та ГВМ2 (див. принципову схему підсилювача).

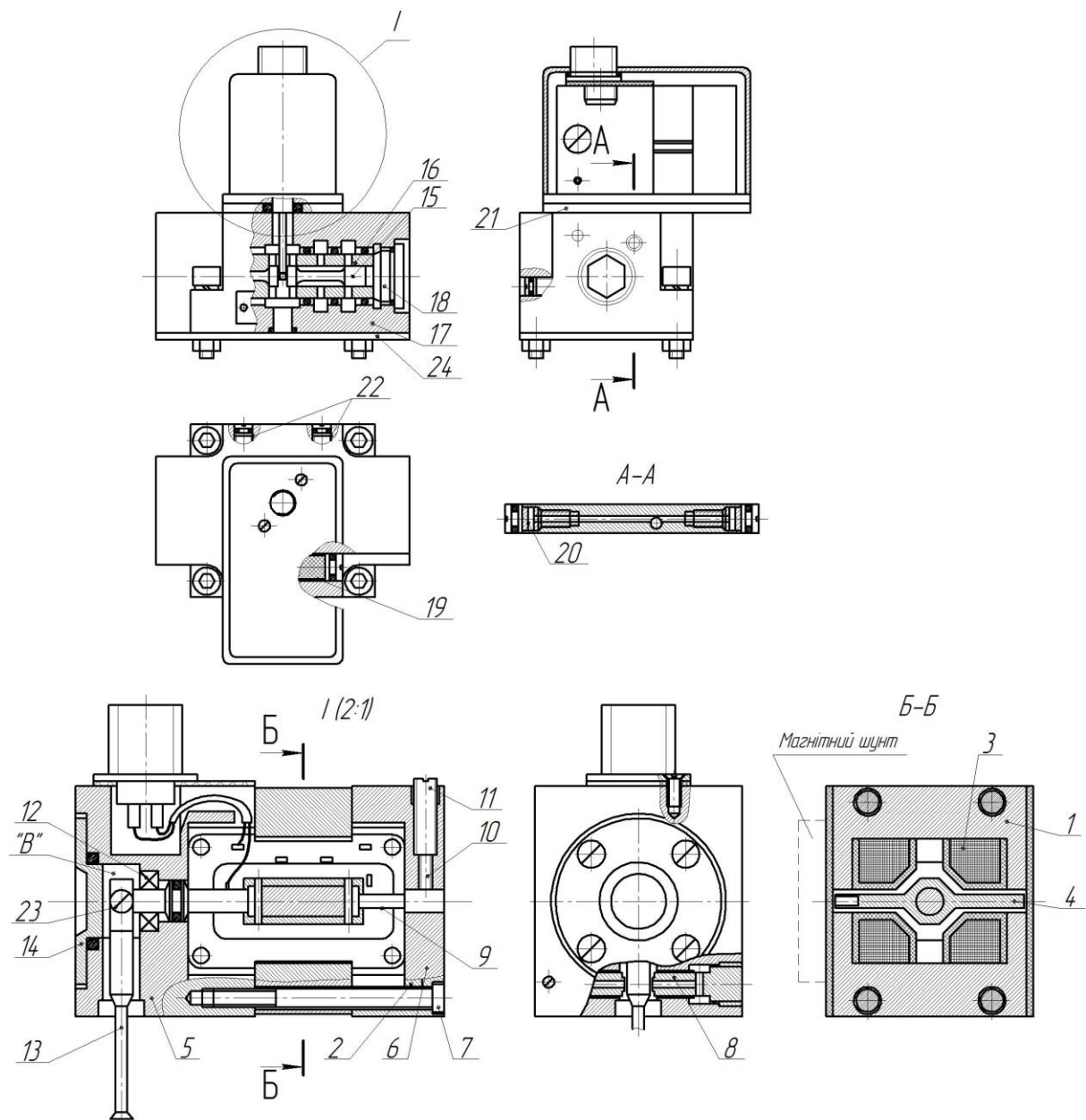


Рисунок 3.2 – Конструкція електрогідрравлічного підсилювача

Крім того, всередині блока розташовано систему комутаційних отворів для постачання гідрравлічної енергії до відповідних порожнин згідно з тією самою прициповою схемою, що сприяє під час отримання сигналу від електрогідрравлічного блока керуванню виконанню свого функціонального призначення пристрою в цілому. Всі отвори мають виходи на зовнішні поверхні блоків (зокрема і електрогідрравлічного) – основні для підключення відповідних джерел, тобто які виробляють тиски живлення та керування, та контрольно-вимірювальних пристроїв (наприклад, манометрів), допоміжні – мають технологічне призначення і заглушені пробками. Входи основних отворів у золотниковому блоці під час транспортування виробу закрито кришкою 24.

## 4 ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

### Тема 1

1. Що розуміється під автоматизацією виробничих процесів?
2. Яке значення має автоматизація у розвитку промислового виробництва?
3. Наведіть декілька прикладів з хронології розвитку автоматизації.
4. Основні складові трудового процесу. Їх характеристика.
5. Що таке автоматизація?
6. Розкрийте поняття механізації та автоматизації. Які види механізації та автоматизації розрізняють?
7. Що таке «автомат», «напівавтомат», «автоматична лінія», «автоматичний цех (завод)»?
8. Перерахуйте складові будь-якого виробничого процесу в машинобудуванні.
9. Від чого залежить тривалість робочого циклу?
10. Що таке циклова продуктивність машини? Технологічна продуктивність? Коефіцієнт продуктивності? Фактична продуктивність?
11. Класифікація втрат в процесі роботи автоматичної машини.

### Тема 2

12. Які вимоги висуваються до методу отримання заготовок для організації в подальшому ефективного автоматизованого процесу виготовлення виробу?
13. Які фактори сприяють підвищенню технологічності конструкції виробу у автоматизованому виробництві?
14. Назвіть основні чинники процесу обробки, які впливають на її точність і як її можна підвищити у автоматизованому виробництві (наведіть приклади).
15. Відповіді на які питання потрібно отримати проектанту технологічного процесу в автоматизованому виробництві?
16. Класифікація технологічних процесів (основні та перехідні класи). Назвіть приклади обробки згідно з цією класифікацією.
17. Класифікація робочих машин за ознакою – безперервність обробки.
18. Як визначається продуктивність машини для кожного класу?

### Тема 3

19. Поняття «управління». Що таке прийом управління?
20. Автоматичні пристрої. Поняття «засобів автоматизації».
21. Склад елементарного механізму для автоматичного виконання прийому. Характеристика складових.

22. Що таке «датчик»?
23. Класифікація розпоряджувальних засобів автоматизації.
24. Якими характеристиками потрібно керуватися під час вибору датчика?
25. Конструкції, призначення, принципи дії окремих датчиків.
26. Функціональні призначення проміжних пристроїв.
27. Класифікація, конструкції, призначення, принципи дії окремих підсилювачів.
28. Призначення зменшувачів. Конструкції, принципи дії окремих зменшувачів.
29. Призначення сповільнювачів. Різновиди реле часу.
30. Призначення якісних реле-перетворювачів. Приклади таких перетворювачів.
31. Призначення виконавчих пристроїв. Різновиди виконавчих пристроїв, конструкції, принципи дії.

#### **Тема 4**

32. Навести різновиди систем автоматичного керування.
33. Які види САК існують за класифікаційною ознакою – ступінь централізації? Дати характеристику кожного різновиду.
34. Які види САК існують за класифікаційною ознакою – вид програмоносія? Дати характеристику кожного різновиду.
35. Навести класифікацію систем ЧПК. Дати характеристику кожного різновиду.

#### **Тема 5**

36. Назвіть основні етапи процесу завантаження металорізального обладнання штучними заготовками.
37. Що називається автоматизацією орієнтування? Які умови висуваються в такому випадку?
38. Що розуміється під розпізнаним та нерозпізнаним положенням заготовки? Наведіть приклади.
39. Які різновиди орієнтування існують? Дайте означення кожного.
40. Способи здійснення вторинного орієнтування.
41. З яких вузлів і механізмів складається завантажувальний пристрій? Призначення кожного.
42. Призначення магазинних завантажувальних пристроїв. Їх різновиди.
43. Склад магазинних завантажувальних пристроїв.
44. Як розрізняються магазини лоткового типу?
45. Як визначаються геометричні параметри лотка?
46. Як розрізняються за конструктивною ознакою магазинні завантажувальні пристрої? Їх характеристика.
47. Що являє собою бункерний завантажувальний пристрій?

48. Як визначити об'єм бункера?
49. Як розрізняються бункерні завантажувальні пристрої залежно від форми подачі заготовок?
50. Як розрізняються бункерні завантажувальні пристрої за органами захвату?
51. Які види бункерних завантажувальних пристроїв з поштучною видачею заготовок Ви знаєте? Характеристика кожного виду. Методика їх розрахунку.
52. Методика розрахунку продуктивності бункерного завантажувального пристрою.
53. Які додаткові механізми застосовуються у бункерних завантажувальних пристроях для забезпечення їх функціонального призначення? Їх характеристика.
54. Які вимоги висуваються до точності робіт завантажувально-орієнтувальних пристроїв?

### **Тема 6**

55. Особливості умов великосерійного та масового типів виробництва з погляду необхідності автоматизації виробничих процесів.
56. Класифікація автоматичних ліній.
57. Дати характеристику силових механізмів АЛ.
58. Дати загальну характеристику транспортних засобів АЛ.
59. Транспортні засоби АЛ з жорстким зв'язком.
60. Транспортні засоби з гнучким зв'язком.
61. Дати характеристику механізмів затискання та фіксації, які використовуються на АЛ.
62. Дати характеристику агрегатів накопичення та видавання деталей на АЛ.
63. Дати характеристику механізмів зміни положення деталей на АЛ.
64. Дати характеристику пристроїв для відведення стружки на АЛ.
65. Що таке автоматична роторна лінія (АРЛ)? Склад найпростішої АРЛ.
66. Класифікація АРЛ.
67. Структурна схема АРЛ.
68. Недоліки АРЛ.
69. Що таке автоматична роторно-конвеєрна лінія (АРКЛ)? Чим вона принципово відрізняється від АРЛ?
70. Структурна схема АРКЛ.
71. Операції, на яких використовуються АРЛ та АРКЛ.

### **Тема 7**

72. З якою метою застосовується автоматичний контроль у сучасних виробничих процесах машинобудування?

73. Які методи контролю розмірів застосовуються на виробництві? Охарактеризуйте їх.

74. На які групи поділяються засоби активного контролю залежно від призначення? Дати їх характеристику.

75. На які групи поділяються пристрої для післяопераційного контролю залежно від ступеня автоматизації? Дати їх характеристику.

76. Від яких факторів залежить застосування певних засобів автоматичного контролю?

77. На яких методах вимірювання побудовані контрольні пристрої? Дати їх характеристику.

78. Які вимоги висувають до конструкції засобів активного контролю?

79. Поділення приладів для контактних вимірювань розмірів поверхонь. Розглянути приклади.

80. Приклади контрольних вимірювань.

81. Для чого застосовуються автоматичні підналадчики? Розглянути приклад.

82. Для чого застосовуються блокувальні пристрої? Розглянути приклад.

## Тема 8

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

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

85. В яких напрямках проводиться вирішення науково-технічних задач з метою підвищення продуктивності праці?

86. Умови підвищення продуктивності праці в напрямку скорочення витрат часу та перспективні тенденції для цього.

87. Передумови створення ГАВ.

88. Дати характеристику історії розвитку ГАВ.

89. Соціально-технічні аспекти гнучкої технології.

90. Соціально-економічні аспекти гнучкої технології.

91. Науково-технічні та технологічні можливості й задачі впровадження ГАВ.

92. Які властивості потрібно надати виробництву для створення можливості скорочення термінів підготовки виробництва та зменшення трудомісткості виготовлення й вартості за високої якості продукції?

93. Принципи, які покладені в основу методики створення ГАВ. Характеристика кожного.

94. Основні показники технічної та організаційної ефективності впровадження ГАВ. Характеристика кожного.

95. Що розуміється під гнучкістю? Як вибрати гнучкість?

96. Форми гнучкості. Дати оцінку кожної.

97. Показники надійності.

98. Надійність роботи автоматичних комплексів.
99. Показники економічної ефективності ГАВ. Дати характеристику кожного.
100. Значимість багатоцільових верстатів (БВ) з ЧПК в роботі ГАВ.
101. Класифікація БВ.
102. Накопичувачі інструмента БВ. Види накопичувачів. Дати характеристику кожного.
103. Призначення пристроїв автоматичної заміни інструменту БВ (ПАЗІ), їх різновиди, характеристика кожного.
104. Значення робототехніки для комплексної автоматизації машинобудівного виробництва.
105. Загальне означення та склад промислового робота (ПР).
106. Які проблеми виникають у сучасному виробництві з погляду надання ПР відповідних можливостей?
107. Визначення за ГОСТ 26228-85 поняття «промисловий робот».
108. Функціональна схема ПР.
109. В яких режимах може працювати ПР?
110. Класифікація ПР. Характеристика за кожною ознакою.
111. Що являє собою маніпулятор ПР? Складові частини.
112. Класифікація маніпуляторів за типом їхніх кінематичних схем.
113. Класифікація маніпуляторів за типом приводних пристроїв.
114. Які бувають робочі органи маніпуляторів?
115. Призначення транспортно-накопичувальної системи (АТНС).
116. Що розуміємо під транспортною системою АТНС? Її класифікація.
117. Що являє собою авторобокар? Його призначення, функції, які виконує, переваги, недоліки.
118. Накопичувальна система АТНС. Пристрої, які використовуються в ній.
119. Що являє собою оперативний накопичувач? Його призначення, конструкція.
120. Для чого слугують супутники? Приклад конструкції.
121. Що відноситься до інших складових АТНС? Їх характеристика.
122. Визначення за ГОСТ 26228-85 роботизованого комплексу (РТК). Їх класифікація. Охарактеризувати РТК за кожною ознакою.
123. Які компонування РТК застосовуються у ГАВ? Дати їх характеристику.
124. Вимоги до складових РТК.

## Тема 9

125. Що розуміється під частковою механізацією складальної операції? Комплексною механізацією?
126. Що розуміється під частковою автоматизацією складальної операцією? Комплексною автоматизацією?

127. Які вимоги висуваються щодо технологічності конструкцій деталей для успішного запровадження автоматизації складання?

128. Назвіть проблеми, які виникають у разі намагання автоматизації операцій складання.

129. Назвіть етапи технологічного процесу автоматизованого складання.

130. Засоби переміщення деталей між операціями у складальному процесі. Наведіть класифікацію складальних конвеєрів.

131. Які інструменти застосовуються для закріплення складених деталей у потрібному положенні?

132. Класифікація механізованого інструменту для складальних операцій.

133. Які Ви знаєте методи проектування автоматизованого технологічного процесу складання?

134. Основні вимоги, які висуваються до деталей вузлів за переходу на автоматичне складання.

135. Що називається складальним автоматом? Складальним напівавтоматом?

136. Які обов'язкові типові вузли мають входити до складу складального обладнання?

137. Назвіть типи складального обладнання.

138. В якому випадку застосовуються автоматичні та напівавтоматичні складальні лінії? Дайте характеристику таких ліній.

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

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

141. Дайте характеристику централізованих та децентралізованих систем керування у складальних процесах.

142. Що являє собою комплексне автоматичне складання?

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

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

145. Які умови висуваються до правильного орієнтування деталей в процесі складання?

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

## Тема 10

147. Що називається мікропроцесором? Мікросхемою?

148. Що входить до обов'язкових компонентів мікропроцесора? Призначення складових компонентів.



149. Що називається мікроконтролером? Використання мікроконтролерів в практиці.

150. Чим відрізняється мікроконтролер від мікропроцесора?

151. Склад типової архітектури мікроконтролера.

152. Що являє собою програмований логічний контролер (ПЛК)? Основні сфери застосування.

153. Мови програмування ПЛК.

154. Дати характеристику ПЧПК, в яких використовуються мікропроцесори та контролери.

155. Дати характеристику систем керування ПР та РТК, в яких використовуються мікропроцесори та контролери.

## 5 САМОСТІЙНА РОБОТА ПО ЛЕКЦІЙНОМУ КУРСУ

### Тема 3 ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Як відомо з лекційного курсу, до засобів автоматизації мають входити три ланки:

- **розпоряджувальна** – в основу покладено застосування різних перетворювачів фізичних величин (шляху, швидкості, прискорення, температури, тиску, сили тощо), іншими словами їх називають датчиками;

- **проміжна** – вона є необов'язковою, але функції проміжних пристроїв – це підсилення, послаблення та якісного перетворення а також сповільнення сигналів, які надходять від датчиків;

- **виконавча** – це різноманітні двигуни, електромагніти та муфти. Основну увагу в цих матеріалах приділено перетворювачам фізичних величин, зокрема, тиску та температури, які найбільш використовувані у різних технологічних машинах і характеризуються широкою різноманітністю у їх конструктивному виконанні, а також одному з представників проміжної ланки – електрогідравлічному підсилювачу, який використовується під час виконання лабораторної роботи.

#### 3.1 Перетворювачі тиску рідин та газів

##### 3.1.1 Манометри

Манометри відносяться до приладів контролю тиску, зокрема, в системах гідроприводів технологічних машин. Вони слугують для візуального контролю тиску. Термін служби цих приладів суттєво залежить від способу їх підключення до гідролінії, в якій контролюється тиск. Якщо манометр підключений до гідролінії напряму (без крана або демпфувального пристрою), коливання тиску та гідравлічні удари швидко виводять його з ладу, тому між манометром та гідролінією доцільно встановлювати гідравлічні опори та спеціальні золотники, які з'єднують манометр з контрольованою гідролінією тільки в момент вимірювання тиску (протягом всього іншого часу манометр з'єднаний дренажною лінією).

Для систем, які працюють в автоматичному режимі, в динамічних процесах, які супроводжуються коливаннями тиску, необхідно мати постійний точний контроль цієї величини, бо від неї залежить функціонування технологічної машини в потрібному режимі (перемикання, розмикання, зміна напрямків руху, швидкостей і т. ін. різних ланок), а візуальний контроль не дає такої можливості. Тобто, в таких системах манометри потрібні для налагоджувальних робіт, а також

для тарування відповідних автоматичних перетворювачів тиску за допомогою повірених або еталонних манометрів.

Манометри, які відносяться до механічних приладів для вимірювання тиску (класи точності від 0,005 до 6,01), за типом пружних елементів поділяються на: пружинні, мембранні та сифонні.

На рис. 3.1 показано приклади пружних елементів датчиків тиску.

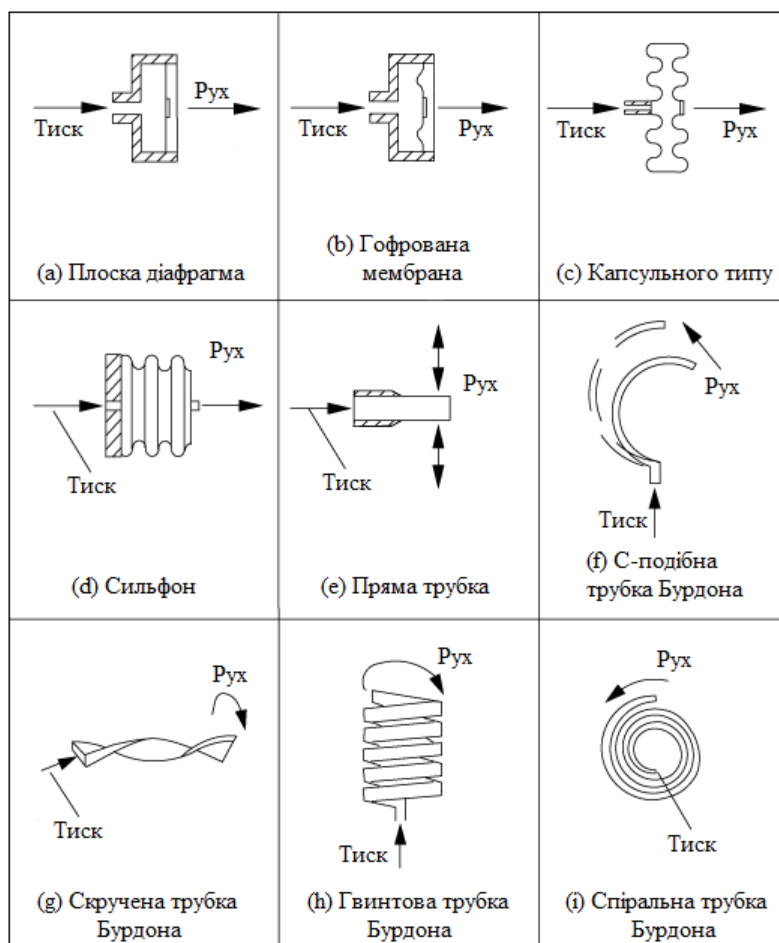


Рисунок 3.1 – Приклади пружних елементів датчиків тиску

### Манометри з одновитковою пружиною

Пружинні прилади з'явилися на 200 років пізніше, ніж рідинні (1846-1848 рр.). Основною деталлю пружинних манометрів (рис. 3.2) є порожниста трубка з поперечним перерізом у вигляді овала або еліпса, зігнута по колу на 180–270°. За іменем автора одного з перших манометрів така трубка називається ще трубкою Бурдона. Один кінець трубки закінчується ніпелем з різьбою для підключення до порожнини, в якій вимірюється тиск, а другий – запаяний. Вільний запаяний кінець трубчастої пружини за допомогою тяги шарнірно з'єднується із зубчастим сектором, який знаходиться у зачепленні з маленькою шестернею (трібкою). На вісь трібки насаджено стрілку, яка вказівним кінцем підходить до шкали, нанесеної на циферблаті. Якщо манометр приєднати до порожнини з надлишковим тиском, то сили тиску у трубці дещо

розпрямлюють її, вільний кінець трубки в такому випадку переміщується, тяга повертає зубчастий сектор та трібку, яка знаходиться з ним в зачепленні. За положенням стрілки на шкалі судять про величину тиску, який вимірюється.

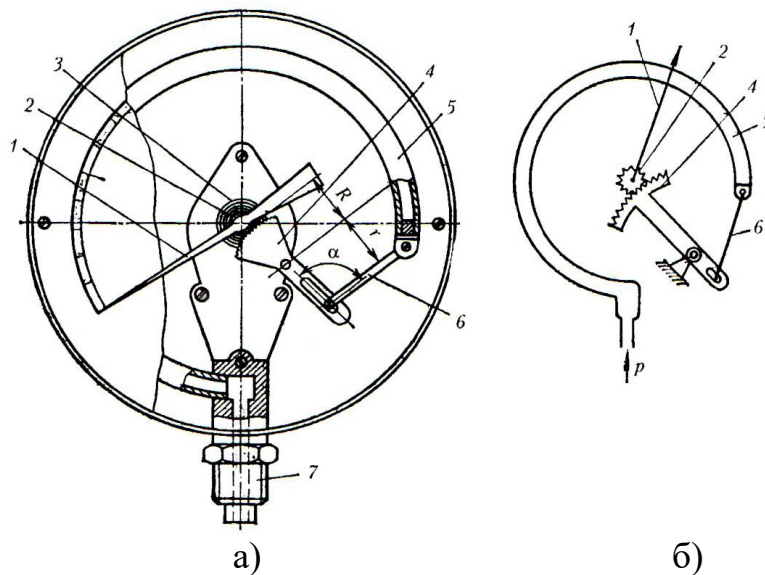


Рисунок 3.2 – Будова (а) і кінематична схема пружинного манометра (б):  
 1 – стрілка; 2 – шестерня (трібка); 3 – пружина; 4 – сектор;  
 5 – датчик тиску (трубчаста пружина); 6 – повідок; 7 – штуцер

Величина переміщення кінця трубки становить декілька міліметрів, тому для отримання більшого кута повороту стрілки застосовується передавальний механізм. Для усунення люфту між зубами шестерні та сектора вісь стрілки забезпечується спіральною пружиною.

### Сильфонні та мембранні манометри

На рис. 3.3 показано відповідно схеми сильфонного та мембранного манометрів.

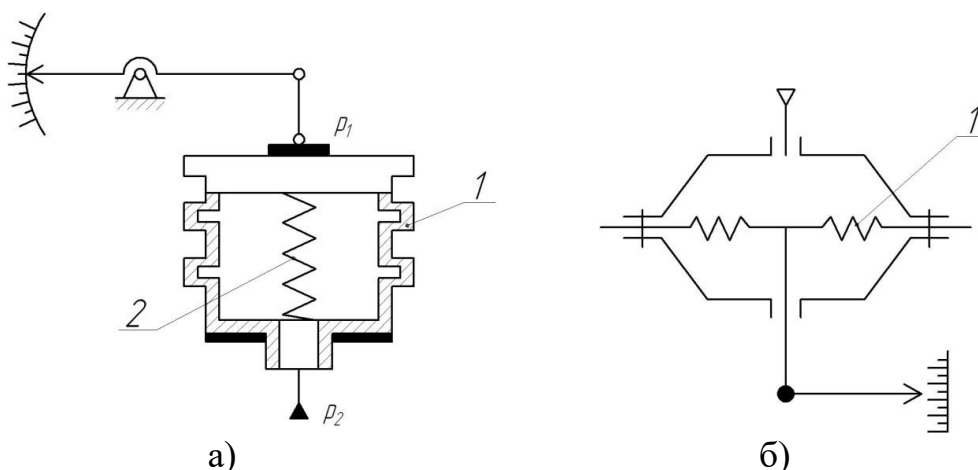


Рисунок 3.3 – Схеми манометрів:  
 а – сильфонного; б – мембранного

Пружним чутливим елементом на рис. 3.3, а) є сильфон – циліндричний тонкостінний посуд 1 з кільцевими складками (гофрами) який може пружно змінювати своє видовження (або діаметр).

Для збільшення жорсткості часто всередині розміщують гвинтову циліндричну пружину 2, яка перетворює тиск входу  $p_2$  в тиск виходу  $p_1$  (наприклад, тип ММС: 0,025...0,4 МПа, клас точності 1,5).

В другому випадку (рис. 3.3, б) чутливим елементом є пружна мембрана 1 плоска або гофрована у вигляді диска. Матеріалом може слугувати – капронова плівка, тефлон, прогумована тканина. Застосовують для вимірювання певних надлишкових тисків (0,04 МПа) рідких, газоподібних та особливо в'язких середовищ (масло, мазут і т. п.).

### 3.1.2 Тензометричні перетворювачі тиску

#### Фольгові тензоопори

Нині тензоопори виготовляються також з тонкої фольги товщиною 5–10 мкм. Для цього на стрічці із фольги шляхом травлення вибирається частина металу таким чином, щоб залишена частина матеріалу утворювала форму, наприклад подібну зигзагу з виводами. Елементи решітки мають прямокутний перехід з більш вигідним відношенням периметра до площі поперечного перерізу, ніж в тензоопорах з круглим перерізом (краще розсіювання тепла), а робочий струм і вихідний сигнал значно більший, ніж у проволочного тензоопору.

Приклади таких тензоопорів фірми VEDA наводяться нижче (для розширення кругозору наведено тензоопори, які застосовуються не тільки для вимірювання тиску рідини або газу, але і для вимірювання інших силових навантажень, таких як величини та напрямки деформації за складно-напруженого стану об'єктів розподілу деформації у зоні концентрації напруги, для вимірювання деформації мембран).

Датчик складається з чутливого елемента, виготовленого, наприклад, з константової фольги, полімерної підложки або термостійкого паперу, просоченого клеєм та виводів.

На одній підложці можуть бути розташовані від 1 до 16 чутливих елементів.

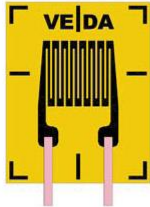

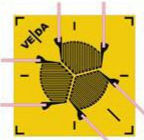
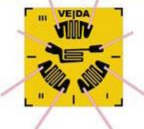
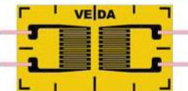
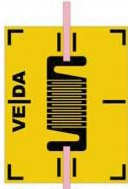
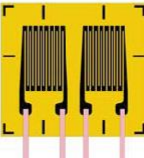
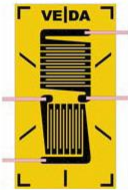
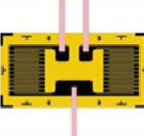
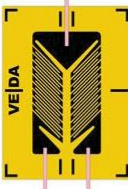

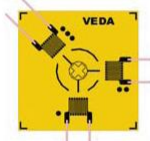
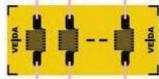


Схема тезорешітки	Позначення тензорезистора	Схема тезорешітки	Позначення тензорезистора
	КФ5П1		КФ5Р4
			КФ5Р5
			КФ5Р6
			КФ5Р7
	КФ5П2		КФ5Р8
	КФ5Р1		КФ5Р9
	КФ5Р2		КФ5М
	КФ5Р3		КФ5Ц1
			КФ5Ц2
			КФ5Ц3

Рисунок 3.4 – Тензоопори фірми VEDA

### 3.1.3 Комбіновані перетворювачі тиску

#### Індуктивний датчик тиску

Індуктивні датчики тиску застосовуються в сполученні з діафрагмою або трубкою Бурдона. Феромагнітний сердечник прикріплений до пружного елемента і має первинну та вторинну обмотки. Струм подається на первинну обмотку. Коли сердечник розташований по центру, то напруга буде індукуватися до двох вторинних обмоток. Якщо сердечник переміщується під впливом тиску, відношення напруги між двома вторинними обмотками буде змінюватися. Різниця напруг пропорційна зміні тиску. Нижче показано приклад індуктивного датчика тиску з використанням діафрагми. Для цього виду датчика (рис. 3.5) камера 1 береться як еталонна з опорним тиском  $p_1$ , який подається до системи, а котушка заряджається еталонним струмом. Коли тиск в інших камерах змінюється, діафрагма рухається і індукує струмом в котушці, який вимірюється та виражає вимірне значення струму в одиницях тиску. Такі датчики можуть бути використані з будь-яким пружним елементом (хоча, як правило, використовуються в сполученні з діафрагмою або трубкою Бурдона). Читання значення створюваного тиску буде визначатися каліброваною напругою. Таким чином, діапазон тиску, в якому може бути використаний цей датчик, визначається відносно пружного елемента, але лежить в діапазоні від 250 Па до 70 МПа.

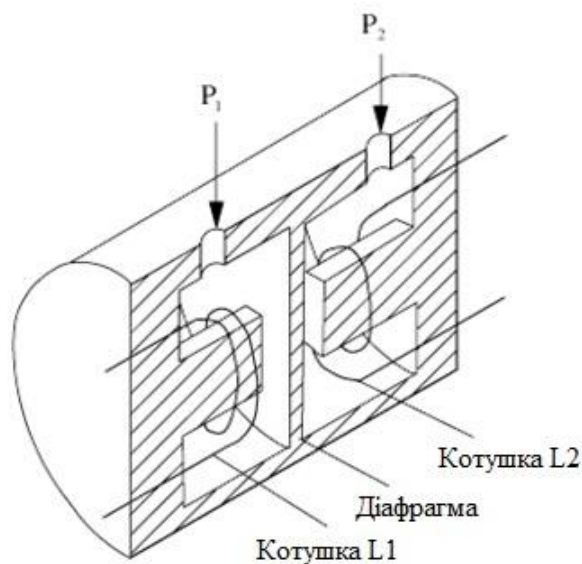


Рисунок 3.5 – Датчик тиску індуктивного типу

#### Ємнісні датчики тиску

Ємнісний датчик (рис. 3.6) складається з паралельних пластин – конденсаторів, з'єднаних з діафрагмою, яка зазвичай металева і підлягає тиску сил, які беруть участь в процесі, з одного боку та опорним тиском на іншому боці. Електроди прикріплено до мембрани, вони отримують

живлення від генератора високої частоти. Електроди відчують будь-яке переміщення діафрагми і це впливає на зміну ємності пластин – конденсаторів. Зміна ємності знаходиться під'єднаним електронним колом, яке виводить напругу згідно зі зміною тиску. Такий датчик може працювати в діапазоні від 2,5 Па до 70 МПа з чутливістю 0,07 МПа.

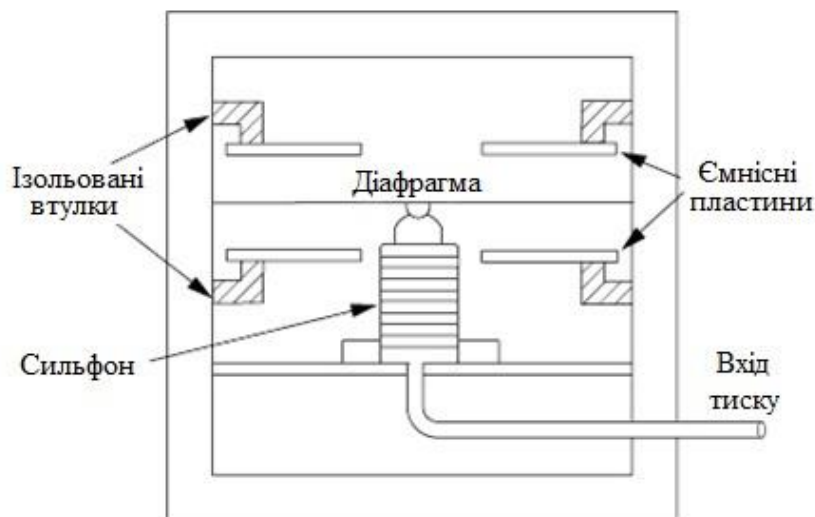


Рисунок 3.6 – Емнісний датчик тиску

### П'єзоелектричні датчики

П'єзоелектричні датчики використовують датчик – кристал. Коли тиск прикладається до кристала, він деформується і створює невеличкий електричний заряд, який пропорційний зміні тиску, приклад такого датчика показано на рис. 3.7. Цей тип датчика має дуже швидкий час відгуку на постійні зміни тиску. Діапазон тиску датчиків такого типу становить 0,021...100 МПа з чутливістю 0,1 МПа.

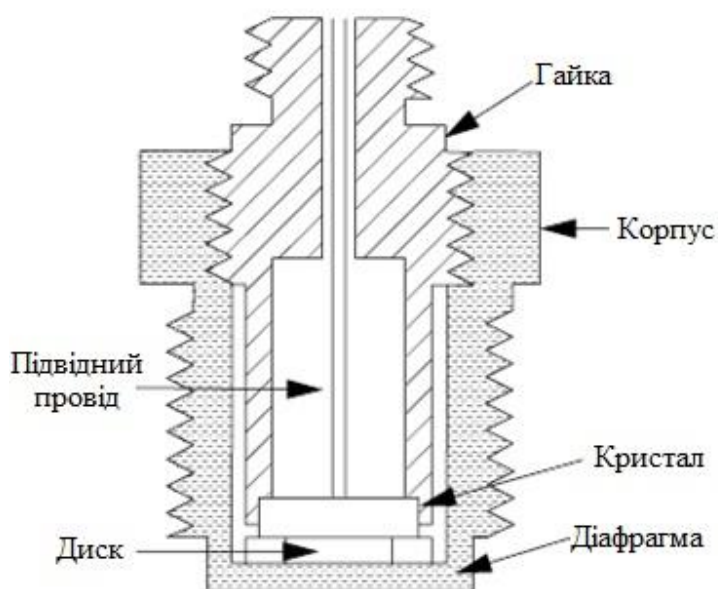


Рисунок 3.7 – П'єзоелектричний датчик тиску



### Незв'язаний тензоопір тиску

Такий датчик (рис. 3.8) використовує чутливі до натягування провідники. Один кінець провідника закріплений на нерухомій рамі, а другий – прикріплений до рухомого елемента, який рухається у разі зміни тиску.

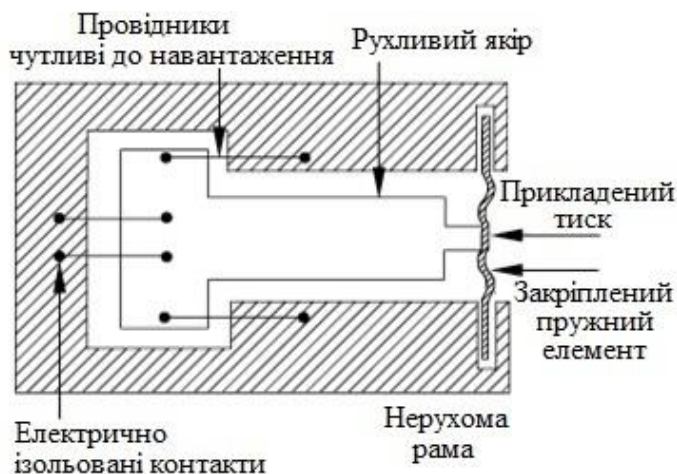


Рисунок 3.8 – Схема незв'язного тензоопору тиску

### Зв'язаний тензоопір тиску

Цей тип розміщується у верхній частині діафрагми, яка деформується за зміни тиску, натягує проводи, прикріплені до діафрагми.

### Інші конструкції, характеристики комбінованих перетворювачів тиску

Для вимірювання статичних і повільно мінливих тисків (декілька герц) може бути використаний перетворювач у вигляді трубки Бурдона від будь-якого технічного манометра (рис. 3.9) з наклеєними на нього тензорезисторами або у вигляді такої ж трубки з проміжним перетворювачем переміщення, закріпленим на її кінцях. Коефіцієнт перетворення комбінованого перетворювача тиску з трубкою Бурдона від 7 до 10 разів вищий, ніж за наклеєння тензорезистора безпосередньо на трубку.

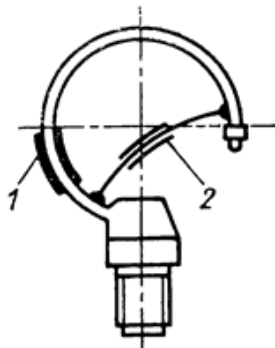


Рисунок 3.9 – Тензорезисторний перетворювач тиску з використанням трубки Бурдона: 1 – тензорезисторні наклейки на стінки трубки; 2 – тензорезистори, наклеєні на допоміжному чутливому елементі

На рис. 3.10 показано конструкції тензорезисторних перетворювачів для вимірювання тиску в діапазоні 0–1 МПа. Чутливим елементом в цих перетворювачах є мембрана.

На рис. 3.10, а) і б) показано конструкції тензорезисторних перетворювачів тиску, в яких мембрана перетворює вимірюваний тиск в переміщення і передає його проміжному перетворювачу переміщення, на якому наклеєно тензорезистори. Найбільшу жорсткість, а отже, і найбільш високу власну частоту, має перетворювач тиску з кільцевим проміжним перетворювачем переміщення (рис. 3.10, б).

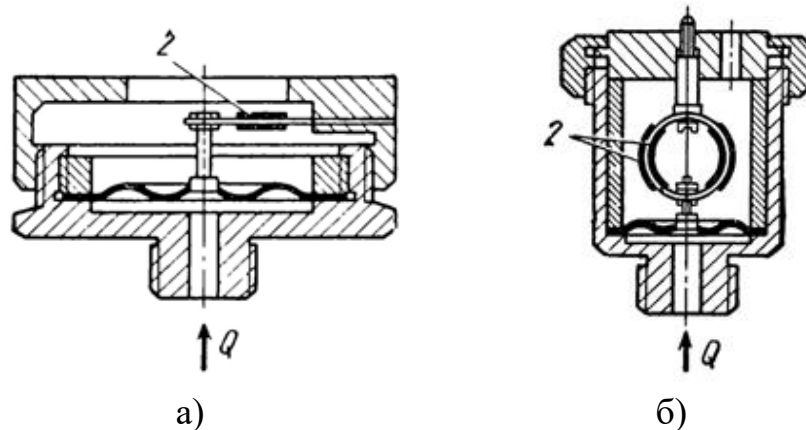


Рисунок 3.10 – Конструкція тензорезисторних перетворювачів для вимірювання відносно низьких тисків:

- а – з гофрованою мембраною і консольним чутливим елементом;
- б – з гофрованою мембраною і кільцевим чутливим елементом;
- 2 – активні тензорезистори

На рис. 3.11 показано конструкції перетворювачів для вимірювання тиску вище 1 ГПа.

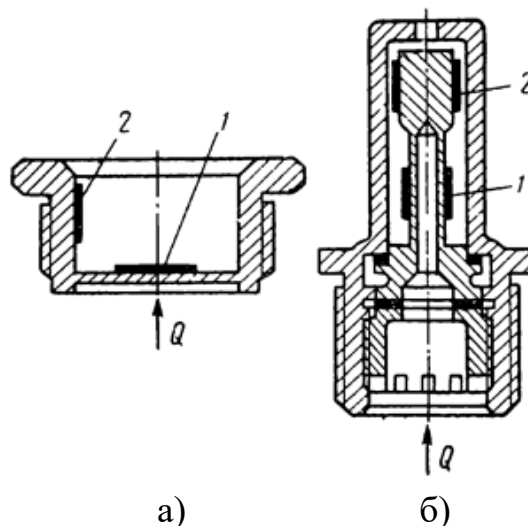


Рисунок 3.11 – Конструкції тензорезисторних перетворювачів для вимірювання відносно високих тисків: а) – з плоскою мембраною як чутливим елементом; б) – циліндричний чутливий елемент;

- 1 – активні тензорезистори; 2 – компенсаційні тензорезистори

Перетворювач, показаний на рис. 3.11, а), має чутливий елемент у вигляді склянки, на дно якої наклеєно активний тензорезистор. Розширення діапазону вимірів досягається зняттям жолобчиків по контуру, що знищує в цих місцях концентрації напруг. Такий перетворювач має досить високу власну частоту; наприклад, за діаметра мембрани 20 мм, товщиною 3 мм власна частота перетворювача близько 30 кГц.

Перетворювач, показаний на рис. 3.11, б), має чутливий елемент у вигляді циліндра, в середній частині циліндра наклеєний активний тензорезистор, а у верхній, масивній частині – тензорезистори температурної компенсації.

Для вимірювання тиску за високих температур використовують гофровану мембрану як роздільник елемента, що захищає внутрішню порожнину перетворювача від проникнення рідини або газів. Для охолодження чутливого елемента всередині корпусу перетворювача здійснюється примусова циркуляція повітря або води.

Серійно випускають тензорезисторні перетворювачі тиску тип ТДД (рис. 3.12, а) і ТДДМ (рис. 3.12, б). Перетворювачі ТДДМ розраховано для вимірювання тиску від 0,5; 1 або 2,5 МПа, а перетворювачі типу ТДД – для вимірювання тиску до 5; 10; 20 або 40 МПа. У цих перетворювачах використано одноелементні тензорезистори з номінальним опором 100 або 200 Ом; чутливі елементи розраховано на 25% перевантаження. Перетворювачі мають уніфіковані різі (М12×1,25) для приєднання до об'єкта досліджень.

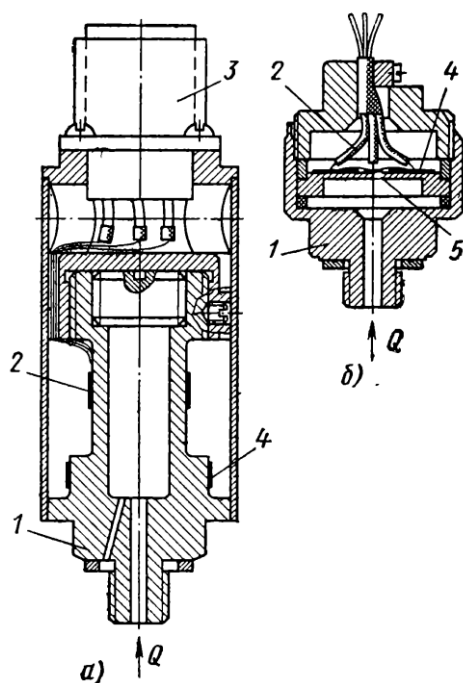


Рисунок 3.12 – Тензорезисторні перетворювачі тиску:

- а) – тип ТДД; б) – тип ТДДМ; 1 – корпус; 2 – активний тензорезистор; 3 – штепсельний роз'єм; 4 – компенсаційний тензорезистор; 5 – мембрана

На рис. 3.13 показано перетворювач, у якого чутливим елементом є мембрана. Активний тензорезистор 2 наклеєно на мембрану. Тензорезистор 1 температурної компенсації наклеєно на натискну гайку. Для виключення короблення мембрани у перетворювачі під час складання та роботи мембрані за допомогою кільця надається попередній натяг по контуру. Якщо прогин мембрани під дією номінального тиску не перевищує половини її товщини, градувальна характеристика перетворювача буде практично лінійною. В такому випадку діаметр мембрани має, щонайменше, в 10 разів бути більшим за її товщину.

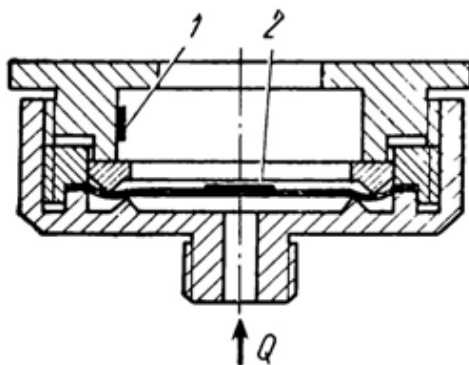


Рисунок 3.13 – Конструкція тензометричного перетворювача для вимірювання відносно низьких тисків з натягнутою плоскою мембраною

### 3.2 Прилади для вимірювання температури

Температура є одним із основних параметрів, який визначає хід процесу або хід процесу та якість продукту, наприклад, в харчовій галузі. Тому, в багатьох процесах відповідних виробництв контроль температури має першорядне значення.

**Температурою називають величину, яка кількісно характеризує ступінь нагрітості тіла. Сучасне означення – це міра кінетичної енергії поступального руху молекул.**

Для переходу до кількісного вираження температури необхідно встановити **шкалу температур**, тобто обрати початок відліку (нуль температурної шкали) та одиницю вимірювання температурного інтервалу (градус). **Стандарт передбачає застосування двох температурних шкал – термодинамічної та міжнародної практичної.**

**Термодинамічна шкала (шкала Кельвіна)** базується на другому законі термодинаміки і тому відрізняється точністю та рівномірністю. В цій шкалі за **реперну** (постійну) точку взято потрійну точку води – стан, коли в рівновазі знаходяться зразу три фази: лід, вода, пар. Вона лежить вище точки плавлення льоду на  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Реперній точці присвоєно температуру  $+273,15\text{ K}$ . Нижньою межею шкали є абсолютний нуль («0» K). Температура кипіння води за цією шкалою  $+373,15\text{ K}$ . Термодинамічна температура позначається через  $T$ , а чисельні значення супроводжують

знаком К (кельвін). Градус цієї шкали є основною одиницею вимірювань у міжнародній системі одиниць.

**Міжнародна практична температурна шкала** базується на ряді постійних легковідтворюваних точок плавлення та кипіння хімічно чистих речовин. За основний інтервал шкали взято діапазон: потрійна точка води (0,01 °С) – точка кипіння води (100 °С) за нормальних умов. Ця шкала у 1948 р. була названа **шкалою Цельсія** (позначається  $t$  °С). Зв'язок між шкалами:  $T = t + 273,15$ . Спільною точкою у обох шкалах є температура кипіння води – всі інші відрізняються.

Існують такі прилади для вимірювання температури:

- термометри розширення (рідинні скляні, ртутні скляні паличні, електроконтактні ртутні, дилатометричні, біметалеві);
- манометричні;
- термоелектричні (термопара);
- термоперетворювачі опору;
- пірометри випромінювання.

Розглянемо декілька з них.

### 3.2.1 Рідинні скляні термометри

Принцип дії базується на зміні об'єму рідини залежно від температури. Вони складаються з трьох основних частин: балон з термометричною рідиною, капілярна трубка та шкала. Є дві основні конструкції термометрів: паличні та з вкладеною шкалою.

**Паличні** складаються з термобалона 1, з'єднаного з товстостінним капіляром 2. Шкала наноситься на зовнішню поверхню капіляра (рис. 3.14).

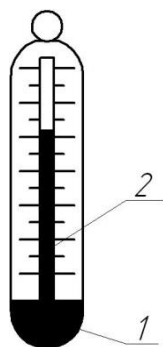


Рисунок 3.14 – Паличний термометр

**Термометр з вкладеною шкалою.** Такий термометр складається з термобалона 1, капіляра 2 (тонкостінного), корпусу 3 (скляного), шкали 4 (нанесеної на пластину з молочного скла (рис. 3.15)).

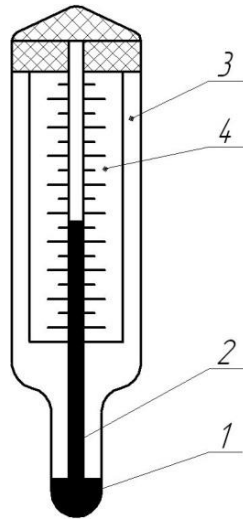


Рисунок 3.15 – Термометр з вкладеною шкалою

Такі термометри менш точні ніж паличні.

В різних термометрах термометричною рідиною найчастіше є ртуть – вона не змочує скло, її термічний коефіцієнт розширення практично незмінний, тому шкала в них **рівномірна**.

Характеристика ртутних термометрів: температура замерзання ртуті –  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$  (можна використовувати для вимірювання температур не нижче –  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); температура кипіння ртуті  $+357\text{ }^{\circ}\text{C}$  за нормального атмосферного тиску. Якщо капіляр над ртуттю заповнити азотом під тиском кілька десятків атмосфер, то термометром можна вимірювати температури до  $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

За необхідності вимірювання температур нижче за  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  використовують органічні термометричні рідини: підфарбований етиловий спирт (до  $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), пентан (до  $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) та ін. Такі термометри менш точні, оскільки спирт або пентан змочує скло, а термічний коефіцієнт їх розширення залежить від температури, тому характеристика спиртових та пентанових термометрів нелінійна.

Підфарбований спирт використовують також у дешевих побутових термометрах.

**Загальні недоліки різних термометрів:** їхня крихкість, порівняно велика інерційність, неможливість застосування у автоматичних регуляторах. Від пошкоджень їх оберігають спеціальні захисні оправи.

### 3.2.2 Дилатометричні термометри

Трубчастий дилатометричний термометр (рис. 3.16) складається з закритої з одного кінця трубки 1, всередині якої знаходиться стержень 2, який притискається до дна важелем 3, з'єднаним з пружиною 4.

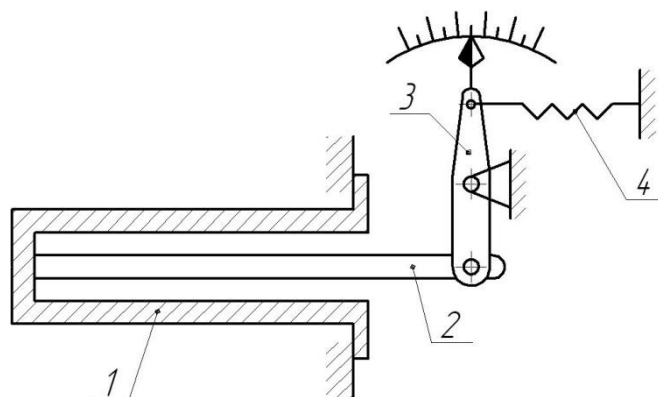


Рисунок 3.16 – Дилатометричний термометр

Трубка виготовляється з матеріалу з великим коефіцієнтом лінійного розширення (мідь, алюміній, латунь, немагнітна сталь – 75% заліза і 25% нікелю) – вона слугує термоактивним елементом, стержень, навпаки, з малим коефіцієнтом (плавлений кварц, інвар) – це термопасивний елемент.

Під час вимірювання температури довжина трубки змінюється, наприклад, за підвищення температури трубка видовжується, а стержень – ні, тобто останній переміщується відносно трубки. На виході динамометра виникає велике зусилля. Використовується для вимірювання температур до +550 °С. Легко піддається автоматизації, наприклад, важіль 3 можна з'єднати з повзуном реостата – під час роботи виникає зміна активного опору обмотки, що призведе до зміни вихідного струму вимірюваного кола.

### 3.2.3 Біметалеві термометри

Біметалевий термометр складається з важеля 1, тяги зі стрілкою, чутливим елементом, який реагує на зміну температури, слугує плоска або спіральна пружина, що складається з двох зпаяних металевих полос – полоса 3 – термоактивна, полоса 4 – термопасивна (рис. 3.17).

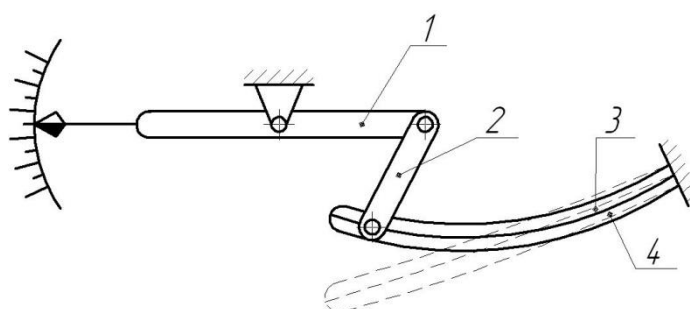


Рисунок 3.17 – Біметалевий термометр

Конструкція легко підлягає автоматизації.

### 3.2.4 Манометричні термометри

Такі термометри служать для вимірювання температури від  $-120$  до  $+600$  °С.

Залежно від робочого тіла замкненої системи їх поділяють на:

- газові (система заповнена інертним газом – азот під початковим тиском  $0,98\text{--}4,9$  МПа – для зменшення барометричної похибки). Діапазон вимірювання:  $0\text{...}600$  °С;

- ртутні: діапазон вимірювання  $-30\text{...}+600$  °С;

- ксилолові: діапазон вимірювання  $-40\text{...}+200$  °С ( $p = 1,47\text{...}1,96$  МПа);

- конденсаційні: термобалон частково (на  $2/3$ ) заповнений низькокип'ячею рідиною (хлорметил, хлоретил, ацетон та ін.) Діапазон вимірювання:  $-25\text{...}+250$  °С. Шкала нерівномірна, бо тиск пари і температура змінюється непропорційно.

Принцип дії полягає в тому, що за нагрівання термобалону тиск робочого тіла всередині збільшується. Це сприймається трубчастою пружиною, кінець якої відхиляється і переміщує, наприклад, стрілку по шкалі (див. аналогічно з манометрами тиску).

Конструкція легко піддається автоматизації.

### 3.2.5 Термоелектричні термометри

Такі пристрої відносяться до термоелектричних перетворювачів, які використовують термоелектричний ефект, відкритий у 1821 р. Зеєбеком (ефект Зеєбека). Зеєбек уперше створив **термопару** і застосував її для вимірювання температури.

Якщо з двох різнорідних металів утворити замкнене електричне коло, то у разі однаковості температур  $t_1$  та  $t_2$  (рис. 3.18) в обох точках зіткнення струм в цьому колі не виникає, тому що різниці потенціалів  $e_{K1}$  та  $e_{K2}$  взаємно зрівноважуються – тому результувальна ЕРС = 0.

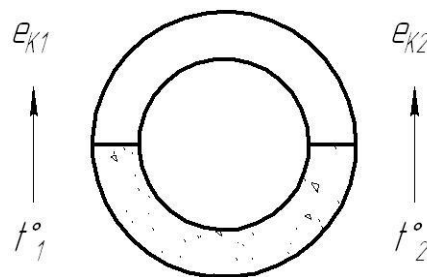


Рисунок 3.18 – До пояснення роботи термопары

Якщо  $t_1 = t_2$ , то виникає ЕРС:

$$e_i = e_{K1} - e_{K2}.$$



На цьому базується робота термоелектричного перетворювача, який називається термопарою (рис. 3.19): дві дротини виготовлені з різних металів або їх сплавів, зварені між собою з одного кінця.

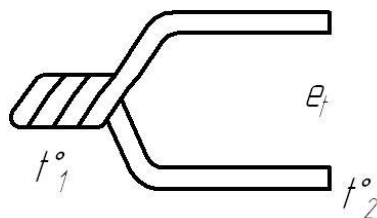


Рисунок 3.19 – Термопара

Якщо місце їх з'єднання нагріти, то між вільними кінцями дротинок виникає термоЕРС –  $e_t$ . За незмінності  $t_2$  величина  $e_t$  буде однозначною функцією від  $t_1$  робочого кінця термопар.

Для виготовлення «+» полюсів використовують мідь та сплави хромель (Cr+Ni) або платинородій (Pt+Rh), для виготовлення «-» полюсів – сплави константан (Cu+Ni+Mn), копель (Cu+Ni), алюмель (Al+Si+Mg+Ni). З цих матеріалів виготовляють термометри: мідь-константан (М, до +350 °С), хромель-копель (ХК, від -50 до +600 °С), хромель-алюмель (ХА, від -50 до +1000 °С), платинородій-платина (ПП, від -20 до +1300 °С).

### 3.2.6 Термоперетворювачі опору

До таких перетворювачів відносяться **терморезистори**. **Терморезистор** – це перетворювач, в якому зміна температури ( $x_{вх} = t$  °С) приводить до зміни електричного опору ( $x_{вих} = r$ ). Вони бувають (рис. 3.20):

- провідникові;
- напівпровідникові.

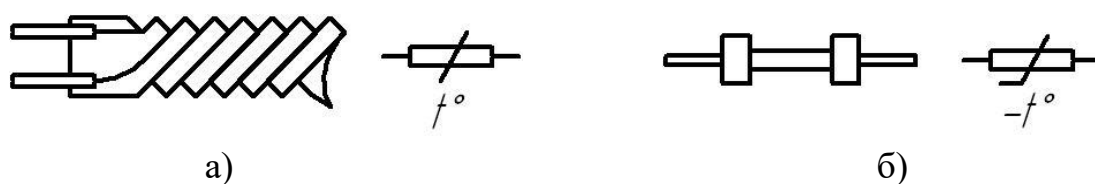


Рисунок 3.20 – Терморезистори:

а – провідниковий; б – напівпровідниковий (тут само наведено умовні позначення їх на схемах)

Зростання опору матеріалів за збільшення температури спостерігав ще у 1821 р. англійський фізик Деві, інший англійський фізик Фарадей у 1833 р. виявив, що в напівпровідниках, навпаки, за збільшення температури опір збільшується.

**Провідникові (термометри опору)** виготовляються з мідного чи платиного дроту, який намотується на слюдяний каркас – за збільшення температури опір збільшується.

**Напівпровідникові (термістори)** – зміни опору значно інтенсивніші, але протилежні за знаком: збільшення температури спричиняє зменшення опору.

### 3.2.7 Пірометри випромінювання

Дія таких пристроїв базується на вимірюванні випромінюваної тілом енергії, яка залежить від його температури та фізико-хімічних властивостей – чим вища температура, тим більша інтенсивність випромінювання. У разі нагрівання до 500 °С тіло випромінює невидимі інфрачервоні (теплові) промені з великою довжиною хвилі. За подальшого збільшення температури виникають видимі світлові промені. Спочатку розжарене тіло має темно-червоний колір, потім – червоний, потім – рожевий і наприкінці нагріву – білий.

Водночас з підвищенням температури та зміною кольору тіла швидко зростає і інтенсивність (яскравість) монохроматичного (однокольорового) випромінювання, а також помітно збільшується сумарне випромінювання (радіація).

Такі властивості нагрітих тіл як яскравість та радіація використовуються для вимірювання температури **пірометрими випромінювання**, які поділяються на:

- яскравісні (оптичні);
- фотоелектричні;
- радіаційні.

### Питання для самоконтролю

1. Загальна характеристика манометрів – датчиків тиску.
2. Які пружні елементи використовуються в датчиках тиску?
3. Конструкція манометра з одновитковою пружиною.
4. Показати схему сильфонного манометра. Охарактеризувати склад конструкції, принцип дії.
5. Показати схему мембранного манометра. Охарактеризувати склад конструкції, принцип дії.
6. Охарактеризувати конструкцію фольгових тензоопорів.
7. До яких перетворювачів відноситься індуктивний датчик тиску? Охарактеризувати конструкцію та принцип вимірювання тиску.
8. Охарактеризувати конструкцію ємнісного датчика тиску. В чому полягає принцип вимірювання тиску?
9. Охарактеризувати конструкцію п'єзоелектричного датчика тиску та принцип вимірювання тиску.

10. Дати характеристику незв'язаного та зв'язаного тензоопорів тиску. В чому полягає принцип їх дії?
11. Дати характеристику перетворювачів тиску тензометричного типу з використанням трубки Бурдона.
12. Дати характеристику перетворювачів тиску тензометричного типу з мембраною для вимірювання відносно низьких тисків.
13. Дати характеристику перетворювачів тиску тензометричного типу, призначених для вимірювання відносно великих тисків.
14. Охарактеризувати типи температурних шкал.
15. Перерахувати прилади, які використовуються для вимірювання температури.
16. Охарактеризувати конструкції рідинних скляних термометрів. Які види рідин в них використовуються?
17. Що являє собою дилатометричний термометр?
18. Що являє собою біметалевий термометр?
19. Що являє собою манометричний термометр?
20. Що являє собою термоелектричний термометр?
21. Що являють собою термоперетворювачі опору?
22. Що являє собою пірометр випромінювання? Які їх різновиди використовуються в практиці?

## Тема 4

# СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИМИ ВЕРСТАТАМИ

### 4.1 Поняття автоматичного циклу

Верстат-автомат – це така машина, на якій всі роботи неодноразово виконуються без участі людини, тобто автоматично. До таких робіт відносяться:

- введення заготовок до робочої зони, їх орієнтація, встановлення та затискання;
- автоматична обробка поверхонь;
- здійснення всіх допоміжних рухів робочих органів (холості переміщення супортів, столів, наладок, бабок і т. д.);
- зняття обробленого виробу;
- вилучення стружки із зони обробки.

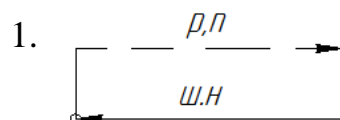
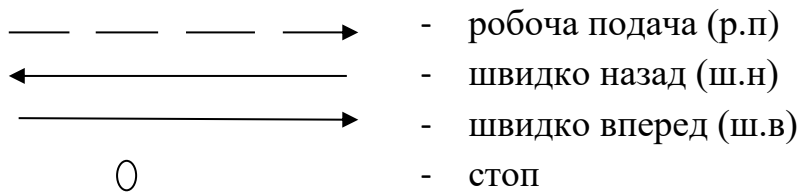
На деяких автоматах контроль обробки, підналагодження автомата, а також, частково, заміна інструментів, теж може здійснюватися автоматично. Всі органи верстата-автомата можуть поділятися на основні та допоміжні. Їх сумісна робота забезпечує автоматичний цикл.

**Під автоматичним циклом** розуміється послідовність всіх переміщень робочих органів верстата, які здійснюються автоматично, в межах встановленої довжини ходу з певною розрахунковою швидкістю.

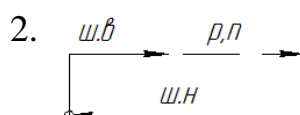
Послідовність рухів, довжина ходу та швидкість переміщення встановлюється згідно з характером технологічної операції. Загальний автоматичний цикл складається з частинних.

#### 4.1.1 Види робочих автоматичних циклів

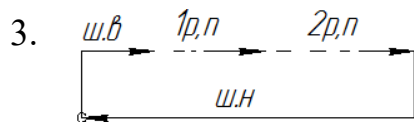
Позначення:



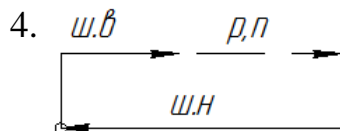
Такий автоматичний режим найбільш поширений.



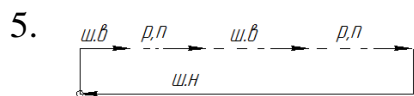
Порівнюючи цей цикл з 1-м, потрібно відмітити, що останій краще, тому що він забезпечує відведення інструмента на достатню відстань без втрат продуктивності.



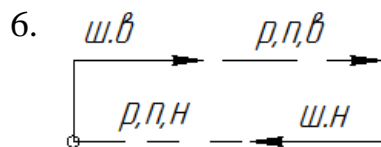
Такий автоматичний цикл доцільно використовувати для процесів розточування та обточування, коли здійснюється обробка двома різцями – чорновим та чистовим послідовно. Такий цикл також застосовується під час фрезерування ступінчастої поверхні з різними припусками.



Такий тип автоматичного циклу (він же 2-й) застосовується під час розточування та одноразової проточки торця. Крім того, він застосовується в процесі токарної обробки фасонними різцями, якщо потрібно викатування поверхні.



Стрибкоподібний автоматичний цикл, який застосовується у разі обробки переривчастої поверхні.



Це маятниковий автоматичний цикл. Його перевагою є те, що він дозволяє сумістити машиний час з часом встановлення та закріплення заготовки. Так, наприклад, в той час, коли заготовка знаходиться на одному кінці столу і обертається, на другому кінці знімається оброблена заготовка і встановлюється нова заготовка.

## 4.2 Автоматизація робочих циклів металорізальних верстатів

Для забезпечення автоматичного робочого циклу застосовуються такі приводи:

- механічні;
- електромеханічні;
- пневматичні;
- пневмогідрравлічні;
- гідравлічні.

### Механічні приводи

**Робоча подача РП** (рис. 4.1) забезпечується ведучим гвинтом 3 на черв'ячну передачу 4, 5 за увімкненої муфти 6 (вліво) на ходовий гвинт 10. В цьому випадку зубчасте зачеплення шестерень 8, 9 працює вхолосту. **Швидке переміщення ШП** здійснюється в такій послідовності: кінчна

пара коліс 1, 2 – циліндрична пара коліс 8, 9 за увімкненої муфти 6 (вправо).

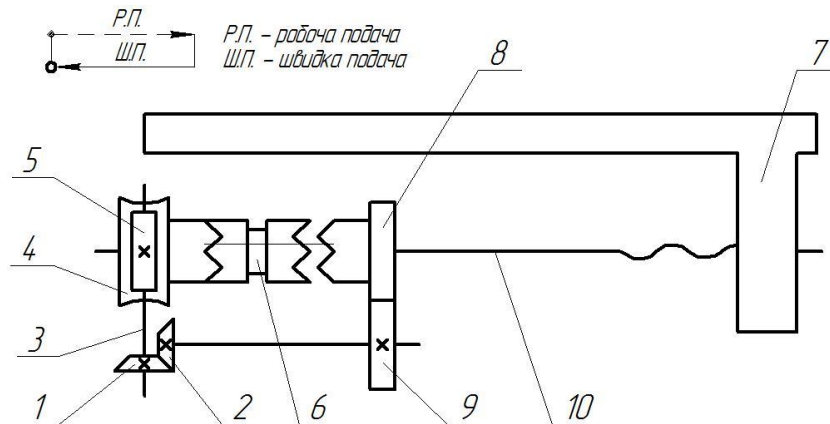


Рисунок 4.1 – Кінематична схема механічного привода без реверсу: 1, 2 – конічна пара; 3 – ведучий вал; 4, 5 – черв’ячна передача; 6 – муфта; 7 – виконавчий орган; 8, 9 – циліндрична передача; 10 – ходовий гвинт

Для отримання більш складного циклу за допомогою механічних передач в схему механізму необхідно ввести механізм реверсу (рис. 4.2).

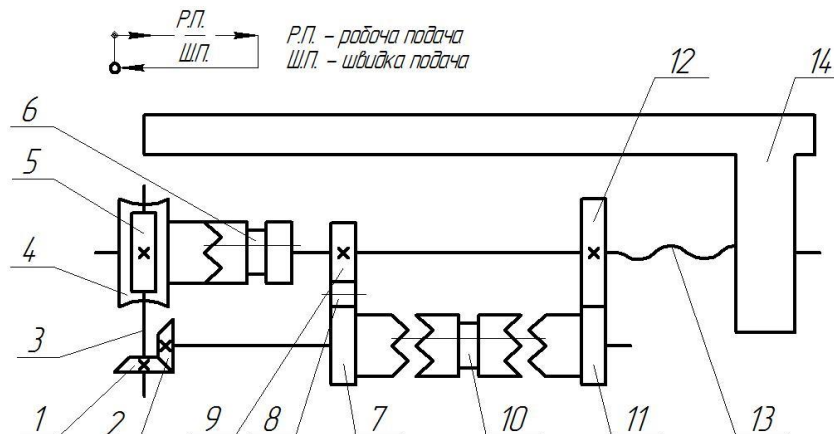


Рисунок 4.2 – Кінематична схема механічного привода з механізмом реверсу: 1, 2 – конічна пара; 3 – ведучий вал; 4, 5 – черв’ячна передача; 6 – муфта; 7, 8, 9 – ланка реверсу; 10 – муфта; 11, 12 – циліндрична передача; 13 – ходовий гвинт; 14 – виконавчий орган

**Подача швидко вперед** здійснюється в такій послідовності: зачеплення конічних коліс 1, 2, зачеплення циліндричних коліс 11, 12, ходовий гвинт 13. В цьому випадку напівмуфта 10 ввімкнена вправо, а напівмуфта 6 – вимикається.

**Робоча подача** здійснюється так: вал 3, черв’ячна передача 4, 5, ходовий гвинт 13. В цьому випадку напівмуфта 6 ввімкнена, напівмуфта 10 знаходиться у нейтральному положенні.



відпадає необхідність вмикання та вимикання муфти робочої подачі. В цьому випадку все керування механізмом зводиться до вмикання та вимикання електричного двигуна 9 швидких переміщень, тобто таким чином керування спрощується.

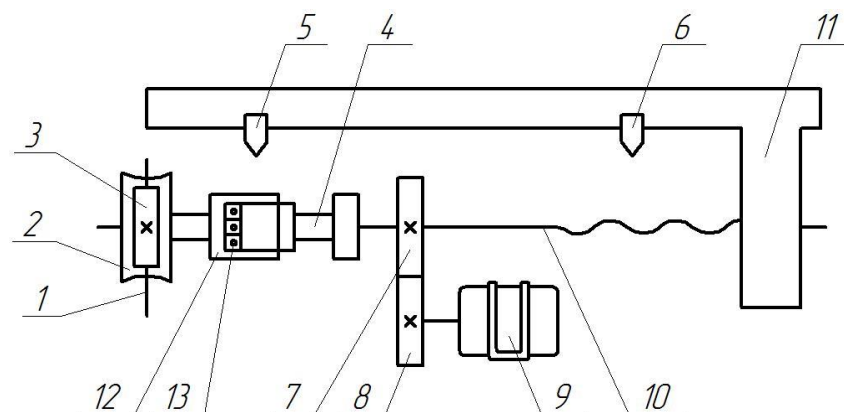


Рисунок 4.4 – Кінематична схема електромеханічного привода з обгінною муфтою

### Пневматичний привід

У випадку пневматичного привода як механізм робочої подачі використовується привід, який є на верстаті (привід подачі), а для швидких переміщень застосовується пневмопривод (рис. 4.5).

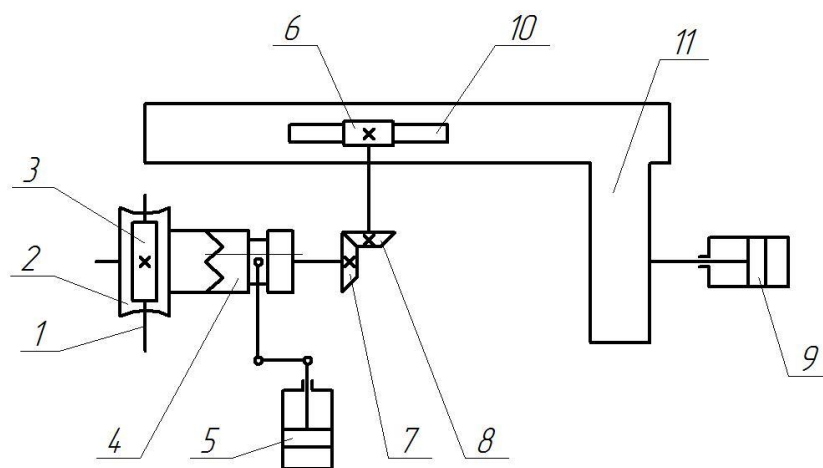


Рисунок 4.5 – Кінематична схема пневматичного привода

Пневмоциліндр 9 використовується для швидких переміщень, а робоча подача здійснюється в такій послідовності: ведучий вал 1, черв'ячна пара 2, 3, зубчаста муфта 4, конічна пара 7, 8. Водночас отримує рух рейкова шестерня 6, яка разом з рейкою 10 закріплена на виконавчому органі 11, що забезпечує його робочі переміщення. В цьому випадку зубчаста муфта 4 ввімкнена за допомогою пневмоцилиндра 5. Звідси витікає, що для нормальної роботи механізму необхідно, щоб вмикання та вимикання пневмоциліндрів 5 та 9 були синхронними.



## Пневмогідравлічний привод

Характерною особливістю пневмогідравлічного привода є те, що він забезпечує не тільки швидке переміщення, але й робочу подачу виконавчого органа від пневмоциліндра (частіше використовується все ж таки гідравлічний привод, тому його потужність більша).

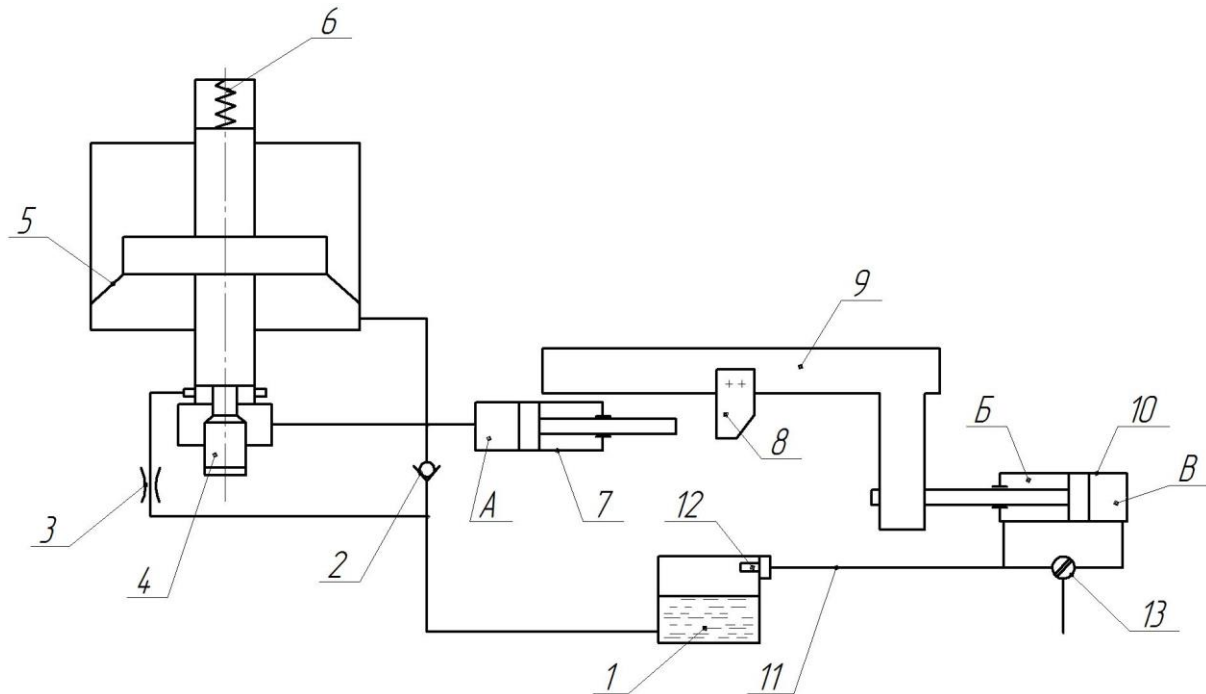


Рисунок 4.6 – Схема пневмогідравлічного привода

**Швидка подача** здійснюється за надходження стиснутого повітря в порожнину В пневмоциліндра 10 (рис. 4.6). При цьому переміщення виконавчого органа 9 відбувається до тих пір, поки упор 8 (закріплений на виконавчому органі) не впреться у шток гідроциліндра 7. Разом з виконавчим органом починає рухатись поршень гідроциліндра 7, в результаті чого масло з порожнини А витісняється і надходить в бак 1. Дросель 3, який увімкнено в магістраль, слугує для регулювання швидкості руху виконавчого органа, тому що він забезпечує необхідну швидкість надходження масла з порожнини А гідроциліндра в бак. Для забезпечення постійності швидкості до системи ввімкнено редукційний клапан, який забезпечує постійність тиску в порожнині А гідроциліндра. Це здійснюється таким чином: масло, яке надходить до дроселя 3, одночасно потрапляє і під мембрану 5. Під час підвищення тиску мембрана піднімає золотник редукційного клапана, тим самим змінюючи прохідне вікно «а», тому тиск спадає. Якщо тиск спадає нижче встановленого, то пружина 6 дещо опускає золотник разом з мембраною. Масла надходить більше – тиск зростає. **При зворотному ході** стиснуте повітря по трубопроводу 11 надходить в порожнину Б пневмоциліндра, забезпечуючи швидке переміщення в зворотному напрямку через глушник

12. Під тиском стиснутого повітря масло з бака 1 через зворотний клапан 2 надходить в порожнину А гідроциліндра і повертає поршень у вихідне положення.

Така система застосовується у тих випадках, коли довжина робочого ходу мала порівняно із загальною довжиною.

Застосовується для автоматизації фрезерних, револьверних та свердлильних верстатів.

### **Питання для самоконтролю**

1. Поняття автоматичного циклу.
2. Які використовуються види робочих автоматичних циклів?
3. Які приводи використовуються для забезпечення автоматичних робочих циклів?
4. Дати характеристику механічних приводів без реверсу та механізмів з реверсом.
5. Дати характеристику електромеханічного привода.
6. Дати характеристику пневматичного привода.
7. Дати характеристику пневмогідравлічного привода.

**Тема 5**  
**АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ**  
**ВЕРСТАТИВ. РОЗРАХУНОК БУНКЕРНИХ ЗАВАНТАЖУВАЛЬНИХ**  
**ПРИСТРОЇВ ПРИ ЗАВАНТАЖЕННІ РОБОЧИХ ЗОН**  
**ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ШТУЧНИМИ**  
**ЗАГОТОВКАМИ**

**5.1 Визначення технічних характеристик та параметрів вібраційних бункерних завантажувальних пристроїв**

Бункерні завантажувальні пристрої (БЗП) слугують для автоматизації завантаження штучними заготовками (деталлями) технологічного обладнання. В машинобудуванні як технологічне обладнання можуть бути металорізальні верстати, штампувальні преси, складальні машини, а також пристрої для завантаження контрольних та контрольньо-сортувальних автоматів.

Найбільш універсальними та гнучкими в експлуатації є **вібраційні бункерні завантажувальні пристрої (ВБЗП)** (конструкція та принцип роботи таких пристроїв розглядається в лекційному курсі).

Взагалі продуктивність завантажувальних пристроїв визначається заданою продуктивністю технологічного обладнання  $\Pi_0$ . На продуктивність впливає цілий ряд експлуатаційних та конструктивних факторів, які практично важко врахувати аналітично. До таких факторів передусім відносяться коливання напруги в електромережі, змінення ступеня заповнення бункера деталями, кількість завантажуваних деталей і т. ін. За інших однакових умов продуктивність залежить також від якості роботи привода та бункера. Тому визначають середню розрахункову продуктивність пристрою, беручи її трохи вищою продуктивності  $\Pi_0$ , тобто:

$$\Pi_{сер} = \frac{\Pi_0}{1 - K_{\Pi}} \text{ [дет./хв]}, \quad (5.1)$$

де  $K_{\Pi}$  – коефіцієнт нестабільності роботи бункерного завантажувального пристрою.

Значення коефіцієнта  $K_{\Pi}$  для більшості вібраційних бункерів, згідно з експлуатаційними даними, може бути взято  $K_{\Pi} = 0,2-0,3$ .

Продуктивність ВБЗД пов'язана зі швидкістю руху деталей по лотку бункера. Для забезпечення потрібної продуктивності швидкість руху деталей має відповідати значенню:

$$v_{дет} = \frac{\Pi_{сер}}{60K_3} \cdot \ell_{дет} \text{ [мм/с]}, \quad (5.2)$$

де  $\ell_{дет}$  – розмір деталі в напрямку руху, мм;

$K_3$  – коефіцієнт заповнення лотка бункера деталями, які рухаються в потрібному орієнтованому положенні.

Коефіцієнти заповнення визначаються за формулою:

$$K_3 = P_{(\ell_0)} \cdot \Delta_{(\ell_0)}, \quad (5.3)$$

де  $P_{(\ell_0)}$  – вірогідність орієнтованого положення деталей на вихідному лотку;

$\Delta_{(\ell_0)}$  – відносна довжина деталі;

$$\Delta_{(\ell_0)} = \frac{\ell_{дет}}{\ell_{дет} + S}, \quad (5.4)$$

де  $S$  – середнє значення зазора між деталями, які рухаються.

Значення вірогідності  $P_{(\ell_0)}$  залежить від конфігурації деталі, фізико-механічних властивостей матеріалу, взятої системи орієнтування та конкретного виконання орієнтирів, встановлених на лотках бункера, а також від вірогідності захоплення деталі в бункер з навалу. Аналітичне визначення вірогідності  $P_{(\ell_0)}$  для деталей складної конфігурації становить труднощі. Наближено вона може бути розрахована для деталей простішої конфігурації (гладкий валик, втулка, валик із симетричними та асиметричними кінцями) та призматичних деталей із однією та двома площинами симетрії.

За певного орієнтування симетричних валиків та втулок по циліндричній поверхні для випадку  $\ell_{дет} > d$ :

$$P_{(\ell_0)} \approx \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{d}{\ell_{дет}}\right)^2}}, \quad (5.5)$$

де  $d$  – базовий діаметр деталі.

У разі паралельного орієнтування валиків з асиметричними кінцями  $P_{(\ell_0)}$  визначається за формулою:

$$P_{(\ell_0)} \approx \frac{0,5}{\sqrt{1 + \left(\frac{d}{\ell_{дет}}\right)^2}}. \quad (5.6)$$

У випадку активного орієнтування циліндричних деталей вірогідність руху їх в орієнтованому положенні на вихідному лотку може бути визначена за формулою (5.5).

Аналогічні формули для визначення  $P_{(\ell_0)}$  можуть бути отримані для призматичних деталей.

За завантаження тонких симетричних пластин ( $b < \ell_{дет} \gg \delta$  та симетричних довгих циліндричних деталей ( $\ell_{дет} > 10d$ ) можна вважати, що  $P_{(\ell_0)} \approx 1$  ( $b$  – ширина пластини;  $\delta$  – товщина пластини).

У випадку завантаження асиметричних деталей, які потребують складних систем орієнтування, вірогідність  $P_{(\ell_0)}$  зручніше визначати експериментально.

Значення відносної довжини деталі  $\Delta_{(\ell_0)}$ , переважно, залежить від режиму роботи вібраційного бункера. Якщо завантажувальний пристрій працює з підпором, то  $S = 0$ ,  $\Delta_{(\ell_0)} = 1$ .

У разі відривної подачі деталей  $\Delta_{(\ell_0)}$  визначається експериментально.

Виходячи з умови забезпечення середньої швидкості руху деталей по лотку, визначають основні розрахункові та конструктивні залежності й параметри проєктованих живильників.

Вібраційні бункерні живильники характеризуються гармонічним законом коливань лотків бункерів. Рух деталей по лотках відбувається за спрямованих коливань лотка під кутом  $\alpha$  до горизонтальної площини. Лотки для транспортування деталей розташовуються на стінках бункера по 0 спіралі з кутом підйому  $\beta$ .

Нижче, на рис. 5.1 показано напрямки сил, які діють на деталь на відкритому лотку.

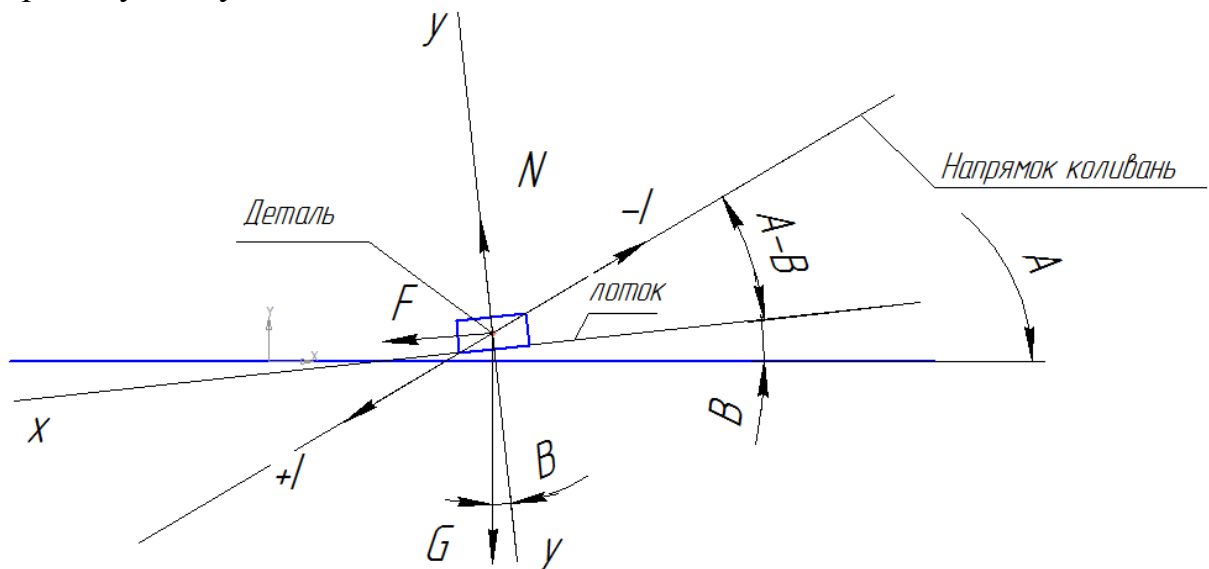


Рисунок 5.1 – Схема сил, які діють на деталь за переміщення по лотку

Спрямуємо координатну вісь  $X-X$  вздовж лотка під кутом  $\beta$  до горизонтальної площини, а вісь  $Y-Y$  – перпендикулярно до неї. Розглянемо в спрощеному вигляді схему руху деталі по лотку, який здійснює спрямовані гармонічні коливання з амплітудою  $A$  та частотою  $p$  за законом (за початок координат взято нижнє положення лотка, тобто розглядається усталений режим):

$$S_1 = A(1 - \cos pt), \quad (5.7)$$

де  $S_1$  – початок переміщення лотка.

На деталь діють: сила тяжіння  $G$ , сила тертя  $F$ , яка виникає за руху деталей по лотку, нормальна реакція  $N$  між лотком та деталлю, а також сила інерції деталі масою  $m$  з прискоренням  $S_1$ :

$$I = mS_1 = mA p^2 \cos pt. \quad (5.8)$$

Тоді рівняння відносного руху центра тяжіння деталі по похилій поверхні лотка запишуться в такому вигляді:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= -mg \sin \beta - mA p^2 \cos pt \cos(\alpha - \beta) + F \sin \dot{x}, \\ m\ddot{y} &= -mg \cos \beta - mA p^2 \cos pt \sin(\alpha - \beta) + N, \end{aligned} \quad (5.9)$$

де  $x$  – початкова координата центра тяжіння деталі;

$y$  – початкова координата нижньої поверхні деталі.

Сила сухого тертя  $F$  пропорційна силі тиску між поверхнями тертя і змінює свій напрямок за змінення швидкості. Для випадку, коли деталь знаходиться на поверхні лотка, тобто  $y = 0$ , силу тертя можна записати таким чином:

$$F = \begin{cases} + fN & \text{за } \dot{x} < 0, \\ \pm f_1 N & \text{за } \dot{x} = 0, \\ - fN & \text{за } \dot{x} > 0, \end{cases} \quad (5.10)$$

де  $f$  та  $f_1$  – коефіцієнти тертя деталі по лотку відповідно у станах руху та спокою.

Для аналізу явищ, що відбуваються у разі переміщення деталей по лотку, скористаємося рівнянням (5.9), яке характеризує дію сил в площині, перпендикулярній до основи лотка. В початковий момент руху (за  $t = 0$  та  $y = 0$ ) це рівняння набуває вигляду:

$$-mg \cos \beta - mA p^2 \sin(\alpha - \beta) + N = 0, \quad (5.11)$$

тобто, в цей момент деталь притискається до поверхні лотка з найбільшим зусиллям;

$$N = mg \cos \beta + mA\rho^2 \sin(\alpha - \beta), \quad (5.12)$$

що обумовлює значну силу тертя між деталлю і лотком:

$$F = -fN = -fm[g \cos \beta + A\rho^2 \sin(\alpha - \beta)], \quad (5.13)$$

спрямовану в бік, протилежний напрямку руху деталі. Збільшенню сили тертя сприяє сумарна дія сили тяжіння та сили інерції деталі, так що в початковий момент часу, коли швидкість руху лотка ще мала, деталь переміщується разом з лотком.

В перший півперіод коливання швидкість руху лотка і сила інерції зростають за абсолютною величиною, водночас зменшується значення  $N$ . Якщо ж значення нормальної складової сили інерції перевищить нормальну складову сили тяжіння деталі, то деталь почне відриватися від лотка, тобто за  $y > 0$ ,  $N = 0$  і  $F = 0$ . Таким чином, умову відриву деталі від лотка можна записати таким рівнянням:

$$A\rho^2 \cos pt \sin(\alpha - \beta) = -g \cos \beta. \quad (5.14)$$

Позначимо  $pt = \varphi$  – фазовий кут коливального руху;

$\varphi_0$  – фазовий кут, за якого можливий відрив деталі від лотка;

$p = 2\pi\nu_B$  – колова частота вимушених коливань;

$\nu_B$  – частота вимушених коливань.

Тоді з рівняння (5.14) отримаємо вираз для фазового кута за граничної умови:

$$-\cos \varphi_0 = \frac{g \cos \beta}{4A(\pi\nu_B)^2 \sin(\alpha - \beta)}. \quad (5.15)$$

Значення  $\cos \varphi_0$  характеризує режим роботи віброживильника. За  $\cos \varphi_0 < 1$  деталь почне відриватися від лотка і буде здійснювати релаксаційний рух. Практично зручніше користуватися оберненою  $\cos \varphi_0$  величиною, яка називається коефіцієнтом режиму роботи віброживильника:

$$R_0 = \frac{4A(\pi\nu_B)^2 \sin(\alpha - \beta)}{g \cos \beta}. \quad (5.16)$$

Коефіцієнт режиму роботи віброживильника  $R_0$  визначає швидкість руху деталі по лотку та максимальний кут підйому лотка (кут спіралі). За значень  $R_0 = 1$  рух деталі відбувається без відриву від лотка, за  $R_0 > 1$  деталь відривається від лотка. За даними досліджень у разі  $R_0 \approx 3,33$  настає режим безперервного підкидування, а дотикання деталі до лотка відбувається в момент удару. Такий режим роботи віброживильника практично непридатний для орієнтованого завантаження, тому що рух деталі нестійкий і умова орієнтації погана.

В практиці проектування віброживильників використовується режим роботи:

$$1 \leq R_0 < 3. \quad (5.17)$$

За такого режиму визначають всі розрахункові та конструктивні параметри віброживильників.

Граничний кут підйому може бути знайдений за такими формулами:

- для руху деталей по лотку без підкидування за  $R_0 \approx 1$ :

$$\beta_{\max} = \arctg[f^2 \operatorname{tg}(\alpha - \beta_{\max})], \quad (5.18)$$

- для руху деталей в режимі з підкидуванням за  $R_0 = 1,16$ :

$$\beta_{\max} = \arctg[1,4 f^2 \operatorname{tg}(\alpha - \beta_{\max})]. \quad (5.19)$$

У випадку  $R_0 = 1,7$

$$\beta_{\max} = \arctg f, \quad (5.20)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя під час руху деталі по лотку.

Для розрахунку середньої швидкості руху деталі по лотку в сталому режимі роботи за кута підйому  $\beta$  (визначається за формулами (5.19), (5.20)), слугує вираз:

$$v_{\text{ср}} = 2\pi v_B A \cos(\alpha - \beta) k_v, \quad (5.21)$$

де  $k_v$  – коефіцієнт, який враховує зниження швидкості порівняно з максимально можливою;

$$k_v = \varepsilon \left(1 - \frac{1}{R_0^2}\right) \left(1 - \frac{2k_\beta}{R_0^2}\right), \quad (5.22)$$

де  $\varepsilon = 0,7-0,9$ ;  $k_\beta = \frac{\operatorname{tg}\beta}{f}$ .

З рівнянь (5.16) та (5.21) визначаємо кут коливання:



$$(\alpha - \beta) = \arctg \frac{R_0 \cos \beta k_v}{2\pi V_B v_{dem}}, \quad (5.23)$$

а відповідно, і кут напрямку коливання  $\alpha$ .

Кут нахилу пружинних стержнів підвіски віброживильника у вертикальній площині пов'язаний з кутом напрямку коливань такою залежністю:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{R}{r} \operatorname{tg} \alpha, \quad (5.24)$$

де  $R$  – середній радіус руху деталі по лотку;

$r$  – радіус верхньої заділки пружинних стрижнів.)

Амплітуда коливань  $A$  визначається за заданою швидкістю  $v_{dem}$  руху деталей:

$$A = \frac{v_{dem}}{2\pi V_B \cos(\alpha - \beta) k_v}. \quad (5.25)$$

На режим роботи віброживильника великий вплив має частота вимушених коливань: за інших рівних умов чим більша частота вимушених коливань, тим менша висота підкидування деталей по лотку, і відповідно тим кращі умови орієнтування деталей.

Віброживильники з електромагнітним приводом, які вмикаються в мережу промислової частоти, здійснюють коливання з частотою 100 або 50 Гц.

**УВАГА!!!** Розрахунок основних елементів привода віброживильника не входить до розгляду у цьому курсі, але, наприклад, за необхідності виконання такого розрахунку – методику наведено у джерелі інформації [2].

Під час конструювання бункерів віброживильника необхідно звернути увагу на такі особливості. Бункер ВБЗП являє собою жорстку чашу зі спірально розташованими лотками. Потрібно, щоб дно бункера мало форму сфери з великим радіусом кривизни або конус з кутом між твірною поверхнею та горизонтальною 2–5°. У випадку вібрацій деталі зміщуються до стінок бункера і переміщуються під дією спрямованих коливань, піднімаються по лотку. Залежно від конфігурації деталей і вимог до їх орієнтації на лотках встановлюються спеціальні пристрої (упори, скоси, вирізи в лотку), завдяки яким орієнтуються деталі, що рухаються в переважному положенні, та складаються до бункера деталі незорієнтовані. Для підвищення продуктивності віброживильника потрібно намагатися не складати до бункера деталі, а застосовувати багатоступінчасту орієнтацію.

### 5.1.1 Способи орієнтації деталей типу ступінчастих дисків у вібробункерах

На рис. 5.2 справа показано невеликі деталі типу ступінчастих дисків, які отримують задану орієнтацію під час переміщення по гвинтовому лотку вібробункера. На цьому ж рядку подано чотири різних положення, які можуть займати ступінчасті диски у разі руху по ділянці I гвинтового лотка вібробункера.

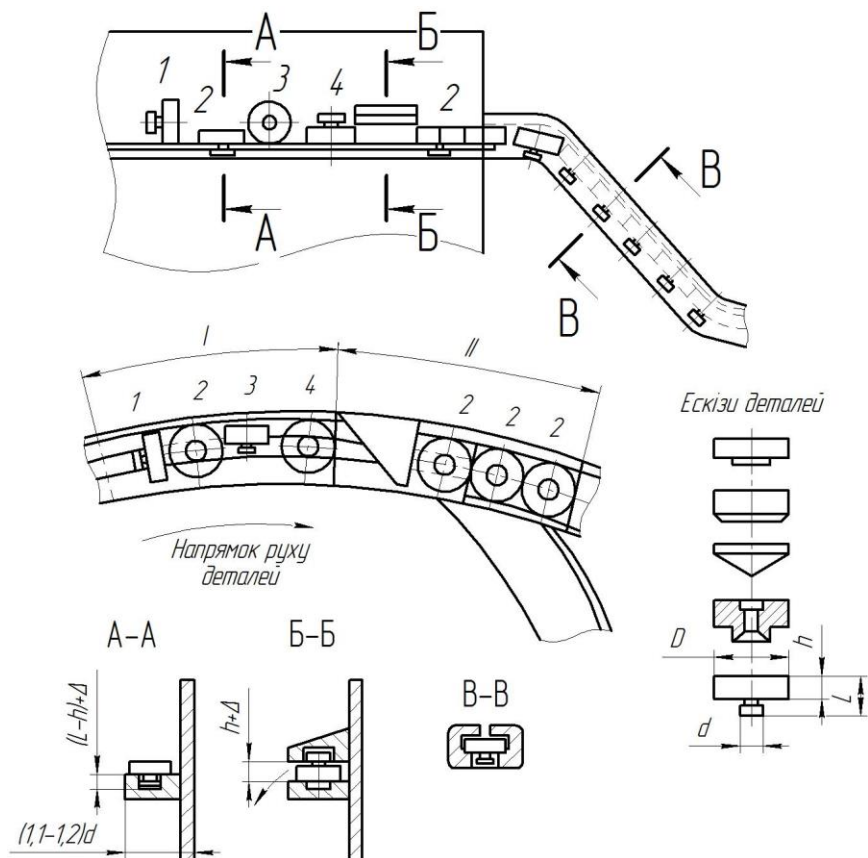


Рисунок 5.2 – Орієнтація невеликих ступінчастих дисків у разі їх переміщення по лотку вібробункера

В положенні 1 деталь розміщується на лотку циліндричною поверхнею з напрямком малого уступу вперед або назад та віссю деталі паралельно напрямку її руху у лотку. В положенні 2 деталь розміщується на лотку торцем малого уступу донизу, а торцем великого уступу догори від лотка. В положенні 3 на спіральному лотку циліндричною поверхнею великого уступу із розташуванням малого уступу справа або зліва відносно напрямку руху деталі. В цьому випадку вісь деталі розташовується перпендикулярно до напрямку її руху у спіральному лотку. В положенні 4 деталь розташовується на спіральному лотку торцем великого уступу донизу, а торцем малого уступу догори. Розташування осі деталі вертикально, але паралельно напрямку її руху у лотку.



В положенні 1 деталь розміщується на лотку циліндричною поверхнею великого діаметра, а циліндричною поверхнею меншого діаметра – уперед у напрямку руху деталей по лотку. Причому вісь деталей розташовується або паралельно, або під невеликим кутом до напрямку руху деталі у лотку. В положенні 2 деталь розташовується на лотку циліндричною поверхнею меншого діаметра – назад відносно напрямку переміщення деталей у лотку. В цьому разі вісь деталей розташовується або паралельно, або під невеликим кутом до напрямку руху деталі по лотку. В положенні 3 деталь розміщується на лотку торцем циліндричної поверхні більшого діаметра, а циліндричною поверхнею меншого діаметра – догори від поверхні лотка. В цьому випадку вісь деталі розташовується вертикально. В положенні 4 деталь розміщується на спіральному лотку частиною циліндричної поверхні більшого діаметра з розташуванням циліндричної поверхні меншого діаметра до осі бункера. В такому разі вісь деталі розташовується перпендикулярно до напрямку руху деталі.

Деталі на лотку вібробункера мають бути орієнтовані в положенні 2. З вібробункера до живильника ступінчасті валики необхідно подавати у вертикальному положенні торцем циліндричної поверхні більшого діаметра донизу.

На ділянці II над лотком вібробункера на висоті  $D + \delta$  встановлено відсікач. Відсікач скидає з лотка всі деталі, які переміщуються в положенні 2 та 4 (переріз А-А). Таким чином, на ділянці III (переріз Б-Б) деталі переміщуються в положення 1 або 2. Пройшовши ділянку III лотка, деталі надходять до вертикального лотка, що має на верхньому кінці конус, всередині якого знаходиться орієнтувальний поріг. Він пропускає без зміни орієнтації деталі, які йдуть циліндром більшого діаметра донизу, і повертає їх на  $180^\circ$ , якщо вони йдуть циліндром меншого діаметра донизу.

Залежно від розмірів, конфігурації, матеріалу деталей та необхідної ємкості бункера розраховують крок та кількості витків спірального лотка та діаметра бункера. Діаметр бункера визначають за формулою:

$$D_{\bar{o}} = D_{\text{сер}} + b = \frac{t}{\pi g \beta} + b, \quad (5.26)$$

де  $D_{\text{сер}}$  – середній діаметр спірального лотка;

$t$  – крок спірального лотка;

$\beta$  – кут підйому лотка;

$b$  – ширина лотка.

Крок спірального лотка визначають із умови запобігання наїзда однієї деталі на іншу:

$$t = 1,6h + S_2, \quad (5.27)$$

де  $h$  – висота деталі, яка лежить на лотку.

$S_2$  – товщина лотка.

Для отримання максимальної швидкості руху деталі кут підйому лотка  $\beta$  має бути мінімальним, але таким, щоб діаметр бункера не був надзвичайно великим. Потрібно визначити оптимальний кут  $\beta$ ; за дуже великого його значення подача деталі догори зупиняється (див. формули (5.19) та (5.20)).

В першому наближенні кут  $\beta$  можна визначити за формулою:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{t}{\pi D_{\sigma}} D_{\sigma \min} \geq (5 \dots 8) \cdot \ell_{\text{дет}}, \quad (5.28)$$

де  $\ell_{\text{дет}}$  – розмір деталі в напрямку руху.

Мінімальний діаметр бункера визначається емпіричною залежністю:

$$D_{\sigma \min} \geq (5 \dots 8) \cdot \ell_{\text{дет}}. \quad (5.29)$$

Висота бункера не має перевищувати 1,5–2 кроки спіральних лотків.

## **5.2 Визначення технічних характеристик кишенькових бункерних завантажувальних пристроїв**

Конструкція та принцип дії таких пристроїв розглядаються у лекційному курсі.

В силу того, що до бункера заготовки завантажуються способом «внавал», тобто хаотично, без будь-якої орієнтації в просторі, а до робочої зони технологічного обладнання вони поштучно мають надійти зорієнтованими відповідно до вимог розташування перед обробкою у робочій зоні. Для цього застосовують додаткові пристрої орієнтації, які конструктивно розташовуються або всередині бункера, або поза ним. Одним із таких пристроїв є диск з кишнями, який, як правило, здійснює тільки первинну орієнтацію заготовок, звідки цей бункерний завантажувальний пристрій і отримав назву кишенькового.

Форма кишней може бути різноманітною і залежить від форми оброблювальних деталей та заданої орієнтації. Різноманітні деталі, які відносяться до тіл обертання, можна поділити на два класи (рис. 5.4):

1) деталі, які мають площину симетрії, перпендикулярну до осі обертання;

2) деталі, які не мають такої площини.

Для деталей першого класу необхідне орієнтування тільки по відношенню до осі обертання, а для деталей другого – ще і по відношенню площини, перпендикулярній до цієї вісі – тобто для деталей потрібне подвійне орієнтування в просторі. Подібним чином класифікують і деталі, які не є тілами обертання.

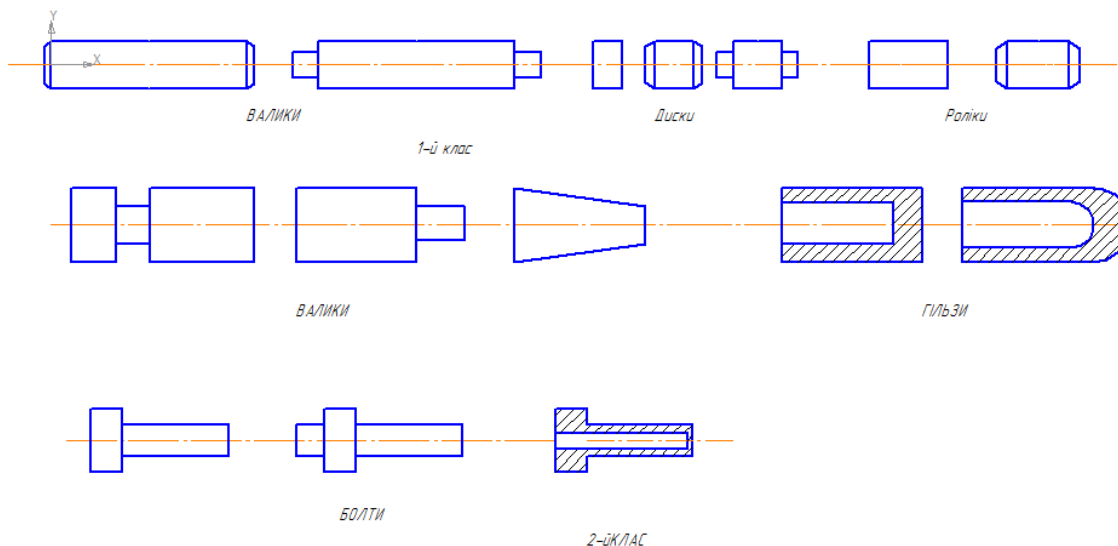


Рисунок 5.4 – Класифікація деталей типу тіл обертання

Другий фактор, який визначає складність автоматичного орієнтування, – це відношення довжини деталі до її діаметра. Простіше орієнтувати деталі, у яких різниця між довжиною та діаметром велика. Такі деталі самі намагаються зайняти положення в робочій зоні бункера.

Вони мають переважну орієнтацію. Деталі, у яких довжина значно перевищує діаметр ( $l/d > 1$ ), намагаються розташувати по хорді диска бункера, а деталі короткі, але відносно великого діаметра ( $l/d < 1$ ), розташовуються так, що їх вісь перпендикулярна до диска бункера. Деталі, у яких довжина і діаметр приблизно однакові ( $l/d = 1$ ), не мають переважного орієнтування. Тому їх найважче орієнтувати автоматично.

В тих випадках, коли з робочого кишенькового механізму орієнтації заготовки безпосередньо видаються до приймальника, розрахунку підлягають: розміри кишеней вхідної частини приймальника, швидкість обертання робочого диска, а, відповідно, і продуктивність механізму орієнтації. Збільшення продуктивності кишенькових механізмів орієнтації досягається за рахунок інтенсивного обертання заготовок.

**Розрахунок кишенькових механізмів орієнтації виконується таким чином:**

а) кишенькові механізми орієнтації з розташуванням кишеней по хорді застосовують для заготовок типу валиків, циліндричних та фасонних

ковпачків діаметром менше за 15 мм, довжиною менше за 80 мм за умови, що  $\ell/d > 2,5$ , але не більше за 4,5.

Розміри кишень: крок  $m = \ell + \delta + \Delta\ell$ ; ширина  $L = \ell + 0,5d$ ; глибина кишені  $b = (0,9...1)d$ ; товщина робочого диску  $S = (0,8...0,9)d$  ( $\Delta\ell$  – зазор між заготовкою та стінкою кишені;  $\delta$  – товщина перегородки – визначається конструктивно).

Кількість кишень:

$$z = \frac{180}{\arcsin \frac{(1,5 + 2,5d)}{D} + \arcsin \frac{(\ell + 0,5)}{D}}, \quad (5.30)$$

де  $D$  – діаметр диска з кишнями (вибирають конструктивно, звичайно  $D = (0,8...15)\ell$ ).

Переміщення заготовки з робочого диска до приймальника відбувається в період обертання диска за рахунок дії сил тяжіння заготовки. Розмір вікна приймальника:

$$B = n_1 \sqrt{\frac{\ell^2 + d^2}{1 + f}} \quad \text{або} \quad B = \ell + \mathcal{G} \sqrt{\frac{2d}{g}}, \quad (5.31)$$

де  $\mathcal{G}$  – швидкість переміщення робочого диску;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$n_1$  – коефіцієнт надійності, який береться таким, що дорівнює 1,2 ... 1,5.

За кута нахилу робочого диску  $\alpha = 45...50^\circ$  максимальна швидкість робочого диска під час вертикальної видачі заготовок до накопичувача:

$$\mathcal{G}_{\max} = \sqrt{\frac{\omega\ell}{2\alpha_1} \left[ \frac{1}{2} \ln \left( 1 + \frac{\ell^2}{4\rho^2} \right) - 1 + \frac{2\rho}{\ell} \operatorname{arctg} \frac{\ell}{2\rho} \right]}, \quad (5.32)$$

де  $\omega$  – прискорення заготовки під час ковзання по площині, яка нахилена під кутом  $\alpha$ ;  $\omega = g(\cos \alpha - f \sin \alpha)$ ;

$\rho$  – радіус інерції заготовки відносно осі, яка проходить крізь точку дотику заготовки з краєм приймальника;

$$\rho = \sqrt{\frac{\ell^2 + 15(d/2)^2}{12}}. \quad (5.33)$$

$\alpha_1$  – кут повороту заготовки під час входження до приймальника;

$$\alpha_1 = h_1 \operatorname{arctg} \frac{f + d/\ell}{1 - f \cdot d/\ell}. \quad (5.34)$$

Орієнтовне значення  $\mathcal{G}_{\max} = 4$  м/хв (для  $\ell/d = 2$ ).

У тих випадках, коли заготовка з робочого диска надходить до спеціального приймального пристрою, у горизонтальному положенні швидкість руху диска:

$$\mathcal{G} = \sqrt{\frac{\omega(L - \ell)^2}{2(d - S_1)}}, \quad (5.35)$$

де  $S_1$  – зазор між рухомим та нерухомим дисками;

**б) кишенькові механізми з розташуванням заготовок перпендикулярно до площини диска** застосовують для втулок, фасонних стержнів та ковпачків діаметром 15–20 мм, довжиною менше за 50 мм за умови, що  $\ell/d = 1,25 \dots 3,0$ .

За  $\ell/d > 1,6$  довжина кишені  $L < d + \frac{d\mathcal{G}}{2} \approx 1,6d$ ; за  $\ell/d < 1,6$  – довжина кишені  $L = 1,6d$ . Глибина кишені  $H = (0,9 \dots 1,0)\ell$ . Крок  $m_1 = L + \delta$ . Товщина перегородки має бути такою, щоб заготовка не могла лежати одночасно на трьох зубцях.

Для кращої підготовки заготовок до захвату робочий диск має нахил до зовнішнього діаметра під кутом  $\varphi = 3 \dots 5^\circ$  та забезпечується радіальними жолобками.

Розмір вікна приймальника у випадку вертикальній видачі заготовок до накопичувача:

$$B = \sqrt{\frac{\ell^2 + d^2}{1 + f^2}} n. \quad (5.36)$$

Максимальна швидкість обертання робочого диска:

$$\mathcal{G}_{\max} = \frac{B - d}{\sqrt{\frac{2(\ell - S)}{g(\cos \alpha - f \sin \alpha)}}}. \quad (5.37)$$

Кут нахилу робочого диска  $\alpha = 30 \dots 35^\circ$ . Орієнтовно  $\mathcal{G}_{\max} = 3,8$  м/хв;

**в) Кишенькові механізми з розташуванням заготовки по радіусу диска** використовують для тих самих заготовок, що і з розташуванням по хорді, але за умови, що  $\ell/d = 2 \dots 3,5$ .

Розмір кишені по ширині  $b = (1,4 \dots 1,6)d$ , по глибині  $L = \ell + 0,5d$ , крок  $m = b + (1,5 \dots 2)d$ .



Розмір вікна приймальника за умови, що заготовки до приймальника надходять горизонтально:

$$B = \frac{2d}{1+f^2}n. \quad (5.38)$$

Кут нахилу робочого диска  $\alpha = 45^\circ$ . Максимальна швидкість обертання робочого диска:

$$g_{\max} = (B - d/2) \sqrt{\frac{g(\cos \alpha - f \sin \alpha)}{2(d/2 - S_1)}}, \quad (5.39)$$

де  $S_1$  – зазор між робочим диском та корпусом механізму орієнтації.

Нижче подано розміри робочих дисків для наведених кишенькових механізмів орієнтації (рис. 5.5).

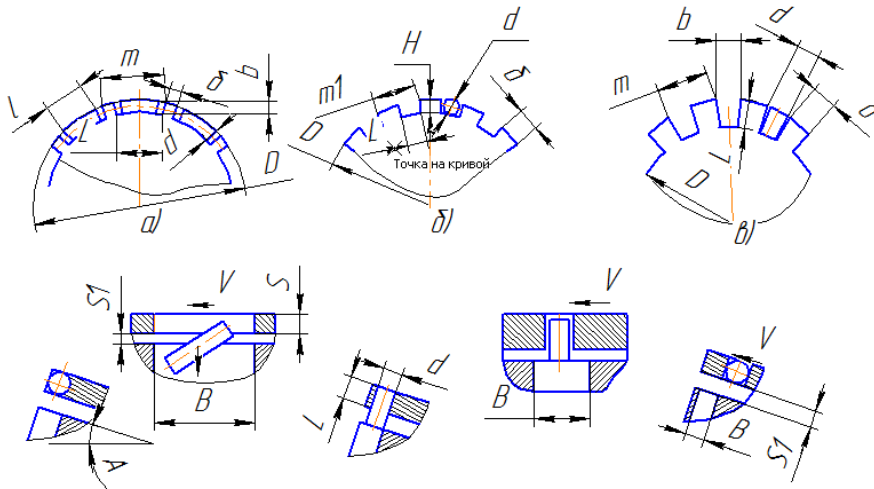


Рисунок 5.5 – Різновиди кишень механізмів орієнтації та розрахункові схеми: а) – кишень розташовано по хорді диска; б) – кишень розташовано перпендикулярно до площини диска; в) – кишень розташовано по радіусу диска

### Питання для самопідготовки

1. Назвіть основні технічні характеристики та параметри вібраційних бункерних завантажувальних пристроїв (ВБЗП). Напишіть основні формули, нарисуйте розрахункові схеми.

2. Назвіть і охарактеризуйте способи орієнтації деталей типу ступінчастих дисків у ВБЗП.

3. Як здійснюється орієнтація деталей типу ступінчастих та конічних валиків у ВБЗП? Методика розрахунку.

4. Дати характеристику та методики розрахунку технічних характеристик кишенькових БЗП.

## Тема 7

# ЗАСОБИ ТА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РОЗМІРІВ ТА ОСНОВНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ

### 7.1 Вступна частина

Як відомо, автоматичні засоби контролю можна поділити на **засоби пасивного (приймального) та активного (керівного) контролю**. Засоби **пасивного** автоматичного контролю виконують приймання та розбраковку (розсортування) деталей з великими зрушеннями в часі після їх виготовлення. Вони відділяють браковані деталі, не допускаючи їх потрапляння на складання, і забезпечують таким способом якість продукції. Засоби пасивного контролю не впливають безпосередньо на хід технологічного контролю. Отримана інформація використовується для регулювання процесу у разі значної величини періоду підналадки. Пасивний контроль не попереджає з'явлення браку.

Засоби **активного** автоматичного контролю безпосередньо пов'язані з ходом технологічного процесу та активно у нього втручаються, регулюючи параметри оброблюваних деталей. Вони керують рухами виконавчих органів верстатів за результатами контролю оброблюваних розмірів деталей в процесі, до і після обробки. Активний контроль попереджає з'явлення браку. Оператор та наладчик звільняються від безпосереднього спостереження за ходом технологічного процесу, що дає можливість багатостатного обслуговування. Підвищується продуктивність праці за рахунок скорочення допоміжного часу та точності обробки.

**Засоби контролю за ступенем автоматизації можна поділити на неавтоматичні, напівавтоматичні, автоматичні.**

Механізовані засоби контролю – контрольні пристосування – відносяться до класу неавтоматичних. Вони застосовуються для послідовного (одновимірні) або одночасного (багатовимірні) контролю різних параметрів якості (відхилень) розмірів, геометричної форми, розташування поверхонь та ін. деталей, завантаження–розвантаження та розкладання деталей по відповідних комірках виконується контролером вручну. Інформацію про результати контролю він отримує по показниках шкальних або світлосигнальних приладів, в напівавтоматичних засобах процес контролю та сортування здійснюється автоматично. Не автоматизованим є лише завантаження деталей.

Автоматичні та напівавтоматичні засоби контролю являють собою **вимірювальні системи**. **Вимірювальною системою** називають сукупність засобів вимірювання (мір, вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів) та допоміжних пристроїв, з'єднаних між собою каналами інформації у формі, зручній для автоматичної обробки,

передачі та використання у автоматичних системах керування. **Вимірювальний прилад** – це засіб вимірювання, який виробляє сигнали вимірювальної інформації у формі, придатній для безпосереднього сприйняття спостерігачем. **Вимірювальним перетворювачем** називається засіб, який виробляє сигнали вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки або зберігання, але яка не піддається безпосередньому сприйняттю спостерігачем.

Засоби активного контролю залежно від їх місця в технологічному процесі можуть бути поділені на засоби для контролю в процесі обробки, до та після обробки, засоби автоматичного контролю в процесі обробки безперервно стежать за зміненням розміру заготовки і керують роботою верстата та змінюють режими обробки за проміжних величин припуску і зупиняють обробку після досягнення кінцевого розміру.

До кількості засобів активного контролю відносять також візуальні пристрої для спостереження за ходом технологічного процесу. Оператор безперервно стежить за показниками приладу і зупиняє обробку за заданого положення вказівника.

Засоби післяопераційного контролю контролюють один або декілька параметрів деталі безпосередньо без її обробки, водночас їх встановлюють на верстаті поза його робочою зоною або поруч з верстатом. У разі виходу контрольованого параметра за задані межі командно-сигнальний пульт або дає команду на підналадку (в цьому випадку засіб називається **автопідналадчиком**), або на зупинення верстата (в цьому випадку засіб називається **контрольно-блокувальним пристроєм**).

Автоматичні засоби контролю деталей до їх надходження на верстат називають **захисно-блокувальними пристроями**. Вони не допускають потрапляння на верстат заготовок з розмірами, які виходять за припустимі межі, запобігаючи інструмент та механізми верстату від аварій. Ці засоби можуть давати команду на видалення бракованої заготовки з потоку або зупиняють верстат. Оператор в останньому випадку вилучає браковану заготовку вручну.

Засоби активного контролю найбільш широко застосовуються на оздоблювальних операціях: у випадку круглого шліфування зовнішнього та внутрішнього, безцентрового та плоского шліфування, хонінгування. Рідше вони застосовуються під час точіння, розточування, свердління, зубообробки та ін.

Засоби активного контролю в процесі обробки частіше базуються на прямому методі вимірювання, коли безпосередньо вимірюється контрольований параметр (розмір) деталі або його відхилення від розміру установчої міри, рідше – на непрямому методі вимірювання, коли вимірюється параметр, пов'язаний з контрольним розміром відповідним співвідношенням.

В процесі обробки звичайно контролюється один оброблюваний параметр (розмір), на величину якого засіб активного контролю впливає

безпосередньо. Відхилення від форми в процесі обробки зазвичай не контролюється, тому що автоматичне керування цими параметрами не здійснюється.

В пристроях для контролю в процесі обробки звичайно застосовується контактний спосіб вимірювання: губки, скоби або наконечники важелів безпосередньо торкаються оброблюваної поверхні. Розроблено також безконтактні пристрої для контролю в процесі обробки, які оснований на пневматичному, індуктивному, фотоелектричному та радіаційному методах вимірювання. За достатніх величин вимірювальних зусиль контактний спосіб більш надійний, не дивлячись на те, що відбувається поява сліду на тонко обробленій поверхні деталі.

Засоби активного контролю, в яких застосовується контактний спосіб вимірювання, можуть мати контакт з поверхнею деталі в одній, двох та трьох точках, а також поверхневий контакт. Відповідно вони поділяються за типом сприймального елемента на одно-, дво-, триконтактні пристрої та пристрої з поверхневим контактом. Останні застосовуються для контролю поверхонь в процесах внутрішнього шліфування та хонінгування за допомогою калібрів – пробок.

За призначенням засоби активного контролю поділяються на групи за видами технологічних процесів та типом керованих ними верстатів: засоби для активного контролю у разі круглого, безцентрового, плоского шліфування, хонінгування, точіння та ін.

В засобах активного контролю застосовуються різні вимірювальні перетворювачі та системи. Найбільш поширені електроконтактний, пневмоелектроконтактний та індуктивний методи вимірювань. У неавтоматичних (візуальних) засобах контролю використовуються важільно-механічні універсальні прилади, пневматичні та індуктивні прилади.

Розглянемо більш детально деякі вимірювальні перетворювачі.

## **7.2 Індуктивні вимірювальні перетворювачі (ІВП)**

ІВП використовуються для перетворення лінійних та кутових переміщень в електричний сигнал у вигляді струму або напруги. Вхідною величиною ІВП можуть бути розміри деталей, переміщення робочих органів верстатів, переміщення пружних елементів під дією сил та тисків для вимірювання останніх. Вихідні електричні сигнали ІВП можуть фіксувати у відповідних одиницях вимірювання відрахунковим перетворювачем контрольно–вимірювальних приладів або використовуватися для керування технологічним процесом.

Принцип дії ІВП полягає в перетворенні вхідного переміщення якоря в змінення індуктивної котушки.

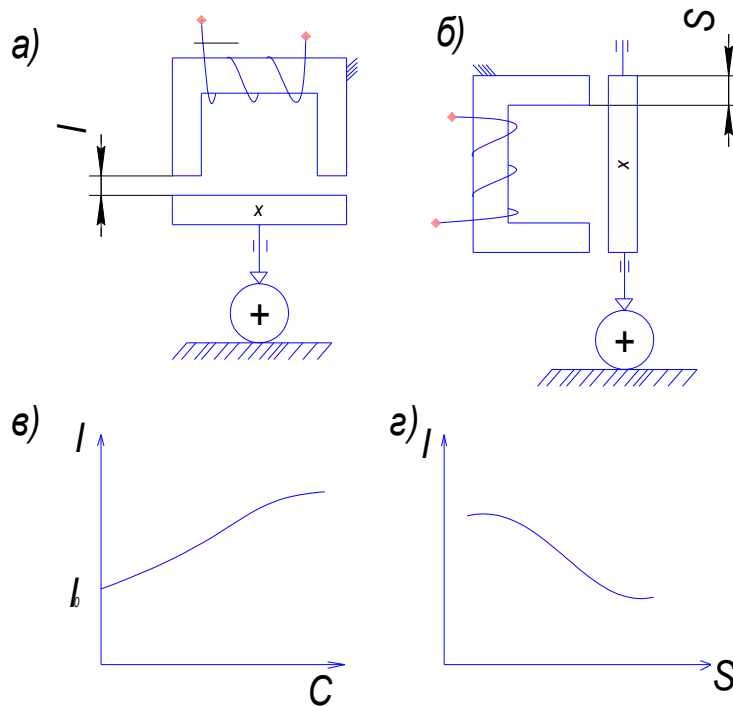


Рисунок 7.1 – Схеми простих індуктивних перетворювачів та їх статичні характеристики: а) – ІВП зі змінним повітряним зазором; б) – ІВП зі змінною площею повітряного зазора; в), г) – статичні характеристики

У випадку ненасиченого магнітопроводу індуктивністю котушки:

$$L = \frac{KW^2 S}{\ell}, \quad (7.1)$$

де  $K$  – постійний коефіцієнт;

$W$  – кількість витків котушки;

$\ell$  – величина повітряного зазора;

$S$  – площа поперечного перерізу повітряного зазора.

Під час змінення положення чутливого елемента – вимірювального штока; наприклад, від контрольованої деталі переміщується ярів відносно сердечника котушки. Зміна  $\ell$  або  $S$  (див. рис. 7.1, а), б) викликає відповідне змінення індуктивності  $L$  і в кінцевому випадку струму або напруги. У разі вмикання ІВП в електричне коло струм в обмотці котушки:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + x^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}}, \quad (7.2)$$

де  $U$  – напруга живлення перетворювача;

$Z$  – повний опір котушки;

$R$  – активний опір обмотки;

$f$  – частота струму живлення.

На рис. 7.1 в), з) показано статичні характеристики простих ІВП. Недоліком їх є нелінійність таких характеристик, низька чутливість, залежність вихідного сигналу від частоти струму живлення та від коливань напруги джерела живлення, наявність протягування якоря до сердечника. Тому в практиці знайшли застосування диференціальні ІВП. Такі перетворювачі мають дві котушки індуктивності (рис. 7.2).

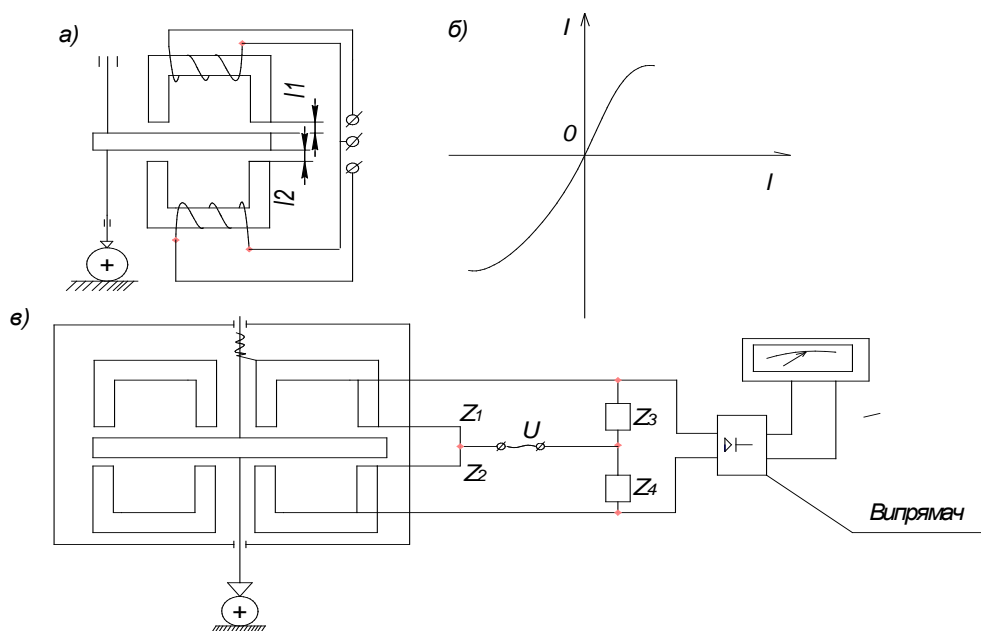


Рисунок 7.2 – Диференціальний ІВП: а) – принципова схема; б) – статична характеристика; в) – вимірювальний прилад з ІВП, який ввімкнено до мостової вимірювальної схеми

Переміщення якоря зменшує індуктивність однієї котушки на  $\Delta L$ , другої – збільшує на  $\Delta L$  – порівняно з простим ІВП чутливість підвищується вдвічі. Статична характеристика практично лінійна на значній ділянці переміщення якоря. Коливання напруги живлення та частоти, сили притягування якоря компенсуються в диференціальній схемі і незначно впливають на вихідний сигнал.

Для підвищення діапазона вимірювальних переміщень до  $\pm(5-6)$  мм застосовуються соленоїдні індуктивні перетворювачі, які являють собою котушку індуктивності, всередині якої переміщується розімкнений феромагнітний сердечник. Переміщення сердечника пов'язується із зміненням вимірювального розмірного параметра та приводить до зміни індуктивності котушки.

Основні характеристики ІВП:

- низький поріг чутливості (соті частки мм),
- висока чутливість (до 25-30 мВ/мм),
- висока точність (відносна похибка менше за 1% від діапазона вимірювань),
- висока надійність ( $2 \cdot 10^{-3}$  відмовлень/год роб.).

ІВП вмикаються в електричні кола змінного струму стандартної частоти 50 Гц і не потребують високої стабілізації джерела живлення; у високоточних вимірювальних приладах застосовуються струми високої частоти до 5–10 КГц.

### 7.3 Електронні вимірювальні перетворювачі (ЕВП)

ЕВП застосовуються для високоточних вимірювань з перетворенням лінійних переміщень діапазоном до  $\pm 1$  мм у електричний сигнал. ЕВП являє собою електричну лампу, у якій електронний потік керується механічно – переміщенням електрода. Тому ЕВП часто називають **мехатронами**. Найбільше поширення отримали диференціальні мехатрони у вигляді у вигляді спареного діода, у якому переміщуються аноди (рис. 7.3).

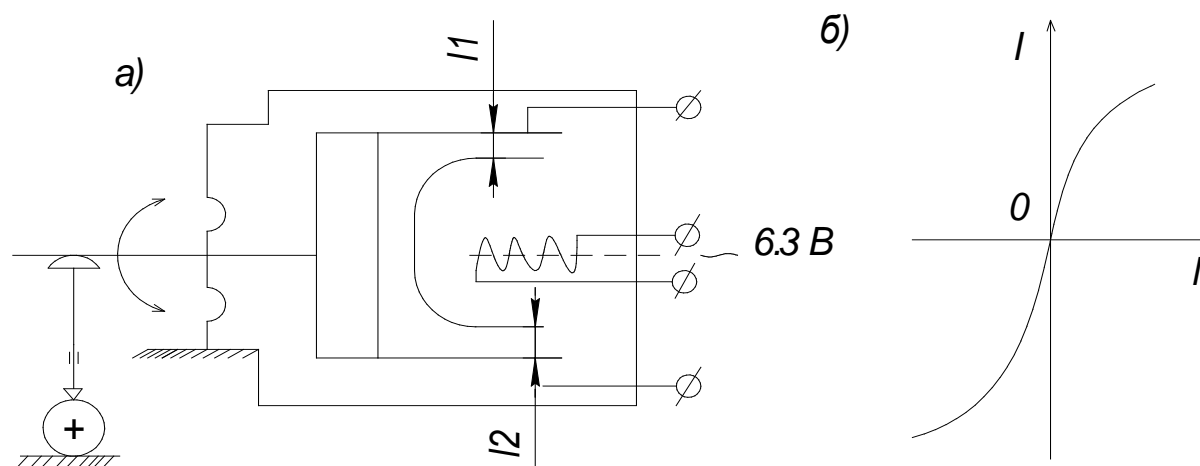


Рисунок 7.3 – Електронний ВП (мехатрон):  
а) – принципова схема; б) – статична характеристика

Аноди закріплено на чутливому елементі перетворювача. Чутливий елемент у вигляді стержня впаяний в еластичну мембрану балона електронної лампи і зовнішнім кінцем сприймає вхідну величину – перетворюване переміщення. Рухомі аноди переміщуються відносно нерухомого підігрівного катода, викликаючи зміну анодних струмів. ЕВП вмикається у мостову вимірювальну схему, живиться від стабілізованого джерела постійного струму. Чутливість ЕВП досягає до 100 мкм і вище. Нелінійність характеристики менше за 1%.

### 7.4 Пневматичні вимірювальні перетворювачі (ПВП)

Пневматичні перетворювачі застосовують у вимірювальних та контрольних приладах, в системах керування для перетворення лінійних розмірів на пневматичний сигнал у вигляді тиску. Принцип роботи ПВП оснований на залежності між площею прохідного перерізу

дросельовального каналу і витратами повітря та, відповідно, зміна витрат повітря відбувається за рахунок перекриття вихідного дросельного каналу діаметром  $d$  (вимірювального сопла) або безпосередньо поверхнею контрольованої деталі (рис. 7.4, а), або проміжним елементом типу засувки, який контактує з деталлю (рис. 7.4, б). Перетворення витрат повітря в тиск здійснюється за допомогою другого дросельного отвору – вихідного сопла діаметром  $d_0$ .

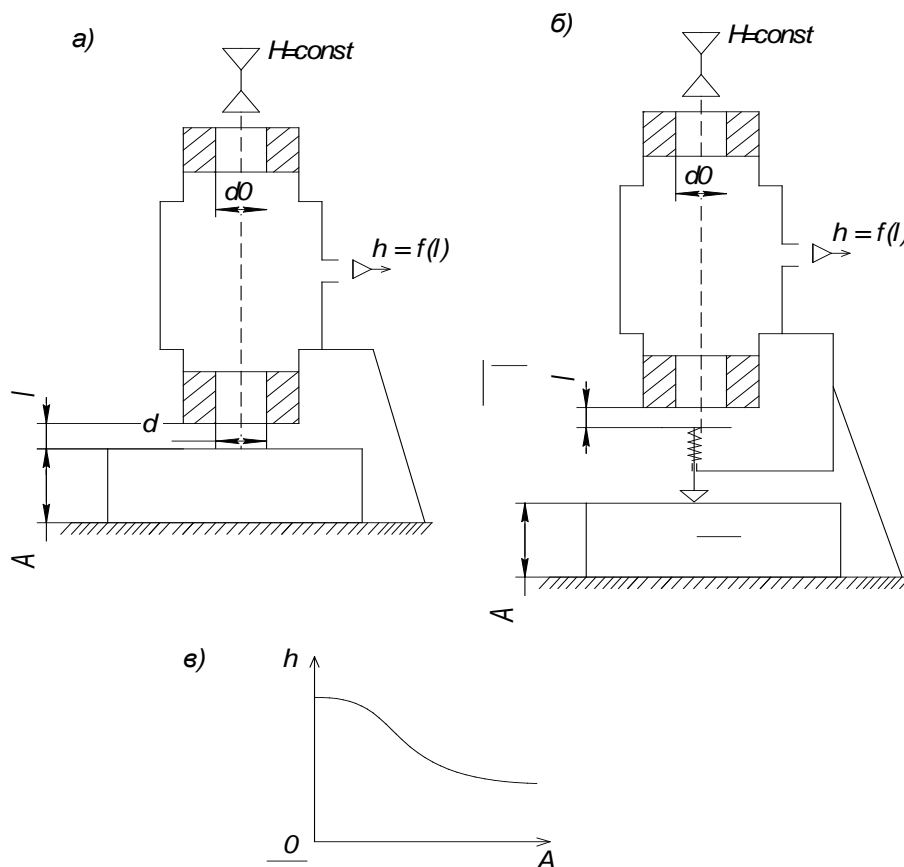


Рисунок 7.4 – Прості пневматичні ВП:  
 а) – безконтактний ПВП; б) – контактний ПВП; в) – статична характеристика

На рисунку 7.4 показано принципові конструктивні схеми простого ПВП. Живлення перетворювача здійснюється високоочищеним стиснутим повітрям постійного тиску  $H = const$ .

Між вхідним дросельним отвором діаметром  $d_0$  та вихідним – діаметром  $d$  знаходиться вимірювальна камера, тиск  $h$  в якій є вихідним сигналом перетворювача і визначається величиною зазора  $l$  залежно від вимірювального розміру  $A$ . Витрата повітря і відповідно тиск  $h$  у вимірювальній камері залежать від величини зазора  $l$  за умови, що площа вихідного перерізу, яка утворюється цим зазором, менша за площу прохідного перерізу отвору:  $\pi d l < \frac{\pi d^2}{4}$ , тобто за умови  $l < 0,25 d$ . Діаметр  $d$  беруть 0,5-1,2 мм.



Широке застосування знайшли диференціальні пневматичні засоби вимірювань манометричного типу, які менш чутливі порівняно з простими. На рис. 7.5 подано принципову схему такого засобу з ділянкою підготовки повітря, диференціальним ПВП та манометричним відрахунковим перетворювачем.

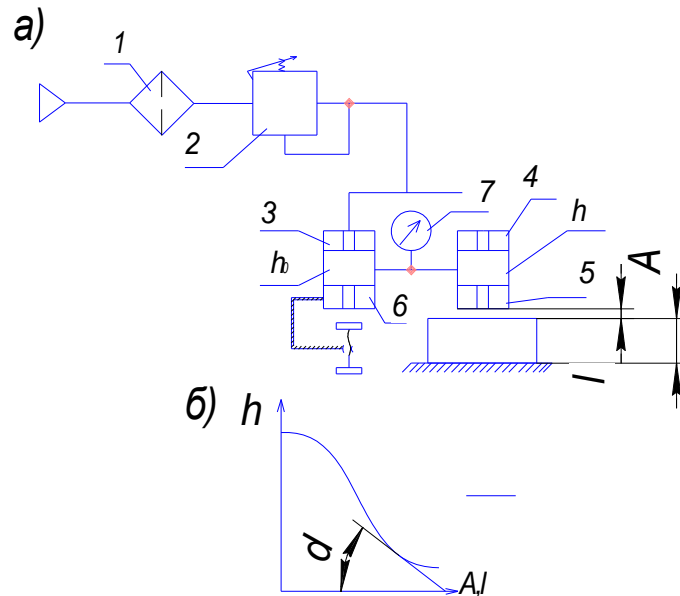


Рисунок 7.5 – Вимірювальний прилад з диференціальним ПВП:

а) – принципова схема; б) – статична характеристика

Фільтр 1 очищення повітря та стабілізатор тиску 2 слугують для підготовки повітря, яке надходить під тиском  $H = const$  до двох однакових гілок диференціального ПВП. Цей ПВП складається з вхідних 3, 4 та вихідних вимірювальних 5, 6 сопел та двох вимірювальних камер між ними. Ці камери з'єднані спільним виходом з відрахунковим перетворювачем типу манометра 7. Манометр 7 фіксує різницю тисків  $\Delta h = h - h_0$  у вимірювальних камерах.

Для визначення розміру  $A$  одне вимірювальне сопло 6 являє собою вентиль протитиску, через регульовальний прохідний переріз якого стиснуте повітря витікає у атмосферу. В процесі роботи величина прохідного перерізу вентиля протитиску залишається постійною, а манометр 7 реагує на різницю протитиску та вимірювального тиску, величина якого залежить від вимірювального зазору, тобто від розміра  $A$ .

### 7.5 Ємнісні перетворювачі

Ємнісний метод вимірювань базується на перетворенні лінійних переміщень у зміну електричної ємності конденсатора. За зміною ємності судять про зміну розміру. Ємнісний метод вимірювання може бути безконтактним або контактним. За безконтактного методу контролювальна

деталь безпосередньо вмикається у електричне коло як одна з пластин конденсатора.

Схеми деяких типів контактних ємнісних перетворювачів показано на рис. 7.6.

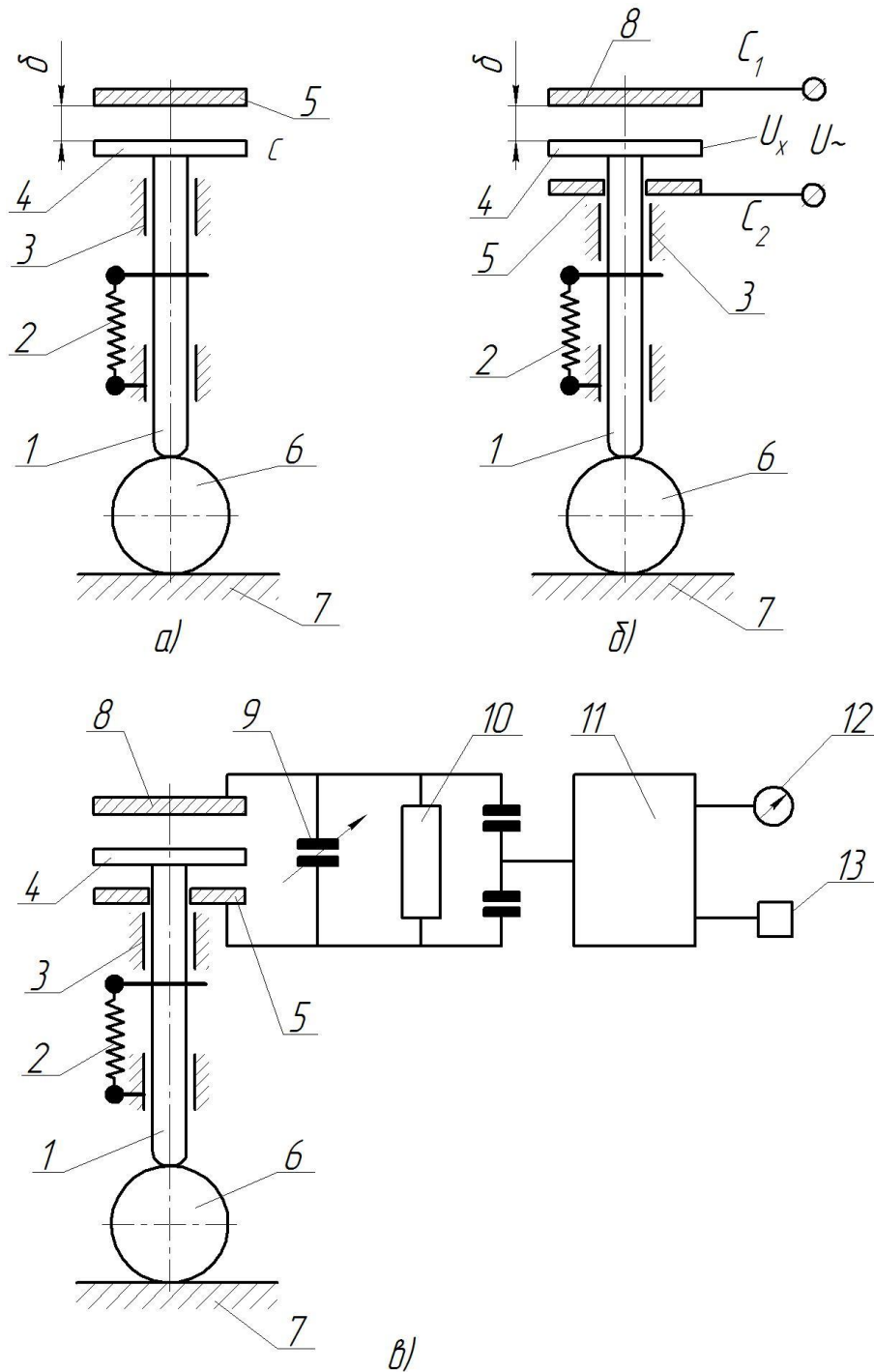


Рисунок 7.6 – Схеми деяких типів ємнісних перетворювачів

Простий ємнісний перетворювач (рис. 7.6, а) має дві пластини конденсатора: рухому 4, яка закріплена на вимірювальному стержні 1 і переміщується по напрямних 3, та нерухомому 5. Зміна зазора  $\delta$  між пластинами перетворюється у зміну ємності конденсатора  $C$ . У

диференціальному ємнісному перетворювачі (рис. 7.6, б) рухому пластину 4 закріплено на вимірювальному стержні 1, який переміщується між двома нерухомими пластинами 5 та 8, утворюючи два конденсатори  $C_1$  та  $C_2$ , що значно підвищує чутливість датчика. Вимірювальне зусилля створюється пружиною 2.

Змінним електричним параметром ємнісного перетворювача є ємність конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon S}{4\pi\delta}, \quad (7.3)$$

де  $\varepsilon$  – відносна діелектрична проникливість середовища між пластинами конденсатора;

$S$  – площа пластини;

$\delta$  – повітряний зазор між пластинами.

У випадку зміщення пластини конденсатора на деяку величину  $X$  :

$$C = \frac{\varepsilon S}{4\pi(\delta - x)} = \frac{\varepsilon S}{4\pi\delta(1 - x/\delta)}. \quad (7.4)$$

Помноживши та поділивши останній вираз на  $\frac{1+x}{\delta}$  і вважаючи член  $(x/\delta)^2$  у знаменнику величиною другого порядку меншості, отримуємо:

$$C = \frac{\varepsilon S}{4\pi\delta} \left( 1 + \frac{x}{\delta} \right) = C_0 + C_0 \frac{x}{\delta}. \quad (7.5)$$

Тобто залежність ємності конденсатора від величини переміщення вимірювального стержня буде наближено лінійною.

Принципова схема пристрою, в якому застосований диференціальний ємнісний перетворювач з двома нерухомими пластинами, ввімкненими у мостову схему, показано на рис. 7.6, в).

Зміна положення стержня 1, на кінці якого закріплено рухому пластину 4, під час вимірювання діаметра деталі 6, встановленої на столі 7, тягне за собою зміну ємності двох конденсаторів, які утворені пластинами 4-5 та 4-8. Ці конденсатори та регульовальний конденсатор 9 ввімкнено у мостову схему, яка живиться від високочастотного генератора 10. Вихідна напруга перетворювача через підсилювач 11 подається на відліковий пристрій 12 та виконавче реле 13.

## 7.6 Електроконтактні вимірювальні пристрої

Для отримання електричних команд (сигналів) пневматичні перетворювачі забезпечують манометричними елементами (сильфонами, мембранами) з електричними контактами, які реагують на вимірювальний тиск  $h$ . Під час деформації пружних манометричних елементів контакти, які ввімкнуті в електричне коло, замикаються або розмикаються, видаючи сигнал. В цьому випадку маємо пневмоелектричний вимірювальний перетворювач (ПЕКВП) з дискретною (переривчастою) статичною характеристикою, який використовується для автоматичного контролю та керування (рис. 7.7).

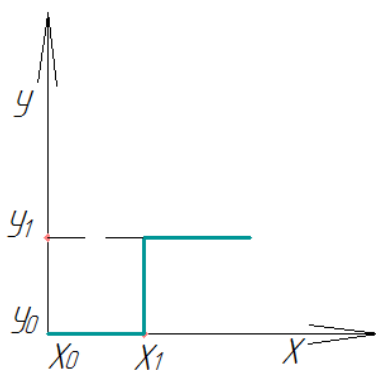


Рисунок 7.7 – Переривчаста статистична характеристика:  
 $X_0 - X_1$  – межі зміни контрольованого розміру

Таку характеристику мають електроконтактні, пневмоелектроконтактні, фотоелектричні багатограничні вимірювальні пристрої.

**Розрізняють граничні та амплітудні ЕКВП.** Граничні призначено для видачі сигналів-команд у разі досягнення контрольованого розміру заданої граничної величини. Амплітудні – для видачі сигналу, коли величина відхилень від правильної геометричної форми (овальність, биття) деталі досягла заданої незалежно від величини контрольованого розміру.

Для автоматизації контрольних операцій та технологічних процесів застосовують граничні ЕКВП. Ці ВП, зазвичай електричні вимикачі, замикаються або розмикають електричне коло з появою відповідного сигналу за переміщення їх чутливого елемента, який реагує на вхідну величину. Вхідною величиною ЕКВП є переміщення у разі змінення контрольованого параметра, а чутливим елементом – вимірювальний шток, який викликає замикання або розмикання електричних контактів перетворювача у разі відхилення розміру за фіксовані границі.

ЕКВП звичайно виконують односторонніми (з однією парою контактів) або частіше двосторонніми (з двома парами контактів). Перші розділяють контрольовані вироби на групи з розмірами менше та більше за встановлені. Другі можуть розділяти на три групи з розмірами, які

знаходяться у заданих границях та які виходять за задані границі в менший або більший бік. Для сортування виробів на велику кількість груп (до 30) застосовують багатограничні ЕКВП.

За конструкцією основними типами ЕКВП є **важільні та безважільні**. У безважільних ЕКВП на вимірювальному штоку розташовується рухомий електричний контакт (рис. 7.8).

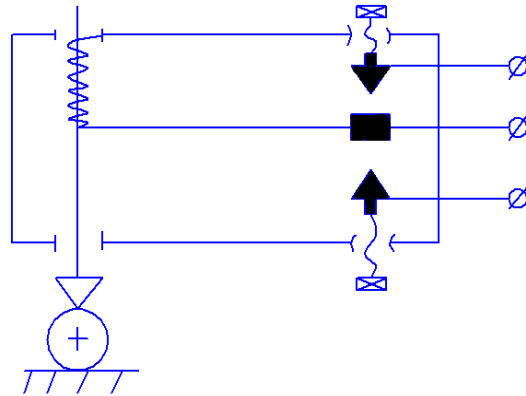


Рисунок 7.8 – Електроконтактний ВП безважільний

Пружиною створюється вимірювальне зусилля. За зниження контролюваного розміру виробу шток під дією пружини переміщується донизу і рухомий контакт замикається з нижнім нерухомим. За завищення розміру шток переміщується догори і за досягнення верхньої граничної величини рухомий контакт замикається з верхнім нерухомим. Регулювання нерухомих контактів, тобто налагодження перетворювача на потрібні границі розміру, здійснюється точними мікрометричними гвинтами.

Загальним недоліком безважільних ЕКВП є те, що величина переміщення штока дорівнює величині переміщення контактів. Це ускладнює налагодження, особливо у разі малого допуску контролюваної деталі. Основна перевага цих перетворювачів – малі габарити та інерційність.

У важільних ВП (рис. 7.9) можна більш точно здійснити налагодження, ціна поділки гвинтів налагодження в цих перетворювачів становить 1–5 мкм.

Більшість конструкцій важільних ЕКВП мають один важіль, який передає вимірювальне переміщення штока рухомому (або рухомим) електричному контакту із відношенням 1:10. Такий важіль звичайно кріпиться до корпусу за допомогою плоских пружин замість шарнірів з метою зменшення люфтів. Переміщення вимірювального штока викликає поворот важеля, який несе контакт або контакти. Під час свого руху рухомі контакти залишаються з нерухомими.

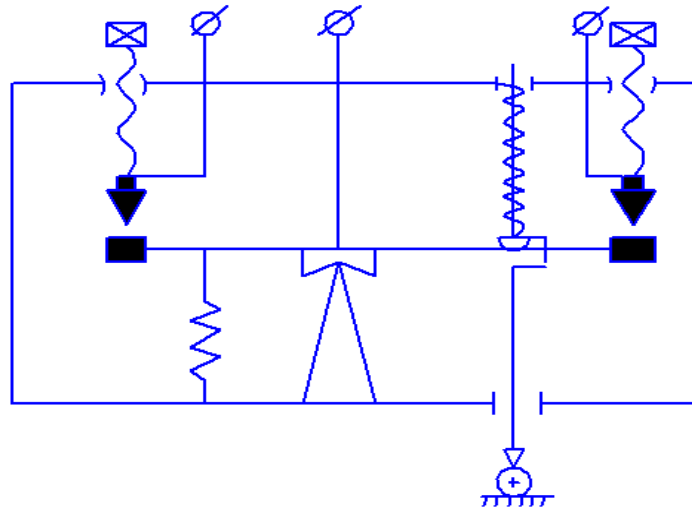


Рисунок 7.9 – Електроконтактний ВП важільний

Контакти можуть вимикати командні реле для керування верстатом або світлосигнальними пристроями, можуть безпосередньо вмикати індикаторні лампи світлосигнального пристрою, які фіксують вихід контролювальних розмірів за задані границі.

Точність ЕКВП характеризується такими показниками:

- похибка спрацьовування –  $\Delta_{сеп} = (0,5 \dots 1,5)$  мкм;
- зміщення налагодження після  $N = 25000$  вимірювань –  $\Delta_{зм} = (1 \dots 1,5)$  мкм.

### Пневмоелектроконтактні вимірювальні перетворювачі (ПЕКВП)

ПЕКВП використовуються сумісно з пневматичними ПВП і в цьому випадку є вторинними (проміжними) у вимірювальному ланцюгу. Звичайно сумісно з пневматичним розмірним перетворювачем, який виконує одночасно роль вимірювальної оснастки, ПЕКВП розглядають як вимірювальний пристрій з проміжним перетворенням.

Вимірювальне переміщення (змінення розмірів) спочатку перетворюється у тиск стиснутого повітря, який потім за рахунок пружних манометричних елементів викликає замикання та розмикання електричних контактів.

Переважне поширення в промисловості для автоматизації контрольних та технологічних операцій отримали диференціальні сільфонні та мембранні ПЕКВП.

Типову схему диференціального ПЕКВП показано нижче (рис. 7.10).

До корпусу розподільника повітря прикріплено пружні чутливі елементи – сільфони, вільні кінці яких жорстко зв'язані стяжкою, підвішеною на плоских пружинах з утворенням шарнірного паралелограма. Під час роботи за схемою з протиском (рис. 7.10), стиснуте повітря під постійним тиском  $H = const$  перетікає через входні сопла у

порожнини сифонів. З лівого сифона повітря перетікає у атмосферу через вентиль протитиску з постійним в часі вимірювання зазором  $l_0$ , а у порожнині сифона створюється постійний тиск  $h_0$ .

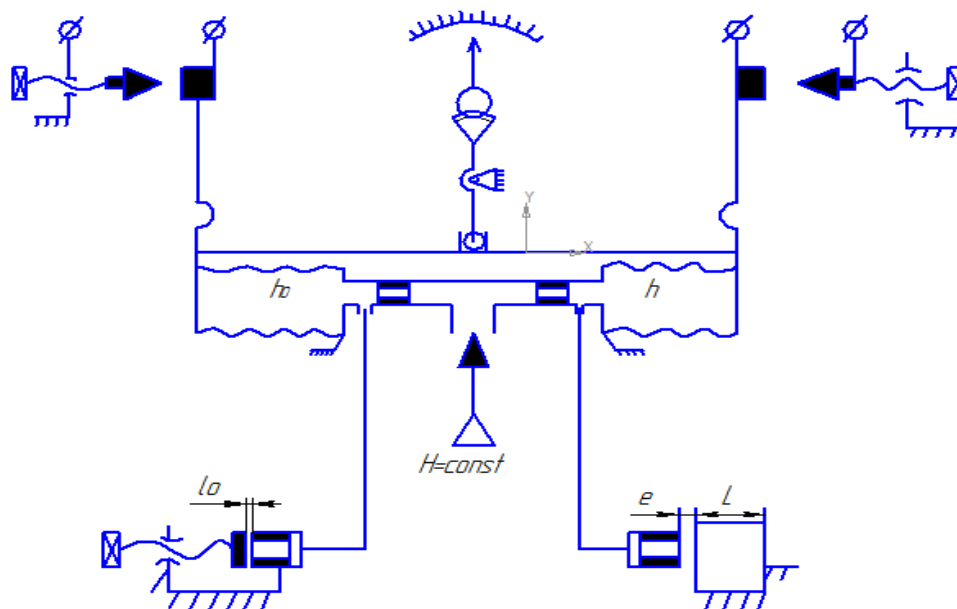


Рисунок 7.10 – Схема диференціального пневмоелектричного ВП (із сифоном)

З правого сифона повітря через кільцевий зазор  $L$  між вимірювальним соплом первинного пневматичного перетворювача та поверхнею контрольованого виробу також витікає у атмосферу. В цьому сифоні створюється вимірювальний тиск  $h$ , величина якого залежить від  $L$ , тобто від розміру контрольованого виробу. Положення рухомих частин сифонів, зв'язаних стяжкою, визначається різницею вимірювального тиску та деякого постійного протитиску  $h_0$ . На стяжці за допомогою плоских пружин кріпляться рухомі електричні контакти, які переміщуються разом з пружною системою. Регульовані, нерухомі під час змінення, контакти закріплюються на корпусі перетворювача.

Регульовальні гвинти слугують для налагодження спрацьовування електричних контактів за заданого розміру контрольованої деталі. У існуючих приладах кількість пар контактів досягає шести.

Під час диференціальних вимірювань замість вузла протитиску встановлюють другий – вимірювальне сопло.

Показниковий шкальний пристрій, який вимірює переміщення рухомої системи за допомогою важільно-зубчастої передачі та стрілки, має додаткове призначення і слугує для орієнтації налагодчика. Тому точність показників цього пристрою не нормується.

Похибка спрацьовування різних ПЕКВП становить  $\Delta_{сер} = (0,5 \dots 2)$  мкм.

Високими метрологічними характеристиками характеризуються мембранні ПЕКВП, в яких чутливим елементом є гумава або гумовотканинна мембрана. Схему такого диференціального перетворювача з протиском показано на рис. 7.11.

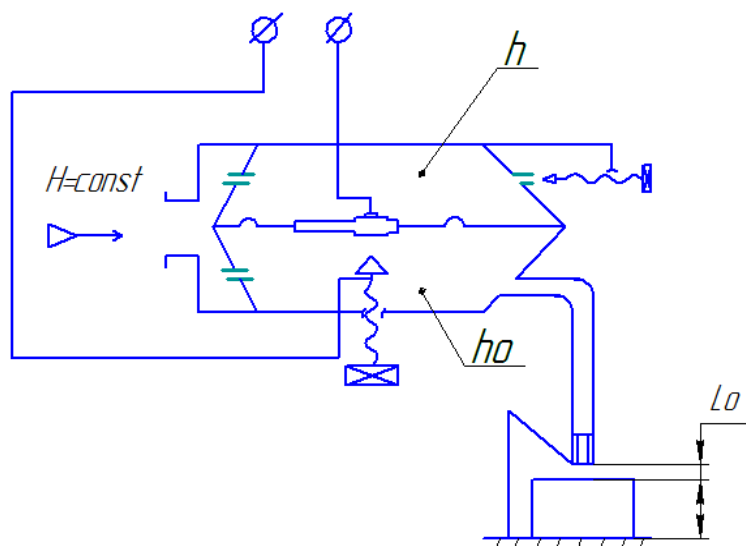


Рисунок 7.11 – Схема диференціального ПЕКВП з мембраною

Мембрана, яка защемлена по периферії в корпусі, утворює з корпусом дві вимірювальні камери. На мембрані закріплено рухомий електричний контакт, напроти якого розташовано нерухомий контакт, запресований в торець регулювального гвинта. Обидві гілки пневматичної схеми починаються вхідними соплами в корпусі перетворювача. На виході однієї вимірювальної камери встановлюється вентиль протитиску, а друга з'єднується з вимірювальним соплом. Принцип роботи в цьому випадку аналогічний описаному вище принципу сильфонного перетворювача. Похибка спрацьовування такого перетворювача не перевищує часток мікрометра.

### Фотоелектричні вимірювальні перетворювачі (ФЕВП)

Багатограничні пристрої з фотоелектричними ВП застосовуються переважно для багатодіапазонного сортування (до 50 груп).

Конструктивну схему такого пристрою показано на рис. 7.12.

Світловий промінь, відбитий рухомим джерелом округленої стрічки, освітлює один з фоторезисторів, розташованих по ходу проміння. Світлова комутація окремих фоторезисторів залежно від контрольованого розміру та змінення положення дзеркала використовується для отримання вихідних сигналів. Кількість розмірних сортувальних груп визначається кількістю фоторезисторів. Команди фотоелектричних перетворювачів формують за допомогою електричних схем двох видів: із безпосереднім підключенням електромагнітних реле до фоторезисторів або через підсилювач.



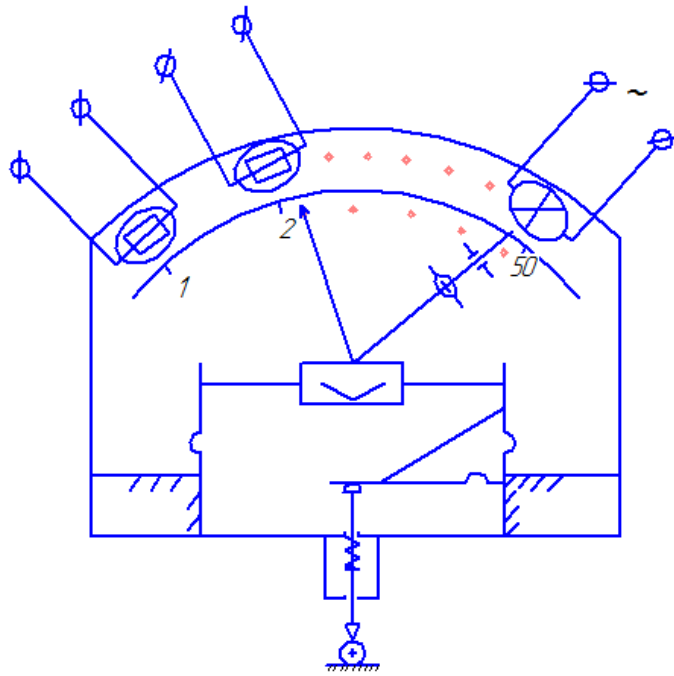


Рисунок 7.12 – Конструктивна схема фотоелектричного ВП

Похибка спрацьовування ФП –  $\Delta_{сер} = (0,3 \dots 1)$  мкм.

Змінення налагодження –  $\Delta_{зм} = (0,25 \dots 1)$  мкм.

Налагодження багатограничних ФП полягає в установленні всього перетворювача на спрацьовування за однією границею.

### 7.7 Активний контроль з автоматичним регулюванням

Активний контроль розмірів переважно відповідає поняттю «регулювання розмірів». У тому і іншому випадку за допомогою чутливих елементів – вимірювальних приладів – значення деяких, за винятком автоматичного розбракування або сортування за допомогою пристроїв, вбудованих в технологічний процес, носить активний характер, але далеко не кожен різновид такого контролю можливо віднести до **регулювання**.

Активний контроль розмірів може здійснюватися не тільки як регулювання, але і як керування розмірами.

На рис. 7.13 показано схеми регулювання та керування.

Отже, для систем автоматичного регулювання характерною є наявність зворотного зв'язку. Таким чином, системи регулювання є замкненими, а системи керування – розімкненими.

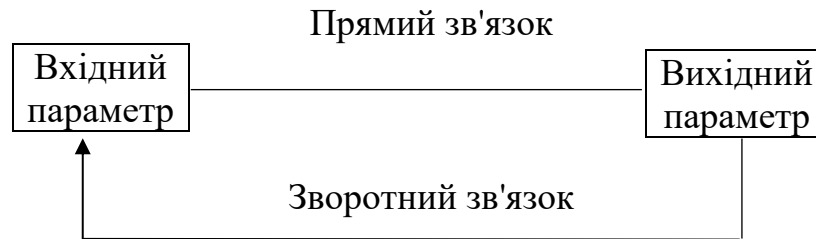


Рисунок 7.13 – Схеми автоматичного регулювання та керування

Системи автоматичного регулювання мають плавну характеристику, а більшість існуючих засобів активного контролю спрацьовує у випадку узгодження поточного значення контрольованого параметра із заданим, тобто мають дискретну характеристику. Системи плавного регулювання, в принципі, є більш точними порівняно із системами дискретного регулювання.

Точність систем автоматичного регулювання визначається динамічними похибками та силами тертя, що витікає із основного рівняння руху систем автоматичного регулювання:

$$I \frac{d\omega}{dt} = M_p - M_0, \quad (7.6)$$

де  $I$  – момент інерції, приведений до вала двигуна;

$\omega$  – кутова швидкість;

$M_p$  – рушійний момент;

$M_0$  – момент сили тертя.

Особливі умови роботи засобів активного контролю, пов'язані з вібраціями верстатів та контролювальних деталей, наявністю охолоджувальної рідини, абразивного типу стружки як в навколишньому середовищі, так і на контрольованій поверхні; а також пов'язані із силовими та температурними деформаціями розмірних технологічних та метрологічних ланцюжків висувають такі вимоги до конструкцій цих засобів:

- 1) стійкість проти вологи, абразивного типу стружки;
- 2) вібростійкість – забезпечення високої точності в умовах вібрацій;
- 3) надійність роботи в заданих межах точності;
- 4) максимальне виключення у вимірювальному засобі силових та температурних деформацій розмірного технологічного ланцюжка на результати контролю;
- 5) видавання певної кількості команд верстату.

Стійкість приладу проти вологи, абразивного пилу, стружки досягається герметизацією механізмів та пристроїв приладу. Те саме роблять у разі використання електроконтактних, індуктивних,

фотоелектричних приладів, а також механізмів, які мають пари зовнішнього тертя.

Застосування пневматичних перетворювачів, а також механізмів, де як опори, шарніри використано плоскі пружини, виключає необхідність конструктивної розробки герметизації приладу.

Пневматичні вимірювальні схеми, які характеризуються досить високою інерційністю, не потребують також додаткових віброгасних пристроїв.

Електроконтактні ВП громіздкі, дуже чутливі до вібрацій, що викликає необхідність створення нових демфувальних пристроїв, підвищення вимірювальних зусиль до 15-20 Н.

Забезпечення надійності роботи приладу в заданих межах точності здійснюється виконанням в конструкції принципу Аббе, максимально можливого зменшення ланок вимірювального ланцюжка та відмови від пар із зовнішнім тертям.

Під час активного контролю вимірювальні наконечники дотикаються в процесі вимірювання до поверхні деталі, яка рухається і яка майже завжди знаходиться у струмені або покрита плівкою змащувально-охолоджувальної рідини, часто насиченої абразивом. Тому необхідними є спеціальні заходи для зменшення або виключення зношення цих наконечників. Це досягається застосуванням алмазів, твердого сплаву для їх виготовлення або безконтактного способу вимірювання. Зношення вимірювальних наконечників, які виготовлені з твердого сплаву, становить за зміну 2–4 мкм за зовнішнього шліфування та 4–8 мкм за внутрішнього. За такий самий час алмазні наконечники зношуються всього на 0,1–0,3 мкм.

З метою виключення впливів температурних та силових деформацій розмірного технологічного ланцюжка на результати контролю конструкція вимірювального пристрою має забезпечувати стабільність положення лінії вимірювання відносно контрольованої деталі незалежно від цих деформацій, особливо за контролю великих розмірів. В останньому випадку необхідно передбачати пристрої для автоматичної компенсації температурних похибок.

З метою підвищення точності обробки на верстатах необхідно намагатися підтримувати постійність температури охолоджувальної рідини гідросистеми верстата, постійність сил різання (чому сприяє регулярна правка круга, однорідність матеріалу заготовки, відповідний матеріал круга).

Для високоточного контролю в процесі обробки значне поширення отримують пневматичні прилади, які більш повно задовольняють перераховані вище вимоги.

Індуктивні прилади характеризуються майже такими перевагами, як і пневматичні: нечутливість до вібрацій, невеликі габаритні розміри, можливість застосування дистанційної шкали. Однак конструктивно вони більш складні і потребують кваліфікованого обслуговування.

Необхідно, щоб верстати, які оснащені засобами активного контролю, мали спеціальні пристрої для автоматичного змінення режимів обробки у міру надходження команд від приладу.

Велике значення має правильна геометрична форма заготовок. За малих допусків на обробку вимоги до верстата відносно забезпечення правильної форми виробів мають бути підвищеними.

Розглянемо декілька прикладів засобів активного контролю, які відносяться до систем автоматичного регулювання.

#### Приклад 1.

Деталь 1 (рис. 7.14), яка встановлена в центрах круглошліфувального верстата, в процесі шліфування контролюється скобою 2 вимірювального пристрою. Зміна розміру в процесі обробки сприймається датчиком 3 та перетворюється в ньому на електричний сигнал, який підсилюється у командно-сигнальному пульта 4 та перетворюється у команду реагування механізмом 5 поперечних подач та рухом бабки 6 шліфувального круга 7.

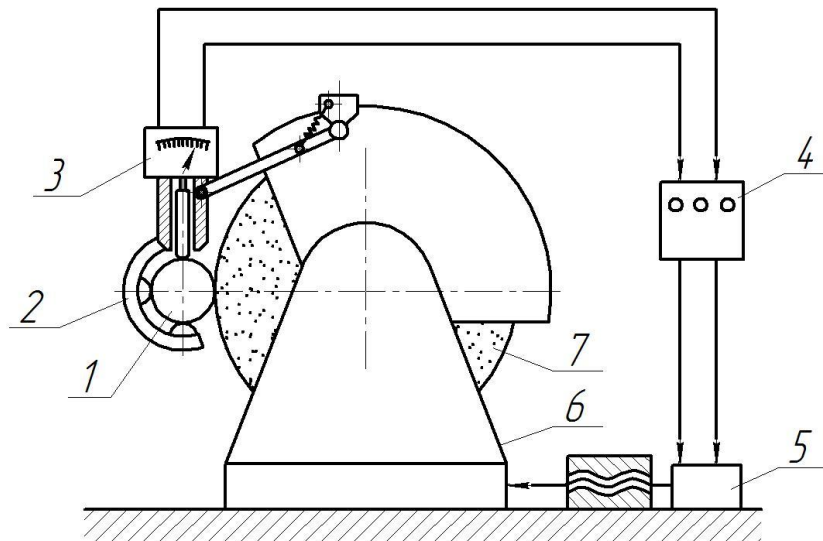


Рисунок 7.14 – Схема активного автоматичного контролю в процесі обробки

#### Приклад 2.

Плоскошліфовані деталі 8 під час обертання круглого столу верстата потрапляють під вимірювальний пристрій 7 (рис. 7.15), наконечник-щуп якого контактує з обробленою поверхнею. У міру зношення шліфувального круга 9 розміри деталей по висоті будуть поступово зменшуватися і за досягнення розміру, який дорівнює або перевищує підналадочний, вимірювальний пристрій 7 видає сигнал-команду на підналадку верстата. Сигнал проходить через підсилювач 6 і надходить на електродвигун 5, який через редуктор 4 та конічну пару зубчастих коліс 3 повертає гвинт 2 шліфувальної бабки 1, викликаючи її переміщення у необхідних межах. Величина переміщення шліфувальної бабки

визначається часом обертання електродвигуна підналадки, який задає реле часу. Швидкість переміщення шліфувальної бабки може змінюватися від 0,05 до 0,2 мм/хв (за допомогою змінних шестерен редуктора подачі), що забезпечує необхідний підналадочний імпульс.

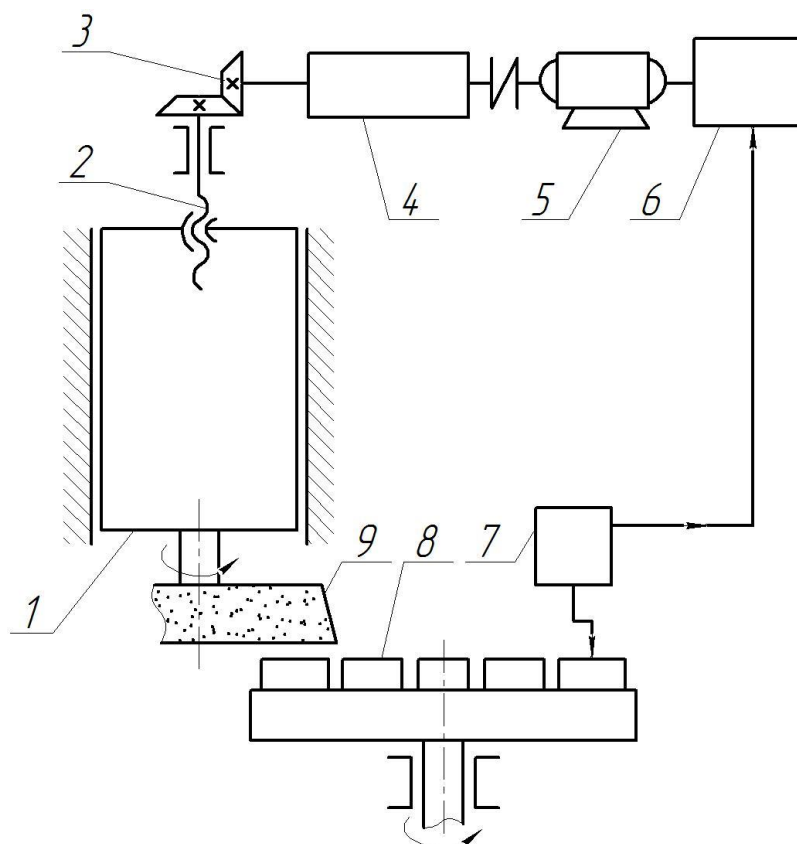


Рисунок 7.15 – Принципова схема активного контролю з підналадкою плоскошліфувального верстата моделі 3772Б

### Приклад 3.

Принципові схеми активного контролю для внутрішньошліфувальних верстатів, які базуються на прямих методах, зображено на рис. 7.16 та рис. 7.17.

У випадку контролю жорсткими калібрами (рис. 7.16) ступінчастий жорсткий калібр 1 розміщують перед оброблюваною деталлю 2, яка встановлена у затискному пристосуванні внутрішньошліфувального верстата. Калібр зв'язаний з бабкою 3 верстата і під час кожного її подвійного ходу підводиться до контрольованого отвору деталі. За досягнення отвором заданого розміру стержень калібру входить до перевірюваного отвору, спрацьовують контакти (або інший пристрій) первинного перетворювача і подається відповідний сигнал-команда виконавчим органам верстата. Залежно від розмірів ступенів жорсткого калібру можуть подаватися команди на змінення подачі з чорнової на чистову і на зупинення верстата.

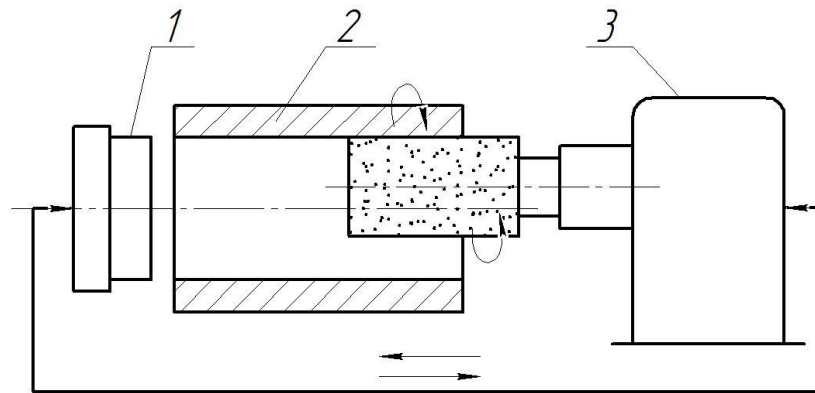


Рисунок 7.16 – Активний контроль із застосуванням жорсткого калібру

Схему активного контролю з одноконтактним пристроєм показано на рис. 7.17.

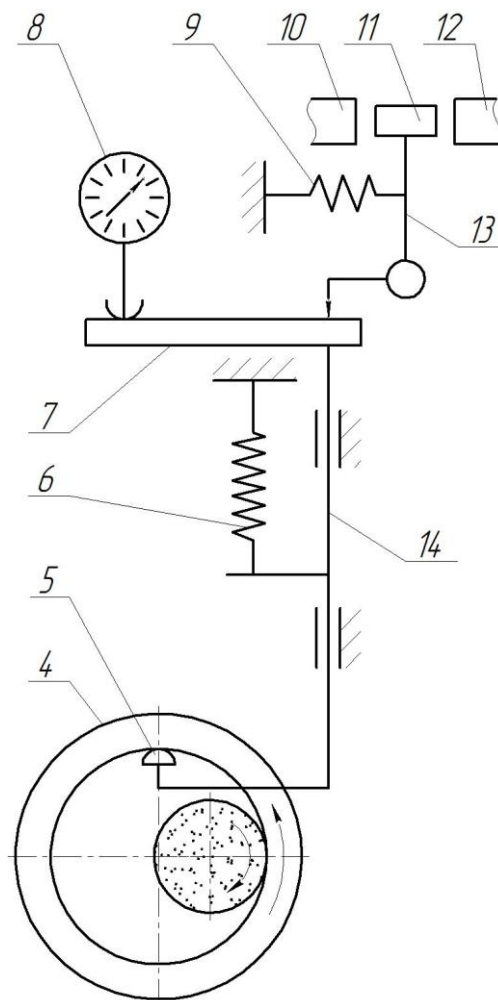


Рисунок 7.17 – Схема активного контролю з одноконтактним пристроєм

У міру зняття припуску внутрішній діаметр отвору оброблюваної деталі 4 буде збільшуватися і вимірювальний наконечник 5 разом зі штоком 14 буде підійматися догори і повертати важель 13, в зв'язку з чим його контакт 11 спочатку розімкнеться з контактом 10, а потім замкне контакт 12. Це призведе до подачі сигнал-команди на перемикання або

вимкнення подачі. Одночасно подаються відповідні сигнали на світлове табло, на якому вмикаються лампочки різного кольору. Візуальне спостереження за ходом процесу шліфування можна вести за вимірювальною голівкою 8, на вимірювальний стержень якої переміщення штоку 14 передаються за допомогою планки 7. Вимірювальне зусилля створюється пружиною 6.

Приклад 4.

На рис. 7.18 показано принципову схему вимірювального пристрою для контролю деталей діаметром до 10000 мм.

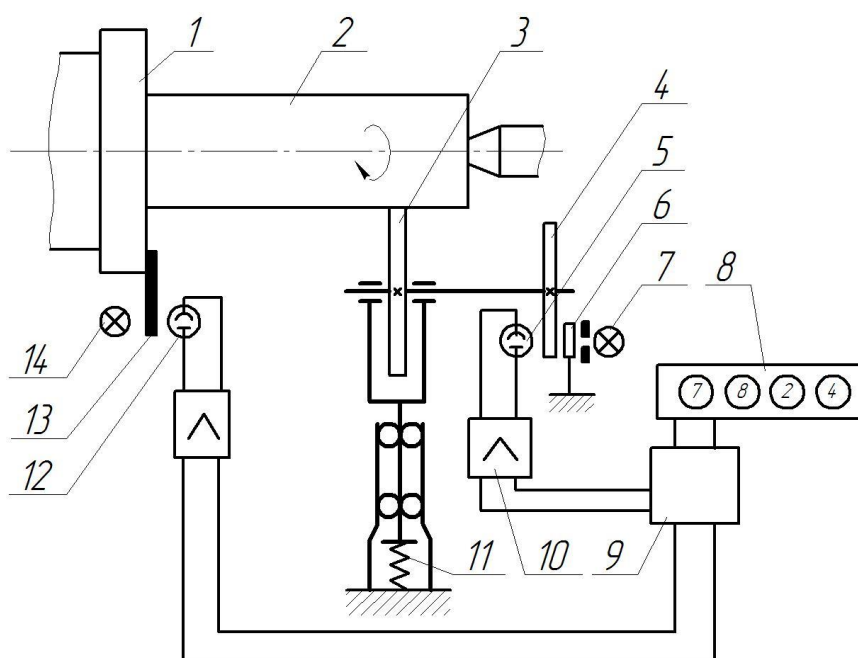


Рисунок 7.18 – Принципова схема пристрою для контролю діаметрального розміру

До поверхні контрольованої деталі 2 притискається диск 3 діаметром 100 мм. На одній осі з диском 3 встановлено скляний диск 4 з 10 тисячами радіальних поділок. Паралельно диску 4 на основі закріплено скляну шкалу 6 з 25 поділками з тим самим кроком, що і на диску. Шкала 6 і диск 4 освітлюються через діафрагму лампочкою 7. Напроти лампочки 7 з іншого боку диска 4 розташовано фотодіод 5. Шкалу 6 повернуто таким чином, що її штрихи перетинаються зі штрихами диска 4 під невеликим кутом. Завдяки цьому під час обертання диска 4 разом з вимірювальним диском 3 утворюється чітка растрова картина темних та світлих смужок, що чергуються між собою, на які реагує фотодіод 5. Електричні імпульси від фотодіода надходять до підсилювача 10, який для виключення зовнішніх наводок розташований безпосередньо у вимірювальному пристрої. Від підсилювача імпульси надходять в лічильну схему 9 відлікового пристрою 8. Вимірювання діаметра і облік імпульсів

здійснюється за строго встановлену кількість обертів деталі. Для обліку кількості обертів деталі та видачі команди на початок і кінець вимірювання також використовується безконтактний фотоелектричний перетворювач. На станині закріплюється освітлювальна лампочка 14 та фотодіод 12, розташований напроти лампочки. На периферії планшайби 1 встановлюється засувка 13, яка проходить під час обертання планшайби між лампочкою та фотодіодом. В цей момент до лічильної схеми надходить командний сигнал на початок (кінець) обліку імпульсів. Фотоелектричний перетворювач забезпечує високу точність відліку оберта деталі завдяки тому, що він розташований на великій відстані (1–2 м) від центра планшайби.

Вимірювання діаметра здійснюється таким чином. Вимірювальний диск 3 за допомогою підсувного пристрою доводиться до контакту з поверхнею деталі 2, яка обертається, і притискається до неї пружиною 11 з тарувальним зусиллям 105 Н. Диск починає обертатися без проковзування. На відліковому пристрої натискають кнопку «Скидання», і схема приводиться у вихідне положення. Після надходження командного сигналу від лічильника обертів деталі починається відлік імпульсів, які надходять з фотоперетворювача вимірювального пристрою. Відлік імпульсів припиняється за командою лічильника обертів деталі через один або п'ять її обертів. На декатронах відлікового пристрою фіксується діаметр контролюємої деталі.

### **Питання для самопідготовки**

1. Охарактеризувати засоби пасивного контролю.
2. Охарактеризувати засоби активного контролю.
3. Для чого застосовуються механізовані засоби контролю?
4. Що називається вимірювальною системою, вимірювальним приладом, вимірювальним перетворювачем?
5. Як класифікуються засоби активного контролю залежно від їх місця в технологічному процесі?
6. Що називається автопідналадчиком? Контрольно-блокувальним пристроєм? Захисно-блокувальним пристроєм? Дати характеристику цих пристроїв.
7. В яких операціях найбільш часто використовуються засоби активного контролю?
8. Які методи вимірювань найбільш поширені за користування засобами активного контролю?
9. Який – прямий чи непрямий – методи вимірювання найчастіше використовуються засобами активного контролю?
10. В чому полягає принцип дії індуктивних вимірювальних перетворювачів (ІВП)? Навести схеми простих перетворювачів цього типу та їх статичні характеристики.



11. Охарактеризувати диференціальний ІВП.
12. Охарактеризувати електронний ВП (мехатрон).
13. Охарактеризувати пневматичні вимірювальні перетворювачі (ПВП).
14. На чому базується ємнісний метод вимірювання?
15. Які види ємнісного методу вимірювання існують в практиці? Дати характеристику кожного виду.
16. Що являє собою пневмоелектроконтактний вимірювальний перетворювач (ПЕКВП)? Його статична характеристика.
17. Які існують різновиди ПЕКВП? Дати їх характеристику.
18. Як розрізняються за сигналом-командою електроконтактні вимірювальні пристрої (ЕКВП)? Принцип їх роботи, рекомендації до застосування.
19. Як розрізняються за конструкцією ЕКВП? Дати характеристику, вказати переваги і недоліки в їх застосуванні.
20. В чому полягає принцип роботи фотоелектричного вимірювального перетворювача (ФЕВП)?
21. Суть активного контролю з автоматичним регулюванням.
22. Вимоги до конструкції засобів активного контролю та умов їх експлуатації.
23. Охарактеризувати схему активного контролю в процесі обробки деталі на круглошліфувальному верстаті.
24. Охарактеризувати принципову схему активного контролю з підналадкою плоскошліфувального верстата.
25. Охарактеризувати схему активного контролю із застосуванням жорсткого калібру.
26. Охарактеризувати схему активного контролю з одноконтактним пристроєм.
27. Охарактеризувати схему вимірювального пристрою для контролю діаметрального розміру.

## Тема 8

# КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦІЯ ШИРОКОНОМЕНКЛАТУРНОГО ВИРОБНИЦТВА

### 8.1 Експлуатація ГВС

Основна задача організації експлуатації ГВС – максимальне збільшення коефіцієнтів використання та завантаження обладнання за умови виготовлення деталей у вигляді складальних комплектів. Стосовно ГВС ці показники знаходять особливо важливе значення, оскільки обладнання ГВС характеризується високою вартістю та продуктивністю і кожна хвилина його простоювання пов'язана з великими матеріальними витратами.

Особливістю організації раціональної експлуатації верстатів ГВС є використання автоматизованих систем керування (АСК), які здійснюють такі функції: підготовка виробництва; керування виробництвом; диспетчеризація; розподілення заготовок між верстатами; діагностування технічного стану обладнання та інструментів, прийняття заходів щодо усунення виникаючих відмов і т. д. У вирішенні вказаних задач важливу роль відіграють системи керування нижнього рівня, тобто ПЧПК, які керують верстатами, транспортно-накопичувальними пристроями та ін. Зокрема, ПЧПК верстатами виконують такі функції:

- автоматична компенсація похибок положення вузлів верстата;
- автоматичне регулювання режимів різання (так зване адаптивне керування);
- вимірювання заготовок та оброблених деталей;
- автоматичний контроль стану та положення інструменту;
- автоматичне вимірювання розмірів і положення інструменту з наступною компенсацією положення його різальної кромки;
- автоматичне керування точністю обробки;
- автоматичне діагностування технічного стану обладнання.

#### 8.1.1 Організація постачання заготовками

Постачання ГВС заготовками має велике значення для раціональної її роботи. Запас заготовок має бути таким, щоб забезпечити максимальне завантаження обладнання, зокрема, працюючого в режимі «безлюдної технології».

Якщо деталь оброблюється на декількох верстатах, то зупинення будь-якого з верстатів з причини відсутності заготовок обумовлюють зупинення всіх верстатів, які розташовані в послідовності технологічного процесу. В той самий час наявність заготовок в приверстатних накопичувачах дозволяє не зупиняти виробництво деталей. Запас заготовок у

накопичувальній системі ГВС залежить від ряду організаційно-технічних причин і передусім від надійності роботи обладнання.

Чим надійніші верстати, тим менші необхідні міжопераційні заділи заготовок. Під час створення ГВС намагаються, щоб фактична продуктивність верстатів, які виконують різні операції, була однаковою, не допускаючи простоювань верстатів.

В широкономенклатурному виробництві запас заготовок по кількості та по ширині діапазону найменувань більший, ніж в однономенклатурному виробництві.

Забезпечення заготовок у ГВС організовується такими способами:

- за допомогою центрального складу заготовок і готових деталей;
- за допомогою автоматичних приверстатних складів;
- комбінацією вищезазначених способів.

Потрібно відмітити, що наявність запасу заготовок безпосередньо на дільниці призводить до збільшення незавершеного виробництва.

Оптимальним є запас заготовок, який забезпечує роботу обладнання ГВС протягом від 0,5 до 2 змін. Найбільш раціональним належить вважати таку організацію експлуатації ГВС, коли заготовки після виконання однієї технологічної операції надходять зразу ж на іншу, а остаточно оброблені деталі становлять складальний комплект і надходять на складання, оминаючи різні склади та налаштування. Наявність у ГВС системи оперативного-виробничого планування дозволяє мінімізувати запаси заготовок, що забезпечує виробництво необхідною продукцією у необхідний час і у необхідній кількості. Водночас велике значення приділяється вирішенню таких трьох взаємопов'язаних допоміжних задач:

1) контролю продукції, яка виготовляється, що забезпечує обмін даних та місячних коливань кількості та номенклатури продукції;

2) гарантування якості продукції, яке передбачає, що кожний попередній процес обробки та складання постачає на наступні технологічні операції продукцію тільки заданої якості;

3) забезпечення умовами роботи максимальної продуктивності праці.

### **8.1.2 Організація забезпечення інструментом**

Організація забезпеченням інструментом передбачає постачання до верстатів комплекту різального та допоміжного інструменту у разі зміни об'єкта виробництва.

Інструментальні магазини більшості верстатів з ЧПК, які входять до складу ГВС, мають обмежену міцність, тому запаси інструментів бувають недостатніми для послідовної обробки декількох різних деталей.

Типові магазини інструментів багатоцільових верстатів з ЧПК мають 12–60 інструментів (в особливих випадках до 100). За кількості інструментів менше за 12 застосовують револьверні головки (детальніше – у лекційному курсі).

Обмежена місткість інструментальних магазинів призводить до необхідності зміни інструмента в процесі обробки групи деталей або особливо складної деталі. В ГВС необхідна заміна як окремих інструментів, так і інструментальних блоків (у міру їх зношення). Ручна заміна інструмента в магазині нерентабельна, тому що призводить до простоювання дороговартісного обладнання, і вказану операцію звичайно здійснюють у автоматичному режимі.

Технічні засоби, які реалізують автоматичний рух інструментального потоку, виконують такі функції:

- зберігання заданої номенклатури і потрібної кількості інструментів;
- транспортування інструментів до верстатів та подача їх до шпинделя.

Інструментальні потоки можуть бути **централізованими, автоматичними та комбінованими**. Централізовані інструментальні потоки реалізуються в ГВС спеціальним конвеєром інструментів (або конвеєром заготовок, на якому передбачено тари під інструмент). У випадку постачання з єдиного інструментального магазину можуть виникати простоювання верстатів з причини очікування інструмента, зайнятого в цей момент на іншому верстаті. Для скорочення таких простоювань використовуються **інструменти-дублери**, кількість, номенклатура та розташування яких визначають шляхом моделювання роботи ГВС на ЕОМ. За наявності автоматичних інструментальних магазинів простоювання з причини очікування інструмента практично відсутні, але збільшується кількість однакових інструментів, які експлуатуються в ГВС. Комбінований інструментальний потік містить елементи як централізованого, так і автономного потоків.

Для вибору оптимального варіанта інструментального потоку в ГВС необхідно знати: час роботи кожного інструмента та його стійкість, час простоювання верстатів (зокрема з причини очікування інструментів); матеріальні витрати на інструмент; технічні засоби його постачання та зберігання; час переключення у разі переходу до обробки іншої партії деталей та ін. Виріб оптимального варіанта інструментального потоку здійснюється за допомогою ЕОМ.

Загальна потреба в інструменті визначається кількістю інструмента, необхідного для здійснення автоматичного циклу обробки, заміни зношеного інструмента та заміни відмовившого. Кількість інструментів для обробки партії деталей визначається кількістю різних інструментів, необхідних для поопераційної обробки кожної деталі (причому кожний інструмент обліковується тільки один раз).

Кількість інструментів, необхідних для заміни зношених, визначається розрахунковим шляхом з врахуванням їх стійкості.

Кількість інструментів, необхідних для заміни відмовивших, визначають з врахуванням їх надійності та необхідності інструментів-дублерів.

Чим ширша номенклатура оброблюваних у ГВС виробів і чим менша кількість деталей в партії (тобто чим більша гнучкість виробництва), тим більше потрібно інструменту і ширша його номенклатура.

Комплект інструментального оснащення, призначений для конкретної ГВС, виходить вельми значним. Наприклад, для ГВС моделі АСК-10 такий комплект містить до 280 найменувань різального та допоміжного інструмента.

Досвід експлуатації ГВС показує, що до обладнання необхідно подавати тільки заздалегідь заточений і налагоджений на розмір різальний інструмент, а це потребує значних витрат часу. З метою скорочення часу на підготовку на багатьох заводах у складі ГВС (або окремо) створено спеціальні дільниці комплектації і налагодження інструментів на розмір.

З метою комплексного матеріального забезпечення верстатів доцільно одночасно з інструментом подавати на верстати заготовки, оснащення та керівні програми.

Комплект інструментів для обробки певної деталі збирається згідно з інструментальною картою. В ній у скороченій формі записано найменування інструментів і дано основні параметри для складання кожної інструментальної налагодки комплекта, узгоджено з програмним аркушем обробки деталі.

Приклад дільниці комплектації та налагодження інструментів наводиться нижче на рис. 8.1.

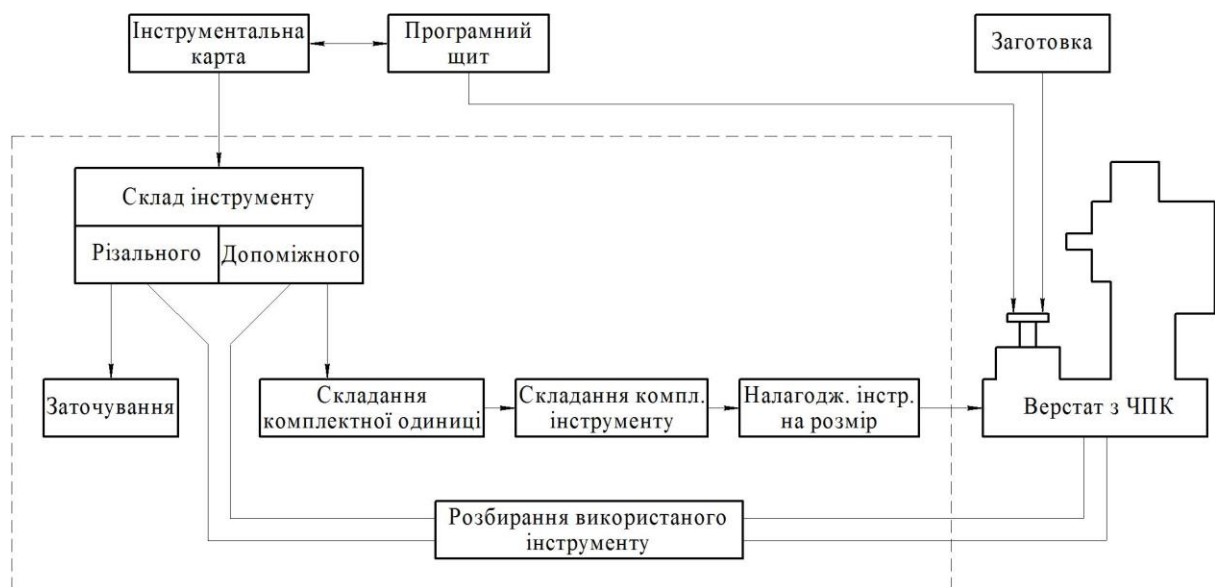


Рисунок 8.1 – Дільниця комплектації та налагодження інструментів

### 8.1.3 Автоматичний контроль заготовок та готових виробів

Для раціональної організації експлуатації ГВС, які складаються з верстатів з ЧПК, суттєве значення має автоматизація контрольно-вимірювальних та регулювальних операцій.

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

Контроль першого виду спрямований насамперед на забезпечення роботи обладнання попереднім обміром заготовок, оскільки заготовки з підвищеним припуском можуть викликати поломки інструментів.

Контроль другого виду призначений для попередження браку в процесі обробки. За даними вимірювання видаються команди на корекцію керівної програми.

Контроль третього виду передбачено, здебільшого, для гарантії якості готової продукції. Однак в разі випадків за даними післяопераційного контролю подаються команди на підналагодження обладнання, які використовують під час обробки наступних деталей партії.

Найбільш важливим є контроль другого виду, оскільки він реалізує більшість повірочних функцій і дозволяє у випадку необхідності оперативно втручатися в процес обробки.

Технічні засоби, які застосовуються для здійснення контролю заготовок та оброблених деталей, різноманітні. Процес вимірювання може бути основний на використанні спеціальних стаціонарних та переносних пристосувань з механічними, оптичними, електричними, пневматичними, індуктивними та іншими датчиками. Системи автоматичного контролю на верстаті мають зворотний зв'язок із системою ЧПК і за необхідності дають сигнал на корекцію положення різального інструмента. Існують системи контролю, які функціонують у разі зупинки верстата та здійснюють замір оброблюваної деталі універсальними засобами або на самому верстаті, або поза верстатом.

Серед технічних засобів контролю деталі на верстатах з ЧПК детально широко використовуються вимірювальні головки (щупи), які встановлюються в одну з позицій інструментального магазину верстата. Щуп за програмою, яка задається системою ЧПК верстату, перевіряє перед обробкою точність встановлення заготовок до пристосування-супутника та супутника на столі багатоцільового свердлильно-фрезерно-розточувального верстата. Для вимірювання точних деталей поза верстатом, а також деталей середніх та великих габаритів широко використовується координатно-вимірювальні машини (КВМ), які можуть входити до складу ГВС або розташовуватися окремо, але керуватися єдиною ЕОМ верхнього рівня. Звичайно КВМ виготовляють з врахуванням їх можливості вбудування в ГВС. Для автоматичного вимірювання оброблюваних деталей необхідна спеціальна транспортна система, яка з'єднує ГВС та КВМ. Водночас в конструкції КВМ має бути передбачено пристосування для автоматичного прийому та затискання палети з деталлю (або деталі). Для вимірювання використовують комплект щупів різної конструкції, кожний з яких дає найменшу похибку під час вимірювання відповідної поверхні. Керування переміщенням вимірювальної бабки зі

щупом здійснюється від ПЧПК КВМ. Дані вимірювань на КВМ використовуються під час організації виробничого процесу на ГВС.

Організація вимірювання великогабаритних деталей має ряд особливостей. Головне в тому, що внаслідок складності, великої вартості та трудомісткості обробки таких деталей можливі дефекти потрібно виявляти не на вже готовій деталі, а попереджати це заздалегідь. Тому подібні деталі необхідно вимірювати безпосередньо на обробному верстаті. Однак, в цьому випадку під час виконання контрольно-вимірювальних операцій простоє дороговартісне обладнання, тому критерієм вибору місця виконання таких операцій (на верстаті або поза верстатом) має бути економічно обґрунтованим.

У великосерійному виробництві все більшого поширення отримує автоматичне керування точністю обробки. Головним тут є створення алгоритмів автоматичного визначення коректувальних поправок на відносні переміщення інструмента та деталі. Розроблено і доведено до практичної реалізації алгоритми керування точністю, згідно з якими керівна програма коректується для виготовлення наступних деталей партії за результатами вимірювання похибок обробки попередніх деталей.

Під час обробки точних отворів доцільним є використовувати принцип пробного різання з наступним підналагодженням інструмента. У такому разі за результатом вимірювання деталі після пробного різання розраховуються розмір інструмента та очікувані похибки обробки, а у КЛ автоматично вводиться відповідна корекція.

#### **8.1.4 Контроль стану різального інструмента**

На точність деталі суттєво впливає стан різального інструмента. Контроль стану різального інструмента здійснюється різними способами, зокрема основаними на використанні прямих та непрямих методів оцінення фактичного стану інструмента. У табл. 8.1 наведено узагальнену класифікацію способів контролю стану різального інструмента за різними параметрами.

Під час обробки контролюють: параметри процесу різання, які функціонально залежать від значення інструмента (наприклад, сила струму двигуна, потужність привода головного руху); період стійкості інструмента; силу різання (за допомогою спеціальних підшипників, які оснащені тензовимірювальними датчиками) та ін.

До і після обробки ідентифікують за допомогою поворотних щупів оптичними і іншими способами стан вимірюваного інструмента. Використовуються також комбінації вказаних видів контролю.

Таблиця 8.1 – Класифікація способів контролю стану різального інструмента

Об'єкт контролю	Контрольований параметр
Різальний інструмент	Ширина стрічки зношення Відстань від вершини інструмента до постійної бази Вібрації Температура
Оброблювана деталь	Лінійні розміри Шорсткість обробленої поверхні Температура
Стружка	Форма Напрямок сходження Температура
Взаємодія різального інструмента зі стружкою та обробленою деталлю	Положення інструмента відносно оброблюваної деталі Тривалість циклу обробки Сили різання Крутний момент, необхідний для обертання обробленої деталі або здійснення процесу різання інструментом Потужність, яка потрібна для різання Вібрації механізмів та вузлів верстата Звукові коливання ЕРС різання (постійна і змінні складові) Електричний опір зоні контакту «інструмент – оброблена деталь»

Спосіб контролю параметрів процесу різання (достатньо універсальний та нескладний в реалізації) придатний тільки для роботи одиничних інструментів. Попередньо для кожного інструмента за фіксованих умов (припуску, твердості оброблювального матеріалу, швидкості різання, подачі) експериментально встановлюють залежність контрольованого параметра від значення інструмента за відповідним критерієм. Під час обробки деталі періодично вимірюють силовий параметр і за отриманою залежністю визначають значення інструмента.

Автоматичне вимірювання розмірів інструмента безпосередньо на верстаті здійснюють прямим або непрямим способом. Датчики дотику дозволяють безпосередньо вимірювати довжину різців, свердел, розгортки та інших інструментів. Для вимірювання багатолезних інструментів (наприклад, діаметра кінцевої фрези або довжини торцевої фрези) доцільно використовувати метод пробного різання, за якого вимірюваним інструментом обробляють невелику ділянку робочої або спеціальної еталонної деталі, а потім вимірюють отриманий розмір і шляхом перерахунку визначають фактичний розмір інструмента.



Ступінь значення інструмента та його цілості перевіряють за допомогою спеціальних підшипників, змонтованих у шпинделі обробного верстата. Задача такого контролю – виявити можливі несправності інструмента та видати команду на встановлення резервного інструмента або зупинення верстата. Значення або поломка різальної кромки інструмента впливає на зусилля різання та струм привода головного руху. Для реєстрації цих параметрів у шпинделі верстата встановлюють спеціальні підшипники, які оснащені тензометричними датчиками. Із зміною зусилля різання змінюється навантаження на підшипники, що сприймається датчиками. Інформація у вигляді відповідного сигналу надходить по з'єднувальному кабелю на підсилювач та пристрій обробки результатів вимірювання, який керується мікропроцесором. Фактичні значення отримуваних сигналів порівнюються з контрольними (заданими), після чого виробляється відповідний сигнал. Якщо фактичні значення навантаження на підшипник не перевищують розрахункових, то критичне значення інструмента не відбулося і його можна експлуатувати далі, а якщо ці навантаження перевищують допустимі, то інструмент зношений і його належить замінити.

Для визначення поломок різального інструмента використовують різні методи. Найбільш простий з них полягає в тому, що інструмент, який перевіряється, (після попереднього виклику підпрограми) встановлюється автоматично до шпинделя верстата і подається на пристрій вимірювання довжини, котрий встановлюється у робочій зоні верстата з ЧПК так, що він займає певне положення відносно заданої (нульової) точки. Потім щупами вимірюється довжина інструмента і отримане значення порівнюється з програмованим – в результаті визначається зламаний інструмент чи ні.

Розроблено алгоритми, які дозволяють визначити в автоматичному режимі стан цілості інструмента. Наприклад, якщо згідно з керівною програмою у певний час має початися врізання інструмента, а за величиною силового параметра видно, що це не відбулось, то робиться висновок про поломку інструмента.

### **8.1.5 Системи технічного діагностування**

Велике значення для раціональної організації експлуатації ГВС має забезпечення верстатів з ЧПК, транспортних пристроїв та іншого обладнання, працюючого у складі ГВС, системами автоматичного діагностування технічного стану. Основне призначення цих систем – запобігання або скорочення простоювань обладнання з причини несправностей. В основу методів технічного діагностування покладено принцип прямого або непрямого контролю відповідного параметра функціонування обладнання. Для діагностування може бути встановлено спеціальні датчики або використано датчики системи керування обладнанням. У багатьох випадках для обробки діагностичної інформації застосовуються ЕОМ.

Основні контрольовані параметри, які використовуються для діагностування та прогнозування технічного стану обладнання, наприклад

вбудованого у гнучку автоматичну лінію (ГАЛ), такі: тривалість циклу; несправності у системі керування обладнанням; стан та заміна інструмента; статистичний аналіз роботи обладнання з причини змінення тривалості циклу.

Для виконання діагностування в автоматичному режимі розроблено різні алгоритми, основною задачею яких є перевірка відповідності дій керівних програм заданого алгоритму. Як робочі ознаки для таких алгоритмів можуть використовуватися нормовані силові навантаження, взаємне розташування інструмента та заготовки за фіксованих режимів різання, тепловий стан елементів верстата, амплітудно-фазові частотні характеристики вузлів та систем. У випадку виявлення невідповідності за заданими контрольними тестами проводиться аналізування, виявляються причини (тобто визначається відмовивший вузол верстата або похибки у системі ВПД) та вживаються відповідні заходи.

Загальну структуру системи автоматичного діагностування несправностей металорізальних верстатів подано на рис. 8.2.

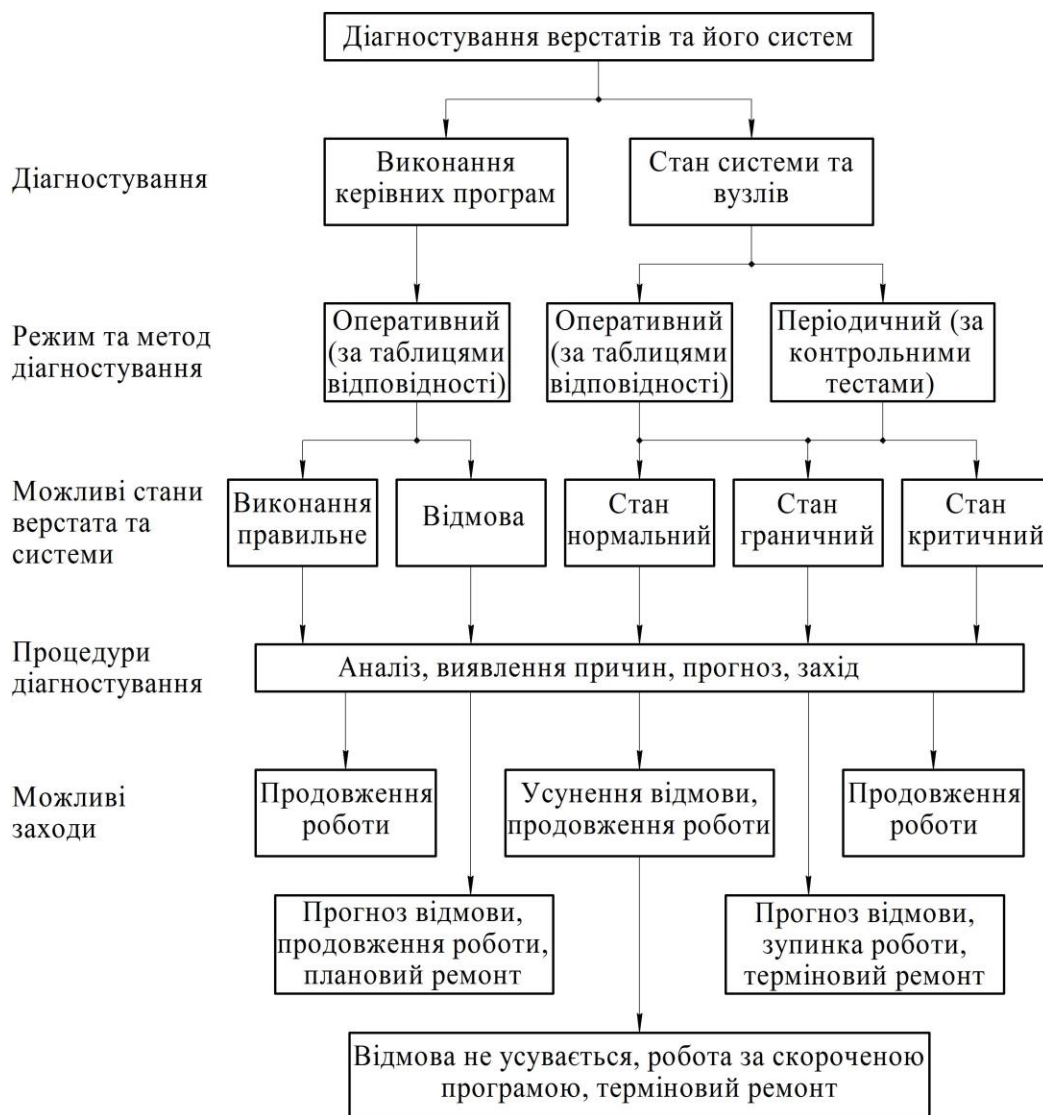


Рисунок 8.2 – Структура системи автоматичного діагностування несправностей

## 8.2 Системи керування ГВС

Характеристикою для ГВС є їх оснащеність автоматизованими системами керування (АСК), побудованими на базі ЕОМ. Основна задача АСК – забезпечити використання ГВС в найбільш раціональному режимі. Обладнання ГВС керується автоматизованою системою забезпечення функціонування технологічного обладнання (АСЗ ФТО), структурну схему якої зображено на рис. 8.3.

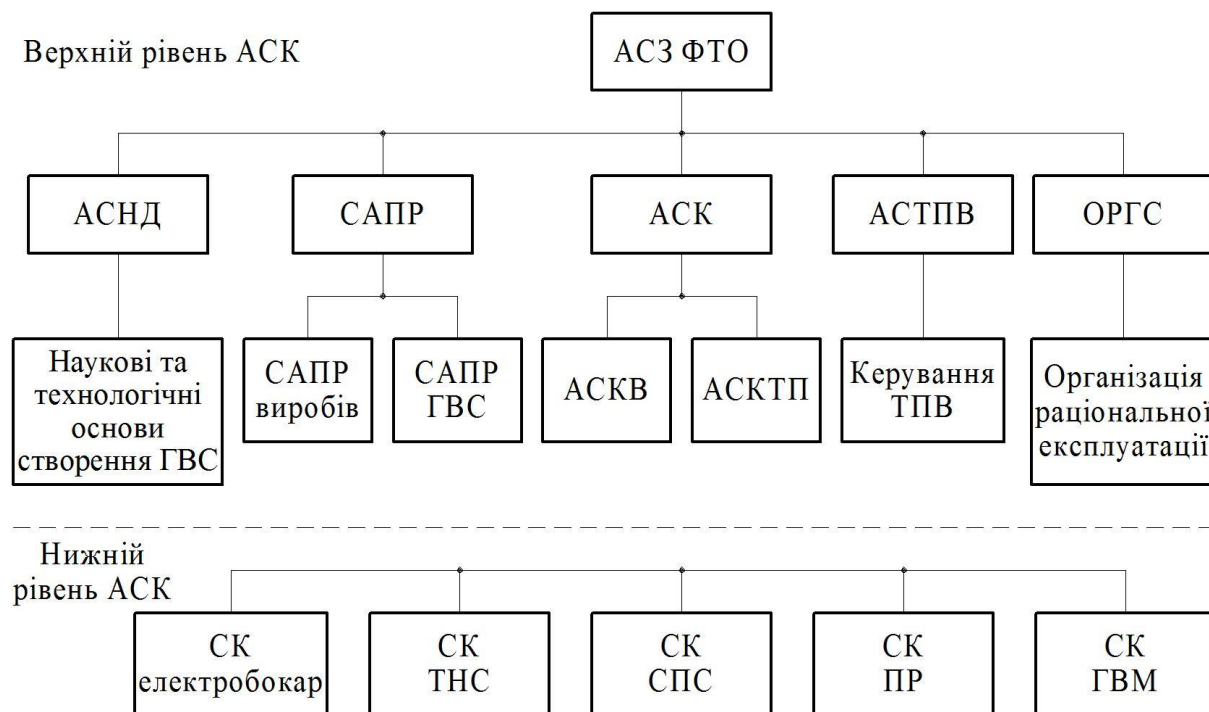


Рисунок 8.3 – Структурна схема АСЗ ФТО:

АСНД – автоматизована система наукових досліджень;

САПР – система автоматизованого проектування;

АСК – автоматизована система керування;

АСТПВ – автоматизована система технологічної підготовки виробництва;

ОРГС – організаційні системи;

АСКВ – автоматизована система керування виробництвом;

АСКТП – автоматизована система керування технологічним процесом;

СК ТНС – система керування транспортно-накопичувальною системою;

СК СПС – система керування стружковидаленням;

СК ПР – система керування промисловими роботами;

СК ГВМ – система керування гнучкими виробничими модулями

Із поданої схеми видно, що система керування ГВС – централізована, дворівнева.

Верхній рівень АСК ГВС реалізується на базі серійних обчислювальних комплексів і забезпечує: контроль, редагування і зберігання керівних програм, формування супроводжувальних технологічних документів, карт налагоджень, оперативно-календарне

планування, облік ходу виробництва (стан обладнання та інструментів, наявність заготовок та ін.); централізоване керування обладнанням.

Нижній рівень АСК забезпечує: безпосереднє керування верстатами; керування транспортно-завантажувальними пристроями.

- Основною задачею автоматизованої системи наукових досліджень (АСНД) є наукове обґрунтування найбільш ефективного шляху створення. ГВС для виробництва конкретних виробів на цьому підприємстві. В такому випадку розробляються та обґрунтовуються: система контролю якості продукції, автоматизованого забезпечення різального та допоміжного інструмента та оснащення, транспортні потоки заготовок, інструментів, оснащення, змінних верстатних вузлів та необхідні їх запаси біля верстатів і на центральному складі, номенклатура та обсяги страхових запасів, принципи забезпечення надійності роботи обладнання та інструментів, методи здійснення діагностування та ін.

- Важливою задачею АСНД є робота програмно-математичного забезпечення (ПМЗ) система керування. Сучасні АСК виконуються на основі на базі ЕОМ, мікропроцесорних ПЧПК та програмованих командо-апаратів (ПК), тобто являють собою програмно-апаратні системи. В таких системах алгоритмічні функції керування (тобто виконання заздалегідь заданих команд) реалізуються шляхом створення відповідного ПМЗ. Чим більш складні функції виконує АСК, тим більш складною є ПМЗ.

- Задачею систем автоматичного проектування (САПР) є проектування як виробів для виготовлення в ГВС, так і конкретних ГВС, обґрунтованих та рекомендованих АСНД. САПР в багатьох випадках виконує також автоматичне проектування технологічного оснащення та різального інструмента. В процесі проектування виробів САПР виконує не тільки автоматизацію роботи конструкторської документації, але і забезпечує їх технологічність для можливості обробки на обладнанні цієї ГВС.

- Велике значення для керування ГВС мають АСКВ та АСКТП. Основні функції АСКВ: календарне та оперативне планування виробництва; облік ходу виробництва. Основні функції АСКТП: диспетчерування та координація роботи обладнання; групове керування роботою основного та допоміжного технологічного обладнання, яке здійснює ЕОМ верхнього рівня (ЕОМ, АСК, ГСВ). Вказана ЕОМ через індивідуальні системи керує ГВМ, ПР, складськими системами, транспортно-накопичувальними системами, самохідними візками та іншим обладнанням.

- Для забезпечення потрібної якості обробки під час експлуатації ГВС у другу та третю зміни в режимі «безлюдної технології» слугують системи автоматичного контролю та автоматичного керування точністю обробки, які формують програму підналагодження, ремонтних впливів та ін. Водночас функція безпосереднього контролю якості звичайно виконує ПЧПК верстата, приверстатного обладнання, а також керує процесом вимірювання; виконує розрахунок корекції та забезпечує їх введення в

програму обробки. Остаточний контроль оброблених деталей здійснюється за допомогою контрольно-вимірювальних машин. Результати вимірювань використовуються для керування якістю обробки.

### **8.3 Приклад організації виробничого процесу в ГВС**

До складу ГВС входять: чотири багатоцільових верстати з ЧПК; автоматизована транспортна система; автоматизований склад; відділення підготовки палет–супутників (ВПС) та інструментальних комплектів (ВІК); центр автоматичної технологічної підготовки виробництва, керівний обчислювальний комплекс (КОК). Останній забезпечує ефективну організацію виробництва, керування в реальному масштабі часу технологічними процесами обробки деталей, автоматизацію отримання інформації про потоковий стан технологічних процесів та про роботу ГВС.

Верхній рівень КОК здійснює оперативно-календарне планування, облік, диспетчерування та керування ходом виробництва; нижній рівень – керування верстатами, транспортною системою та автоматичним складом.

Керування ГВС здійснюється таким чином: змінний інженер (ЗІ), який обслуговує ГВС, отримавши попереднє завдання на наступний місяць, опрацьовує його з врахуванням реальних можливостей і складає графік запуску деталей у виробництво.

Згідно з цим графіком заготовки подаються в автоматизований склад. Інформація про код заготовки, номери необхідної технологічної операції та кількості деталей в партії виводяться на табло 2 (рис. 8.4). За допомогою пульта 1 оператор – наладчик (ОН) замовляє ПС з автоматизованого складу. Після подачі ПС на станцію завантаження (СЗС) замовляє заготовки, які потім встановлює на ПС. Повідомлення про встановлення заготовок на ПС передається до КОК. За командою КОК у відділення підготовки інструментальних комплектів (ВІК) повідомляються терміни підготовки комплекта інструмента для обробки чергової партії деталей та його відправки на станцію завантаження інструмента (СЗІ).

Далі за командою КОК комплект інструмента і заготовки, які розміщені на ПС, доставляються візком-маніпулятором до відповідного верстата, а після їх обробки за командою КОК візок-маніпулятор доставляє готові деталі і інструмент на відповідні станції розвантаження (СРС) деталей і станції розвантаження інструмента (СРІ). Повідомлення про готовність до обробки чергової деталі оператор (ОН) передає до КОК.

Диспетчерський пункт ГВС обладнаний дисплеєм та пристроєм друку, за допомогою яких ЗІ отримує необхідні відомості про роботу дільниці та транспортної системи (ТС), а також планові завдання для всіх підрозділів ГВС.

Загальне керівництво експлуатацією ГВС здійснює змінний інженер, а обслуговує її комплексна бригада, яка складається з операторів-наладчиків, кожний з яких може працювати на верстатах з ЧПК, в

автоматизованому складі, на станціях завантаження – розвантаження деталей та інструментів.

Міжопераційний контроль деталей здійснює оператор-наладчик на місці. Як правило, перевіряють першу, другу та останню деталі партії. Бригадиру комплексної бригади ГВС дано право виконувати остаточний контроль деталей та підписувати накладні на готові деталі.

Організаційну структуру керування такою ГВС наведено на рис. 8.4.

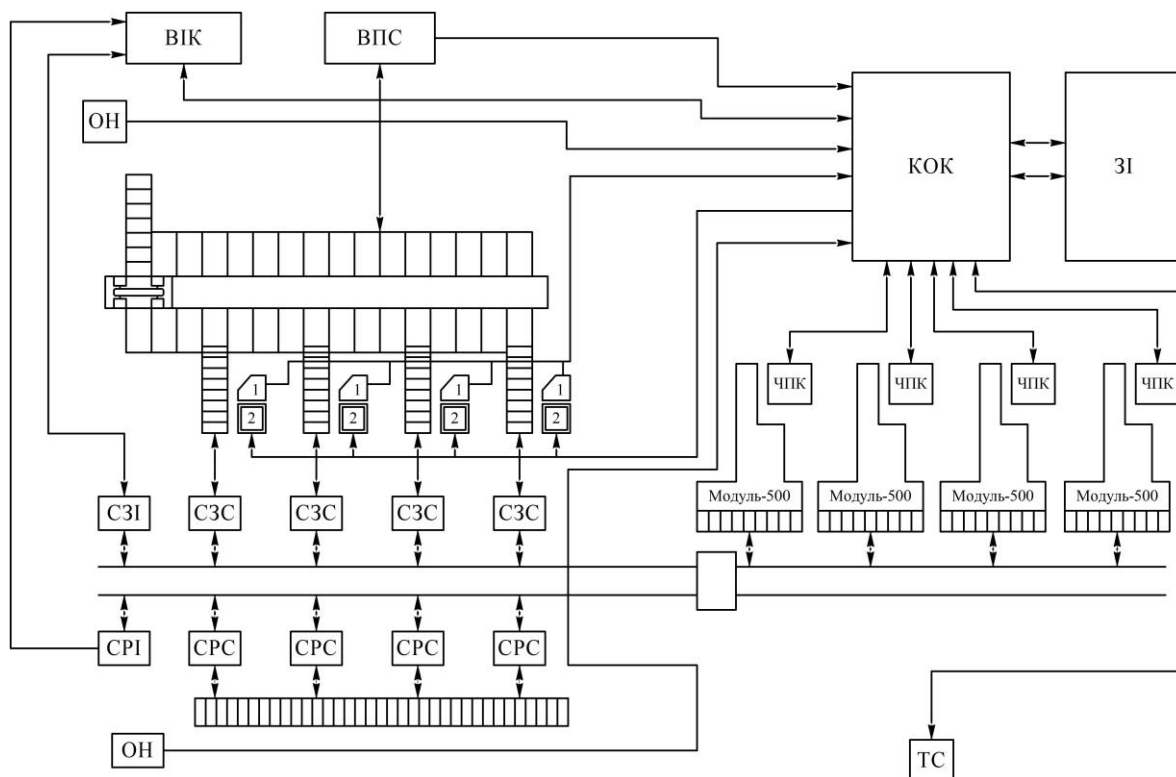


Рисунок 8.4. – Організаційна структура керування ГВС:

ВІК – відділення підготовки інструментальних комплексів;  
 ВПС – відділення підготовки пристосувань-супутників; КОК – керівний обчислювальний комплекс; ЗІ – змінний інженер; ОН – оператор-наладчик; СЗІ – станція завантаження інструмента; СПІ – станція розвантаження інструмента; СЗС – станція завантаження супутників; СПС – станція розвантаження супутників; ТС – транспортна система

### Питання для самопідготовки

1. Що є основною задачею експлуатації ГВС?
2. Які функції виконують автоматизовані системи керування (АСК)?
3. Які функції виконують ПЧПК верстатами?
4. Які необхідні умови потрібно створити у «безлюдному» виробництві для забезпечення беззупинної роботи обладнання?
5. Яким чином організовується забезпечення необхідної кількості заготовок у ГВС?

6. Які допоміжні задачі потрібно вирішувати для зменшення міжопераційних заділів заготовок?
7. В чому полягає організація забезпечення інструментом в умовах ГВС?
8. Функції технічних засобів, які реалізують автоматичний рух інструментального потоку?
9. Які бувають інструментальні потоки? Охарактеризувати їх.
10. Що потрібно знати для вибору оптимального варіанта інструментального потоку?
11. Як визначається загальна потреба в інструменті?
12. Які особливості потрібно враховувати під час організації інструментального забезпечення ГВС?
13. Навести приклад ділянки комплектації та налагодження інструментів.
14. Які види автоматичного контролю оброблюваних деталей застосовуються у ГВС?
15. Які технічні засоби контролю заготовок та оброблених деталей застосовуються у ГВС? Дати їх характеристику.
16. Особливості вимірювання великогабаритних деталей у ГВС.
17. В чому полягає автоматичне керування точністю обробки?
18. В чому полягає принцип пробного різання?
19. Навести класифікацію способів контролю стану різального інструмента.
20. Засоби контролю стану різального інструмента.
21. Що покладено в основу методів технічного діагностування складових ГВС?
22. Які контрольовані параметри використовуються для діагностування та прогнозування технічного стану ГВС?
23. Які алгоритми діагностування застосовуються у ГВС?
24. Дати характеристику структурі системи автоматичного діагностування несправностей.
25. Дати характеристику структурній схемі автоматизованої системи забезпечення функціонування технологічного обладнання (АСЗФТО).
26. Охарактеризувати організаційну структуру керування ГВС.

## Тема 9

# МЕХАНІЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ СКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НА ТОЧНІСТЬ СКЛАДАЛЬНИХ ВУЗЛІВ

З'єднання деталей може бути забезпечено, якщо величина похибки їх відносної орієнтації не перевищує деякого припустимого значення відхилення.

В початковий період з'єднання деталей відбувається спряження охоплюваного та охоплювального контурів, а потім і з'єднання їх осьовим переміщенням однієї або одночасно двох деталей.

На рис. 9.1 наводиться стисла класифікація схем побудови складальних механізмів для осьового з'єднання циліндричних деталей.

Цей рисунок не вичерпує всіх можливих варіантів, але задовольняє в загальних рисах уявити суть процесу. З'єднання циліндричного безступінчастого валика та циліндричної втулки розглядається залежно від принципу базування та відносного встановлення їх на позиції складання.

Принцип відносного встановлення деталей визначає клас побудови з'єднання (I, II, III і т. д.), а спосіб забезпечення з'єднання визначає його тип (А, Б, В). Належить відмітити, що класи характеризують конструкцію робочих складальних органів. Конкретний вибір того чи іншого складального органа залежить передусім від типу забезпечення з'єднання та точності, яку потрібно забезпечити під час складання виробу.

Клас I характеризується жорстким базуванням та жорстким відносним встановленням деталей, які складаються. В цьому випадку навіть у разі незначної похибки  $\Delta_x$  під час з'єднання деталей без зазора (тип А) спряження не відбувається. Якщо ж буде прикладено велике складальне зусилля  $P$ , то виникне пошкодження кромки та спрягваних поверхонь деталей. У разі спряженні із зазором (тип Б) складання без пошкоджень можливе тільки за умови  $\Delta_x < S'$ , тобто сумарна похибка встановлення має бути меншою за радіальний зазор  $S'$  між спрягваними поверхнями. В іншому випадку виникає пошкодження складуваних деталей або деталей складального пристрою (механізму).

За жорсткого відносного встановлення деталей на складальній позиції переміщення їх у процесі складання може відбуватись по осі базувального пристрою, і за первинного контакту торцевих поверхонь отримується жорсткий упор (в деталях без фасок). Наявність фасок дозволяє з'єднати деталі автопошуком, тобто з'єднання з відносним самовстановленням спряжених поверхонь можливе тільки тоді, коли валик має невисоку жорсткість і на початковому етапі з'єднання буде деформуватись.



Клас	A   $d_6 > d_0$	Б   $d_6 < d_0$	В   $d_6 \leq d_0$ $d_6 \geq d_0$
I			
II			
III			
.....	.....	.....	.....
J			
.....	.....	.....	.....

Рисунок 9.1 – Схеми побудови складальних механізмів осьового з'єднання циліндричних деталей

Під часу розгляду схем класу I можна зробити висновок, що для забезпечення нормальної роботи складальних автоматів за жорсткого встановлення складаних деталей можуть бути застосовані тільки 2 типи з'єднань: Б та В. Схема I-A нераціональна. Схеми I-Б та I-В застосовують у складальних машинах дискретної та безперервної дії з базуванням

деталей жорстким встановленням. Побудова складальних органів за схемою І–Б здійснюється, наприклад, на лінії складання втулково-роликкових ланцюжків. Схема І–В використовується, наприклад, на лінії складання деталей з гнучкими осьовими елементами. Схема І–В та І–Б не можуть бути рекомендовані для широкого застосування у складальних автоматах для складання жорстких деталей.

Клас ІІ схем побудови складальних позицій за жорсткого базування валиків характеризується відносною рухомістю базувальною втулкою пристрою. Відносна рухомість забезпечується елементом малої жорсткості. Зокрема, на рис. 9.1 елемент малої жорсткості подано спіральними пружинами стискання.

В процесі спряження деталей втулка має можливість переміщуватися в площині, перпендикулярній до напрямку складання. Наявність такого переміщення підвищує складаність деталей. Для схем класу ІІ під час розробки складальних автоматів жорсткість пружної системи  $C_c$  має бути меншою за жорсткість складаної деталі  $C_d$ , тоді переміщення однієї із з'єднаних деталей для з'єднання ІІ–А  $x = \Delta_x$ ; для ІІ–Б –  $x = \Delta_x - q_0$ ; для ІІ–В –  $x = \Delta_x - q_0$ .

Це положення обумовлює необхідність розрахунку жорсткості системи верстат–пристрій–інструмент–деталь (ВПД), що особливо важливо під час складання деталей із заходними фасками (ІІ–В), у такому випадку вирішальними для забезпечення складаності є наявність сумарної похибки відносного встановлення деталей  $\Delta_x$  за певного значення  $S$ .

Незважаючи на відносну рухомість деталей в площині, перпендикулярній до напрямку складання, за беззазорного з'єднання (ІІ–А) та складання із зазором (ІІ–Б), якщо  $\Delta_x > q_0$ , можливе не тільки пошкодження кромки спрягованих поверхонь, але і порушення складаності, тобто можливі випадки нескладаності деталей. Це насамперед відноситься до з'єднань ІІ–А, що говорить про доцільність автоматичного складання деталей без фасок за беззазорного з'єднання або за з'єднання з натягом.

Для з'єднань ІІ–А та ІІ–Б доцільно застосовувати автопошук спряжених поверхонь, тобто штучне переміщення підпруженої деталі до моменту суміщення контурів поверхонь – для нециліндричних деталей або осей – для циліндричних деталей. Після такого суміщення може відбутися безперешкодне з'єднання.

Наявність на торцях складаних деталей фасок (ІІ–В) значною мірою спрощує складання та конструкцію складальних механізмів або пристроїв. В більшості випадків у такому разі зникає необхідність звернення до штучного автопошуку.

Наявність пружної системи в складальному пристрої та фасок на деталях дає можливість виконувати автоматичне складання за порівнянно

великих похибок відносного встановлення деталей, тобто за  $C_B + C_O \geq \Delta_x$ , а  $X_{\max} > \Delta_x$ , де  $C_B$  та  $C_O$  – ширина фасок на кромках спрягваних поверхонь вала та отвору;  $X_{\max}$  – граничне переміщення однієї із з'єднувальних деталей.

Пружні системи застосовуються в пристроях базування автоматів дискретної дії. В автоматах безперервної дії роторного типу конструктивне рішення подібних систем становить труднощі.

Клас III схем побудови складальних пристроїв з базуванням складаних деталей по отворах широко застосовується в складальних автоматах різних типів. Вільне базування деталей призводить до утворення великих похибок відносного встановлення. Можливі перекося деталей в базувальному отворі збільшують сумарну похибку.

Із розглянутих схем базування витікає, що за беззазорного з'єднання важко здійснити складання III–А, а для випадку III–Б складання відбудеться тільки за умови, що сумарна похибка знаходиться в межах припустимої  $\Delta_x \leq q_0$ . За наявності фасок на кромках деталей складання III–В може здійснитися, якщо сума розмірів фасок на спрягваних деталях буде перевищувати сумарну похибку  $\Delta_x$  і якщо складаним деталям забезпечено відносну рухомість в площині, перпендикулярній до напрямку складання.

Аналіз даних рис. 9.1 показує, що наявність на кромках спрягваних поверхонь фасок є необхідною, але не достатньою умовою забезпечення складальності виробів. Другою необхідною умовою складальності є наявність відносної рухомості складальних деталей в площині, перпендикулярній до напрямку складання.

Розглянемо як приклад послідовність процесу з'єднання двох деталей з циліндричними спряженими поверхнями, на кромках яких є заходні фаски (клас III). Схеми початкового періоду спряження деталей показано на рис. 9.2.

Точка первинного контакту з'єднувальних деталей (рис. 9.2, а) визначається шляхом розрахунку сумарної похибки відносної орієнтації деталей і може бути визначена з аналізу похибок:

$$\Delta_x = \Delta_\sigma + \Delta_o + \Delta_\beta, \quad (9.1)$$

де  $\Delta_\sigma$  – похибка відносного розташування базувальних поверхонь складального пристрою;

$\Delta_o$  – похибка розташування осі отвору втулки під час базування;

$\Delta_\beta$  – похибка від переносу валика у базувальному отворі.

Під час прикладання зусилля  $P$  складання деталей почне переміщуватися по базувальній поверхні і займе стаке положення (рис. 9.2, б). Потім за наявності зазору між втулкою та базувальною поверхнею

пристосування вона буде віджиматись валиком до тих пір, поки контури валика та отвору не збігатимуться. Суміщення контурів визначає початок наступного етапу – безпосереднього спряження деталей.

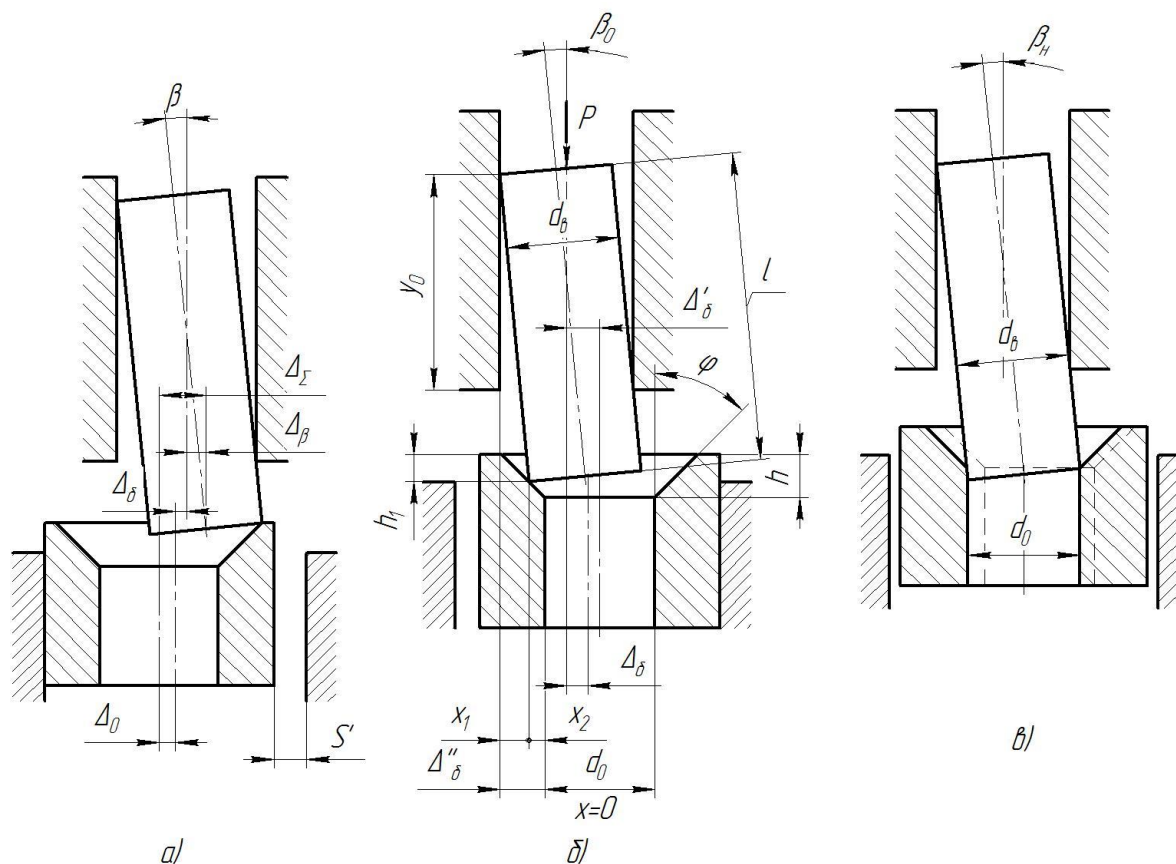


Рисунок 9.2 – Схема початкового періоду спряження деталей з фаскою на втулці: а) – момент первинного контактування торцевих поверхонь складаних деталей; б) – момент «сталого» положення; в) – спряження контурів

На рис. 9.2, в) показано положення деталей за їх відносного перекосу. Кут перекосу  $\beta_H$  в початковий момент з'єднання, який визначається із співвідношення діаметрів спрягуваних поверхонь, не має перевищувати значення кута тертя:

$$\beta_H = \arccos \frac{d_B}{d_o} = \arccos \frac{1}{1-\tau} < \rho, \quad (9.2)$$

де  $d_B$ ,  $d_o$  – відповідно діаметри валика та отвору;

$\tau$  – відносний зазор в спряженні валика з отвором з причини похибок їх виготовлення;

$\rho$  – кут тертя.

Подальший осьовий рух валика приводить до поперечного переміщення втулки в процесі з'єднання. Якщо ж поперечне переміщення

обмежено, то може виникнути заклинювання складаних деталей і навіть їх поломка. Таким чином, визначення величини поперечних переміщень деталей в процесі спряження має вирішальне значення під час конструювання складальних механізмів і є однією з важливих задач теорії автоматичного складання.

Зі схеми (див. рис. 9.2, б) бачимо, що поперечне переміщення охоплюваної деталі дорівнює нулю, водночас кут переносу осі валика  $\beta_0$  визначається з геометричних розмірів пристрою та базових розмірів валика і базувального отвору:

$$\beta_0 = \arccos \frac{S'}{\tau \sqrt{S'(1/\tau + 1)^2 + y_0^2}} - \arctg \frac{y_0}{S'(1/\tau + 1)}, \quad (9.3)$$

де  $S'$  – величина зазору між базувальним отвором та валиком;

$y_0$  – базова довжина валика.

Похибка  $\Delta''_6$  розташування осі отвору втулки відносно осі валика дорівнює:

$$\Delta''_6 = x_1 + x_2 = l \sin \beta_0 (h - h_1) \operatorname{tg} \psi. \quad (9.4)$$

Якщо на валику є фаска з кутом нахилу  $\psi$  (рис. 9.3), то значення  $x_2$  визначається за формулою:

$$x_2 = h_1 \operatorname{tg}(\psi - \beta), \quad (9.5)$$

де  $\beta$  – миттєве значення кута перекоосу валика в базувальному отворі;

$h_1$  – миттєве значення висоти фаски.

Умова сталого положення складаних деталей можна виразити так:

$$\Delta''_6(x_1 + x_2) = 0. \quad (9.6)$$

Під час прикладання зусилля  $P$  валик переміститься у базувальному отворі на величину  $\Delta y$ . Тоді значення  $h_1$  зменшиться приблизно на величину  $\Delta y$ .

Момент, коли значення  $h_1$  дорівнює нулю, характеризує закінчення початкового періоду спряження деталей та початок їх безпосереднього з'єднання. Коли розрахункова величина поперечного зміщення втулки перевищує величину зазора  $S'$  (див. рис. 9.2, а), то за достатньо високої жорсткості системи ВПД з'єднання деталей може не відбутись.

Під час безпосереднього з'єднання деталей значення їх попереднього зміщення визначається аналогічно викладеному. Зі схеми рис. 9.3 можна записати:

$$x_1 = (y + a) \operatorname{tg} \beta, \quad (9.7)$$

де  $a$  – відстань між торцями базувального пристрою.

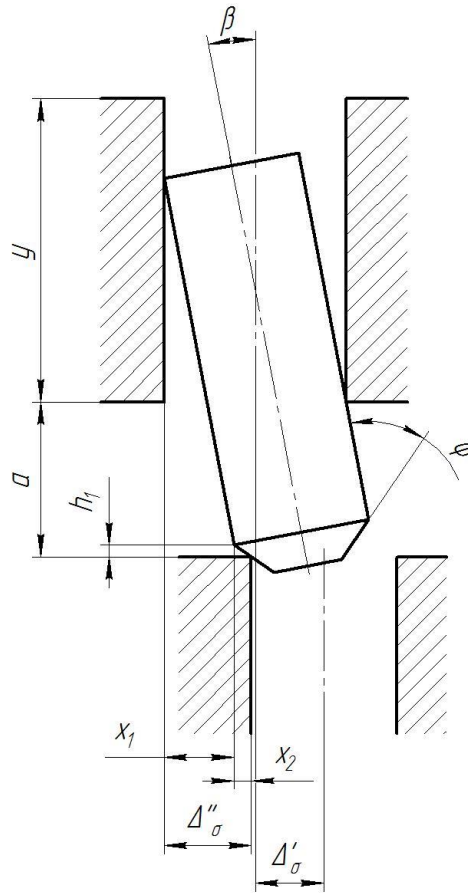


Рисунок 9.3 – Схема початкового періоду з'єднання деталей з фаскою на валику

Якщо врахувати значення  $x_1$  з виразу (9.6), то величина поперечного зміщення втулки (за  $x_2 = 0$ ) в процесі з'єднання визначається за формулою:

$$x = \Delta''_{\sigma} - (y + a) \operatorname{tg} \beta. \quad (9.8)$$

У міру переміщення валика в осьовому напрямі за зменшення  $y$  кут  $\beta$  збільшується, тому в початковий момент етапу безпосереднього з'єднання величина поперечного зміщення  $x$  дещо зменшується. Кут  $\beta$  збільшується до тих пір, поки валик не увійде у двоточковий контакт з поверхнею отвору втулки. В цьому випадку величина кута  $\beta$  буде залежати від сумарного значення  $y_1$  та  $y$  і розмірів діаметрів отвору та валика (рис. 9.4).

Як показує аналіз виразу (9.6), на величину поперечного зміщення значно впливає відстань  $a$  між торцями базувального отвору та деталі. Чим менша величина  $a$ , тим більше значення  $x$ , тобто на більшій ділянці довжини базувального пристрою та отвору втулки відбувається контакт валика.

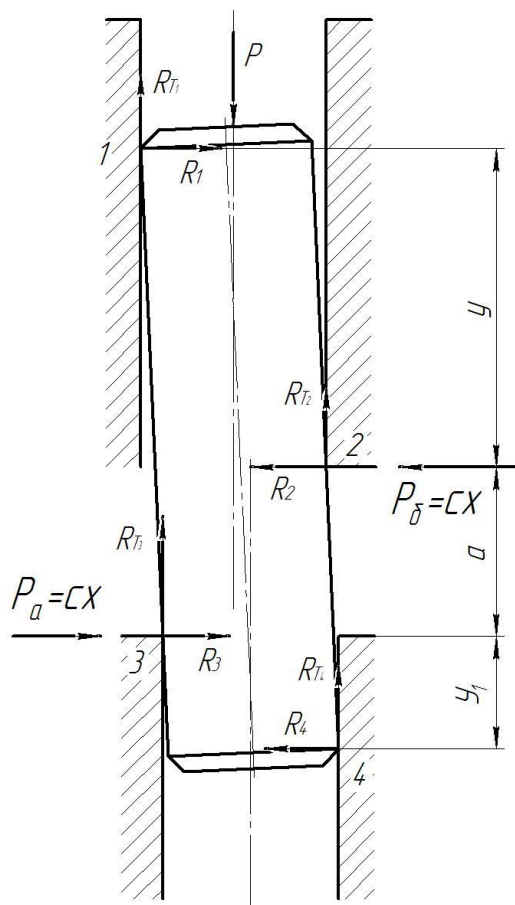


Рисунок 9.4 – Схема дії сил, які виникають у процесі з'єднання деталей

Таким чином, за наявності пружної ланки в базувальних пристроях із зменшенням  $a$  збільшується контактний тиск в точках дотику, а це підвищує зношення базових напрямних і можливо пошкодження спрягваних поверхонь. Під час розробки конструкцій складальних автоматів часто прагнуть зменшення розміру  $a$  до мінімального можливого, що не завжди доцільно.

Багатократні спряження деталей призводять до заокруглення гострих кромek на охоплюваній та охоплювальних поверхнях, а також до появи конусності в ділянці західної частини. Це особливо помітно за з'єднання деталей різної твердості. Тому для створення сприятливих умов з'єднання доцільно збільшувати площу контакту кромek, чим досягається зниження питомого тиску.

Збільшення площі контакту кромek з'єднуваних деталей досягається відповідним підбором розміру та форми фаски. Доцільно вибирати форму фаски, близьку до теоретичної, але утворену простою поверхнею з постійним радіусом скруглення (рис. 9.5).

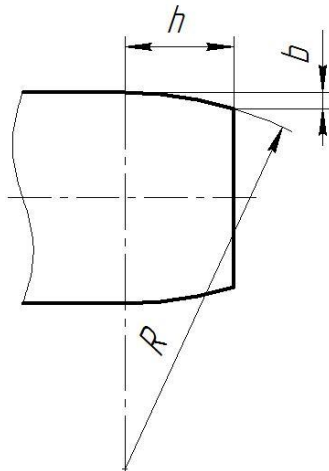


Рисунок 9.5 – Форма фаски на охоплюваній деталі

Радіус  $R$  та висота  $h$  фаски визначаються у першому наближенні за емпіричними формулами:

$$R = 22,9 \cdot b; \quad h = 6,7 \cdot b, \quad (9.9)$$

де  $b$  – розмір фаски і площини, перпендикулярній напрямку з'єднання.

Ці формули можуть бути рекомендовані для розрахунку кривої форми фаски в більшості випадків з'єднань, які зустрічаються під час автоматичного складання деталей із зазорним та беззазорним з'єднанням спрягваних поверхонь.

### Питання для самопідготовки

1. Які схеми побудови складальних механізмів осьового з'єднання циліндричних деталей застосовуються у практиці процесів складання? Дати характеристику кожного класу.

2. Ознайомлення з прикладом послідовності процесу з'єднання двох деталей з циліндричними спряженими поверхнями, на кромках яких є заходні фаски. Надбати вміння самостійно розглянути етапи з'єднання, використовуючи певні схеми і відповідні розрахунки необхідних параметрів.



## 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 / [Белоусов А. П., Дашенко А. И., Полянский П. М., Шулешкин А. В.]. – М. : Высшая школа, 1973. – 456 с.
3. Буренніков Ю. А. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : навчальний посібник / Буренніков Ю. А., Немировський І. А., Козлов Л. Г. – 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, гідропневоавтоматика : 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. Головки Д. Б. Автоматика і автоматизація технологічних процесів : підручник / Головки Д. Б., Реґо 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 / Кузнецов М. М., Волчкевич Л. И., Замчалов Ю. П.; 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. Методичні вказівки до виконання контрольних робіт та самостійної роботи студентів з дисципліни «Автоматизація виробництва в машинобудуванні» / Уклад. : Муляр Ю. І., Козлов Л. Г., Репінський С. В. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 30 с.
19. 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.
20. 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.
21. Муляр Ю. І. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина І : навчальний посібник / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 99 с.
22. Муляр Ю. І. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина ІІ : навчальний посібник / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 123 с.
23. Пашков Є. В. Електропневмоавтоматика у виробничих процесах : навч. посібник / Пашков Є. В., Осинський Ю. О., Четв'оркін О. О. ; під ред. Є. В. Пашкова. – [2-е вид., перероб. і доп.]. – Севастополь : Вид-во СевНТУ, 2003. – 496 с.
24. Пашков Є. В. Промислові мехатронні системи на основі пневмопривода : навч. посібник / Є. В. Пашков, Ю. О. Осинський. – Севастополь : Вид-во СевНТУ, 2007. – 388 с.
25. Пуховский Е. С. Технологические основы гибкого автоматизированного производства / Пуховский Е. С. – К. : Вища школа, 1989. – 240 с.
26. Пуховский Е. С. Технология гибкого автоматизированного производства / Е. С. Пуховский, Н. Н. Мясников. – К. : Техника, 1989. – 207 с.
27. 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.

28. 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.

*Електронне навчальне видання  
комбінованого використання.  
Можна використовувати в локальному та мережному режимах*

**Муляр Юрій Іванович  
Репінський Сергій Володимирович**

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА  
В МАШИНОБУДУВАННІ**  
**Самостійна та індивідуальна робота студентів**

Навчальний посібник

Рукопис оформив *С. Репінський*

Редактор *Т. Старічек*

Оригінал-макет підготувала *Т. Старічек*

Підписано до видання 08.07.2022.  
Гарнітура Times New Roman.  
Зам. №2022-051.

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