

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний авіаційний університет

О.І. ДУХОТА, В.Д. ХИЖКО, В.І. МАЛЕНКО,  
Г.А. ВОЛОСОВИЧ

**АВТОМАТИЗАЦІЯ І МЕХАНІЗАЦІЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РЕМОНТУ  
АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ**

Навчальний посібник



*75-річчю Національного  
авіаційного університету  
присвячується*

Київ 2008

УДК 629.735.083:681.5(075.8)

ББК 052-083я7

A224

Автори: *О.І. Духота, В.Д. Хижко, В.І. Маленко, Г.А. Волосович*

Рецензенти: *В.Д. Кузнєцов* – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри відновлення деталей машин (Національний технічний університет України „КПІ”)

*Р.Г. Мнацканов* – д-р техн. наук, проф. (Національний транспортний університет)

*Б.А. Ляшенко* – д-р техн. наук, проф., завідувач відділом міцності елементів конструкцій з функціональними покриттями (Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАНУ)

A224     **Автоматизація і механізація технологічних процесів ремонту авіаційної техніки:** Навчальний посібник / О.І. Духота, В.Д. Хижко, В.І. Маленко, Г.А. Волосович. – К.: НАУ, 2008. – 106 с.

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України, лист № \_\_\_\_\_ від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2008 року.*

ISBN

У посібнику розглянуто загальні питання автоматизації і механізації виробництва, наведено відомості про основні елементи і системи автоматичних пристроїв.

З урахуванням специфіки авіаремонтного виробництва висвітлено питання автоматизації і механізації технологічних процесів ремонту авіаційної техніки. Основну увагу приділено засобам автоматизації і механізації процесів механічної обробки, промивання і очищення, контролю розмірів і форми деталей, відновленню деталей методами гальванічного осаджування і газотермічного напилювання покриттів, складальних процесів.

Призначений для студентів напрямку підготовки 8.070103 "Обслуговування повітряних суден".

УДК 629.735.083:681.5(075.8)

ББК 052-083я7

ISBN

© О.І. Духота, В.Д. Хижко, В.І. Маленко, Г.А. Волосович, 2008

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ І МЕХАНІЗАЦІЇ ВИБОРНИЦТВА.....	6
1.1. Основні поняття, визначення та завдання автоматизації і механізації.....	6
1.2. Організаційно-технічні передумови автоматизації і механізації виробництва.....	10
1.2.1. Вплив форми організації промислового виробництва на автоматизацію і механізацію виробничих процесів.....	10
1.2.2. Автоматизація і механізація виробничих процесів в умовах різних типів виробництв.....	11
1.2.3. Вплив методів виробництва на автоматизацію і механізацію виробничих процесів.....	13
1.2.4. Технологічність конструкції виробів і автоматизація виробництва.....	13
1.3. Виробничий процес і його елементи. Різновиди керування простими процесами.....	15
1.4. Методи автоматичного зв'язування. Поняття про основні і додаткові зв'язки.....	17
2. ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ.....	21
2.1. Класифікація елементів автоматичних пристроїв.....	21
2.2. Сприймальні елементи.....	22
2.3. Задавальні елементи.....	33
2.4. Порівнювальні елементи.....	35
2.5. Перетворювальні елементи.....	35
2.6. Виконавчі елементи.....	38
3. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ.....	43
3.1. Класифікація систем автоматичних пристроїв.....	43
3.2. Системи автоматичного контролю.....	44
3.3. Системи автоматичного регулювання.....	49
3.4. Слідкувальні і копіювальні системи.....	51
3.5. Системи програмного керування.....	51
4. АВТОМАТИЗАЦІЯ І МЕХАНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ.....	56
4.1. Загальні положення автоматизації і механізації процесів механічної обробки.....	56

4.2. Системи автоматичного керування металорізальними верстатами.....	57
4.2.1. Аналогові системи керування.....	57
4.2.2. Системи числового програмного керування верстатами.....	63
5. АВТОМАТИЗАЦІЯ І МЕХАНІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРОМИВАННЯ І ОЧИЩЕННЯ ДЕТАЛЕЙ.....	68
5.1. Характеристика процесів промивання і очищення як об'єктів автоматизації і механізації.....	68
5.2. Технічні засоби автоматизації і механізації процесів промивання і очищення.....	69
6. АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ І ДЕФЕКТАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ.....	76
6.1. Методи і засоби автоматизації контролю розмірів та форми деталей.....	76
6.2. Контрольні автомати.....	81
7. АВТОМАТИЗАЦІЯ І МЕХАНІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ.....	83
7.1. Автоматизація і механізація технологічних процесів нанесення гальванічних покриттів.....	83
7.2. Автоматизація і механізація технологічних процесів газотермічного напилювання.....	87
8. АВТОМАТИЗАЦІЯ І МЕХАНІЗАЦІЯ СКЛАДАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ.....	95
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	103
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	105

## ВСТУП

Сучасний розвиток промислового виробництва характеризується постійним зростанням обсягу продукції, що випускається, ростом складності машин, приладів і обладнання, підвищенням вимог до якості продукції та продуктивності праці. У виробництво впроваджуються нові прогресивні матеріали і технологічні процеси, обробка і виконання яких відповідно потребує значних трудовитрат і жорсткого дотримання встановлених режимів.

Технічне вдосконалення виробництва на основі широкого впровадження засобів механізації та автоматизації технологічних процесів забезпечує прискорення росту продуктивності праці, сприяє зниженню собівартості і підвищенню якості продукції. Найбільший ефект у цьому напрямку досягається при масовому та багатосерійному виробництві за великої програми і сталої номенклатури продукції, що випускається.

Особливістю авіаремонтного виробництва з погляду автоматизації та механізації є переважно дрібносерійний або серійний його характер, часта зміна об'єктів виробництва, велика різноманітність технологічних процесів, що застосовуються під час ремонту повітряних суден (ПС) і авіаційних двигунів (АД). Технологія ремонту ПС і АД відрізняється складністю та великою трудомісткістю процесів механічної обробки, промивання і очищення деталей, великим обсягом та різноманітністю контрольних операцій, процесів відновлення деталей, складання, випробування та інших видів робіт, більшість з яких потребує постійного контролю і регулювання в ході виконання процесу. У цих умовах механізація і, особливо, автоматизація технологічних процесів ремонту авіаційної техніки (АТ) набувають особливого значення.

Пріоритетними напрямками автоматизації та механізації авіаремонтного виробництва є широке застосування верстатів з числовим програмним керуванням, оснащення виробництва високомеханізованим та автоматизованим технологічним обладнанням і інструментом для виконання найбільш трудомістких операцій технологічного процесу, широке впровадження систем автоматичного контролю, регулювання та керування технологічними процесами, створення окремих комплексно-механізованих і автоматизованих дільниць. Упровадження і постійне вдосконалення високопродуктивних засобів автоматизації та механізації дозволяє значно підвищити ефективність авіаремонтного виробництва.

# **1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ І МЕХАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА**

## **1.1. Основні поняття, визначення та завдання автоматизації і механізації**

На сучасному етапі розвитку промислового виробництва при значному зростанні у виробництві різноманітної кількості високоенергетичних, інтенсивних і швидкоплинних технологічних процесів, підвищенні вимог до якості, надійності і рентабельності продукції, що випускається, безпеки праці та екологічної безпеки значно зростає роль механізації і автоматизації технологічних процесів.

Виробничий (технологічний) процес являє собою скоординовану взаємодію працівників, технологічного і допоміжного обладнання з метою виробництва продукції, яка має задані властивості, в заданий час і в заданій кількості.

В основі поняття механізації і автоматизації виробничих процесів лежить заміна відповідно фізичної та розумової праці людини роботою машин.

Під механізацією розуміють напрямок розвитку виробництва, що характеризується застосуванням машин і механізмів, які замінюють фізичну працю людини за умови збереження за людиною функцій контролю і керування процесом виробництва.

Під автоматизацією розуміють напрямок розвитку виробництва, що характеризується застосуванням машин, механізмів і технічних засобів, які здатні замінити не тільки фізичну працю людини, але й виконувати без участі людини функції контролю і керування процесом виробництва.

Стосовно технологічних процесів виробництва розрізняють часткову, повну, одиничну та комплексну автоматизацію і механізацію.

Технологічний процес називається частково механізованим (автоматизованим), якщо в ньому механізовані (автоматизовані) лише окремі операції або окремі елементи технологічного процесу, виключаючи (включаючи) керування і контроль.

Технологічний процес називаються повністю механізованим (автоматизованим), якщо в ньому механізовані (автоматизовані) всі основні та допоміжні операції і елементи технологічного процесу, виключаючи (включаючи) керування і контроль.

Одинична механізація (автоматизація) – це часткова або повна механізація (автоматизація) однієї первинної складової частини технологічного процесу або системи технологічних процесів, виключаючи (включаючи) керування і контроль.

Комплексна механізація (автоматизація) – це часткова або повна механізація (автоматизація) двох або більше первинних складових частин технологічного процесу або систем технологічних процесів, виключаючи (включаючи) керування і контроль.

Виходячи з визначення механізації і автоматизації можна сказати, що автоматизація – це вища форма механізації, яка забезпечує звільнення людини не тільки від фізичної праці, але і виконання без участі людини в ході виробництва функцій керування і контролю технологічного процесу.

Об'єктом автоматизації можуть бути окремі машини чи технологічне обладнання або системи машин чи технологічного обладнання. У цьому випадку застосовують поняття машини-автомата, машини-напівавтомата, автоматичної лінії.

Напівавтомат – це робоча машина чи одиниця обладнання, яка виконує за допомогою енергії неживої природи заданий алгоритм функціонування за участю людини у завантаженні та розвантаженні або установленні та зніманні об'єктів обробки і періодичного включення (виключення) машини.

Автоматом називається така робоча машина чи одиниця обладнання, яка функціонує і керується по заданому алгоритму з використанням енергії неживої природи, без безпосередньої участі людини.

Автоматичною лінією називають систему автоматично діючих машин чи одиниць обладнання, об'єднаних спільними транспортними засобами з одним темпом і спільною системою керування, які здійснюють автоматично без участі людини в певній технологічній послідовності комплекс операцій технологічного процесу.

Автоматичні лінії є найбільш поширеною формою автоматизації виробництва. В автоматичних лініях участь людини зводиться тільки до нагляду, періодичного підналагодження, зміни інструменту, а в деяких випадках до контролю обробки, а також виконання початкових завантажувальних і кінцевих розвантажувальних операцій.

Залежно від стадії впровадження розрізняють первинну і вторинну механізацію (автоматизацію) технологічних процесів.

Первинна механізація (автоматизація) технологічних процесів – це механізація (автоматизація) технологічних процесів чи їх систем, у яких до її проведення використовувалась тільки енергія людини. Об'єктом первинної механізації (автоматизації) можуть бути операції, які виконуються тільки людиною (наприклад, ручне полірування поверхні деталі), або операції, які виконуються засобами технічного оснащення, що приводяться в дію людиною (наприклад, свердління отворів робітником за допомогою коловороту).

Вторинна механізація (автоматизація) технологічних процесів – це механізація (автоматизація) технологічних процесів чи їх систем, у яких до її проведення використовувалась енергія людини і неживої природи. Об'єктом вторинної механізації (автоматизації) є раніше механізовані (автоматизовані) операції і процеси.

Первинна механізація (автоматизація) поширюється, в основному, на слюсарні, монтажні і складальні операції і процеси. Вторинна механізація (автоматизація) – на заготівельні і оброблювальні операції та процеси.

У сфері промислового виробництва механізація і особливо автоматизація технологічних процесів спрямовані на вирішення таких основних завдань:

- підвищення продуктивності праці і зниження собівартості продукції;
- підвищення точності технологічних процесів, їх якості і якості відповідних виробів;
- заміна праці людини на швидкоплинних процесах і процесах, які потребують значних фізичних зусиль;
- заміна праці людини на небезпечних і шкідливих для здоров'я операціях виробництва;
- захист обладнання та робочого персоналу від ушкодження при виникненні аварійних ситуацій;
- підтримання необхідних параметрів ходу технологічного процесу.

Підвищення продуктивності праці забезпечується, насамперед, за рахунок інтенсифікації режимів виконання технологічного процесу, скорочення часу на керування процесом і контролю за ходом його виконання.

Підвищення якості виробів при автоматизації технологічних процесів зумовлено виключенням впливу на них індивідуальних



особливостей виконавця. Цим забезпечується також стабільність якості всіх виробів.

Основними показниками стану механізації (автоматизації) технологічних процесів є часовий ( $d_t$ ) і енергетичний ( $\Omega_t$ ) рівні механізації (автоматизації) живої праці. Стосовно оцінки стану технологічної операції ці показники визначають за такими співвідношеннями:

$$d_t = T_6^M / T^M, \quad (1.1)$$

де  $T^M$  – штучний час на операцію;  $T_6^M$  – безперервний машинний час на операцію;

$$\Omega_t = E_6^M / (E^M + E^P), \quad (1.2)$$

де  $E^M$  та  $E^P$  – обсяги корисної роботи (кВт·год), які виконуються відповідно машиною і працівником протягом штучного часу;  $E_6^M$  – обсяг корисної роботи (кВт·год), яка виконується машиною протягом безперервного машинного часу.

Для оцінення техніко-економічної ефективності механізації і автоматизації використовують коефіцієнт зростання продуктивності праці ( $\gamma$ ) і термін окупності додаткових капітальних витрат на механізацію (автоматизацію)  $\Pi_0$ :

$$\gamma = \Pi_2 / \Pi_1, \quad (1.3)$$

де  $\Pi_1$  та  $\Pi_2$  – відповідно продуктивність праці за двома порівнюваними варіантами механізації (автоматизації) виробництва.

$$\Pi_0 = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2) \leq \Pi_n, \quad (1.4)$$

де  $K_2$  та  $K_1$ ;  $C_1$  та  $C_2$  – відповідно капіталовкладення і річна собівартість випуску продукції за механізованим (автоматизованим) і немеханізованим (неавтоматизованим) процесами виробництва;  $\Pi_n$  – нормативна кількість років, за які повинні окупитись витрати на механізацію чи автоматизацію.

Для загального машинобудування  $\Pi_n$  у середньому дорівнює 5...6 рокам. Якщо отримана величина  $\Pi_0$  буде менша за задану нормативну, механізація (автоматизація) вважається економічно доцільною, а витрати на неї – виправданими.

## **1.2. Організаційно-технічні передумови автоматизації і механізації виробництва**

### **1.2.1. Вплив форм організації промислового виробництва на автоматизацію і механізацію виробничих процесів**

До форм організації промислового виробництва належать концентрація, спеціалізація, кооперування і комбінування виробництв.

Концентрація – це така форма організації виробництва, за якої випуск продукції зосереджується на великих підприємствах. На таких підприємствах створюються найбільш сприятливі умови для внутрішньозаводської спеціалізації, яка дозволяє зосередити випуск однорідної продукції в окремих цехах, дільницях або робочих місцях. На високоспеціалізованих дільницях великих підприємств з'являється можливість детальної диференціації (роздрібнення) технологічних процесів, що сприяє спрощенню технологічних операцій і дозволяє оснащувати виробництво високомеханізованим і автоматизованим обладнанням. Крім цього, великий обсяг випуску однорідної продукції дозволяє на великих підприємствах упроваджувати потокові методи виробництва, які, як буде показано нижче, є основою комплексної механізації і автоматизації виробництва.

Важливою передумовою для механізації і автоматизації є спеціалізація виробництва – зосередження на підприємстві випуску однорідної за конструктивно-технологічними ознаками продукції (предметна спеціалізація) або однотипних технологічних процесів (технологічна спеціалізація).

Спеціалізація авіаремонтних підприємств полягає в зосередженні на підприємстві одного виду ремонту (капітального), одного типу літальних апаратів чи авіадвигунів. З погляду внутрішньозаводської спеціалізації розрізняють цехи і дільниці, які спеціалізуються на ремонті окремих агрегатів та вузлів, і цехи та дільниці, які спеціалізуються на виконанні окремих видів робіт, у тому числі технологічно спеціалізовані дільниці.

Спеціалізація створює такі ж переваги для механізації і автоматизації виробництва, як і концентрація. При організації спеціалізованого випуску однорідної продукції з'являються більш сприятливі умови для широкого впровадження і більш ефективного використання засобів механізації і автоматизації виробничих процесів.

Розвиток спеціалізації підприємств зумовлює появу такої форми організації промислового виробництва, як кооперування.

Кооперуванням називають установлення між окремими підприємствами зв'язків за спільного випуску продукції. В умовах авіаремонтного виробництва кооперування передбачає поставку авіаремонтним заводам запасних частин, спеціального інструменту і оснастки від серійних заводів авіаційної промисловості, поставки від спеціалізованих підприємств технологічного обладнання і забезпечення його необхідними запасними частинами тощо. Кооперування створює умови для більш глибокої спеціалізації і концентрації виробництва в окремих цехах і, відповідно, більш сприятливі передумови для механізації і автоматизації технологічних процесів.

Принцип комбінування полягає в зосередженні на одному підприємстві технологічних процесів, пов'язаних з випуском різномірної продукції. За цим принципом створюються заводи-комбінати, наприклад, металургійні комбінати, на яких зосереджено доменне, сталеливарне і прокатне виробництво. Для авіаремонтних підприємств комбінування не є характерною формою організації виробництва. Але слід відмітити, що комбінати – це, зазвичай, великі промислові підприємства і, з погляду механізації і автоматизації, їм притаманні переваги великого підприємства.

### **1.2.2. Автоматизація і механізація виробничих процесів в умовах різних типів виробництв**

Залежно від номенклатури і масштабів випуску однорідної продукції в машинобудуванні розрізняють три типи виробництв: масове, серійне та одиничне.

Масовим називають таке виробництво, яке має відносно невелику номенклатуру і великі масштаби випуску продукції. Причому, продукція одного виду виробляється безперервно протягом тривалого часу.

До цього типу виробництва, насамперед, належить виробництво предметів широкого вживання, автомобілебудування і т.п. Для масового виробництва характерне виконання на більшості робочих місць операцій, що постійно повторюються. Вузька спеціалізація робочих місць не потребує частого переналагодження обладнання,

дозволяє використовувати обмежену кількість інструменту і оснастки, використовувати спеціальні і спеціалізовані верстати, розташовувати обладнання у відповідній технологічній послідовності. Такий характер виробництва створює найбільш сприятливі умови для механізації і, особливо, автоматизації. Тому масове виробництво – це, як правило, автоматизоване виробництво, у якому технологічні процеси виконуються на автоматичних лініях.

Серійним називається виробництво, у якому випуск продукції проводиться окремими серіями або партіями. У серійному виробництві окремі операції технологічного процесу закріплені за окремим обладнанням. Переналагодження обладнання дозволяє переходити від випуску однієї серії виробів до іншої.

Залежно від величини і повторності серій виробництво може бути багатосерійним і дрібносерійним. Багатосерійне виробництво за організаційними методами роботи і характером використаного обладнання наближається до умов масового виробництва, дрібносерійне – до умов одиничного виробництва.

Одиничне виробництво характеризується штучним випуском різної за конструктивно-технологічними ознаками продукції. Причому, повторність виробів заздалегідь не планується. Тому такий тип виробництва повинен бути технологічно гнучким, для чого необхідно його оснащення універсальним обладнанням та інструментом. Диференціація технологічного процесу за робочими місцями незначна. На одному робочому місці протягом дня можуть виконуватися різні за характером і за змістом технологічні операції. Такі передумови не сприяють комплексній механізації і автоматизації виробництва.

В умовах одиничного виробництва значне підвищення продуктивності і полегшення умов праці досягається шляхом комплексної механізації підйомно-транспортних операцій, широким застосуванням у виробництві, особливо при виконанні трудомістких складально-розбиральних робіт, механізованого інструменту, впровадженням агрегатних верстатів і верстатів з числовим програмним керуванням, здатних швидко переналагоджуватись на випуск різних за типом деталей, застосуванням систем автоматичного контролю і керування технологічними процесами.

### **1.2.3. Вплив методів виробництва на автоматизацію і механізацію виробничих процесів**

За методом організації виробництва у машинобудуванні розрізняють непотоковий і поточковий методи.

Непотоковим називають метод виробництва, при якому виготовлення деталей і складання виробів здійснюється на обладнанні, розставленому без відповідності до технологічної послідовності виконання операцій. Характерною ознакою непотокового виробництва є відсутність синхронізації операцій за тривалістю, обладнання розташовується групами за технологічною ознакою (наприклад, при механічній обробці – токарна, фрезерна, шліфувальна групи і т.п.).

Потоковим називають такий метод виробництва, при якому операції обробки або складання виробів закріплені за певним обладнанням чи робочими місцями, які розташовані в порядку виконання операцій, а об'єкт виробництва з однієї операції на іншу передається за допомогою спеціальних транспортних засобів. Потокова форма організації виробництва є основною передумовою впровадження комплексної механізації і автоматизації.

Основою поточкового виробництва є потокова лінія. Робота поточкових ліній характеризується детальним розділенням технологічного процесу на операції, синхронністю роботи обладнання, ритмічним повторенням операцій на кожному робочому місці. Спеціалізація робочих місць і технологічних операцій при поточковому методі виробництва дозволяють використовувати високопродуктивне спеціалізоване обладнання і сприяє комплексній механізації і автоматизації виробництва.

### **1.2.4. Технологічність конструкції виробів і автоматизація виробництва**

Об'єктивною умовою доцільності впровадження механізації і автоматизації є економічна ефективність. У більшості випадків автоматизація виробництва є більш складним процесом і потребує більших капіталовкладень.

Значний вплив на економічну ефективність автоматизації має річний обсяг випуску продукції і технологічність конструкції виробу.

Зі збільшенням обсягу випуску продукції створюються більш сприятливі умови для окупності витрат на автоматизацію. Ефективним напрямком збільшення програми випуску продукції є уніфікація, стандартизація і нормалізація елементів конструкції машин. Наприклад, уніфікація як одна з форм стандартизації встановлює мінімальну кількість видів і типорозмірів для елементів машин, що забезпечує їх взаємозамінність. Уніфіковані деталі, складальні одиниці і агрегати можуть бути використані в різних машинах, що створює умови для розширеного їх виробництва на спеціалізованих підприємствах.

В останній час при вирішенні завдань автоматизації значна увага приділяється технологічності конструкції виробу. З погляду автоматизації під технологічністю конструкції розуміють властивість виробу відповідати вимогам автоматизованого виробництва по випуску виробів необхідної якості з мінімальними затратами на їх виготовлення. Чим більш технологічна конструкція деталі або машини, тим менша трудомісткість і собівартість її виготовлення і тим скоріше окупляться затрати на автоматизацію.

Розрізняють технологічність деталей і технологічність складальних одиниць (агрегатів). При автоматизації виробництва технологічність деталей розглядають з погляду можливості автоматизації технологічних процесів їх виготовлення і складання в складальні одиниці та агрегати.

З позиції технологічності виготовлення деталі характеризуються такими ознаками, як: габаритні розміри, маса і простота форми деталі; наявність важкооброблюваних поверхонь, наприклад, поверхонь зі складним профілем, глибокими отворами невеликого діаметра і т.п.; використанням легкооброблюваних матеріалів; встановленими технічними вимогами до вихідних параметрів деталі, наприклад, вимогами до точності розмірів деталі, шорсткості поверхні тощо.

З позиції складання технологічність деталей визначається можливістю подачі деталей у зону складання, орієнтування і з'єднання деталей у складальні одиниці.

Всі вказані ознаки технологічності деталей тим чи іншим чином впливають на можливість автоматизації виробництва. Так, наприклад, простота форми забезпечує легкість, зручність і надійність закріплення деталі в процесі обробки, обробку, транспортування і контроль. Це дозволяє використовувати більш просте в конструктивному плані обладнання і оснастку, спрощує його автоматизацію. Використання

легкооброблюваних матеріалів і обмеження кількості марок матеріалів при виробництві деталей скорочує перелік необхідного обладнання та інструменту, дає можливість застосування безперервних, більш прогресивних технологічних процесів і зменшити їх різноманітність, що значною мірою буде сприяти автоматизації виробництва.

Технологічність складальних одиниць і агрегатів під автоматичне складання забезпечується, насамперед, побудовою конструкції за блочним принципом. Це дозволяє суттєво спростити процес складання. Блоки можна складати паралельно і подавати в необхідній технологічній послідовності на загальне складання агрегату. Блоковість конструкції дає можливість одночасного використання широкого фронту робіт із виділенням окремих невеликих обсягів робіт у самостійні операції, для виконання яких можна використовувати спеціалізоване обладнання.

### **1.3. Виробничий процес і його елементи**

Загальне поняття виробничого процесу в автоматизованому виробництві включає в себе взаємодію перероблювальних органів обладнання з об'єктом переробки (предметом виробництва) і з системою керування.

За характером безперервності і орієнтації між предметом виробництва і робочим інструментом виробничі процеси можуть бути різного типу і мати різні можливості з погляду їх автоматизації.

За характером орієнтації виробу і робочого інструменту виробничі процеси поділяються на три типи:

– процеси, у ході яких потрібна обов'язкова орієнтація виробу і робочого інструменту, а характер відносного переміщення виробу та інструменту підпорядковується строгій кінематичній залежності. До такого типу належать, наприклад, більшість процесів механічної обробки деталей на металорізальних верстатах, процеси, пов'язані з розбиранням та складанням машин. Такі процеси найбільш складно піддаються автоматизації;

– процеси, у ході яких не потрібна орієнтація виробу, а робочий інструмент являє собою активне оброблювальне середовище. До таких процесів належить, наприклад, термічна обробка, процеси промивання і фарбування деталей методом занурення. При виконанні таких процесів деталі можуть займати будь-яке положення, дотримання

кінематичних зв'язків виробу та інструменту не потрібне. Такі процеси легко піддаються автоматизації;

– процеси, у ході яких вироби повинні займати певне положення, а робочий інструмент являє собою активне оброблювальне середовище. До таких процесів можна віднести нанесення покриттів методами електролітичного осаджування та газотермічного напилювання. Такі процеси також відносно легко піддаються автоматизації.

За характером безперервності виробничі процеси також можна поділити на три типи:

– процеси, що виконуються на машинах дискретної дії. Ці процеси виконуються на машинах-автоматах та напівавтоматах і характеризуються строгою циклічністю протікання елементів виконуваних операцій;

– процеси, що виконуються на машинах безперервної дії. Ці процеси характеризуються безперервним рухом виробів при нерухомому положенні робочого інструменту. Виробничий процес протікає без періодичної зупинки обладнання для установки і зняття оброблюваних виробів;

– процеси, у яких обробка виробів виконується при безперервному русі і виробу і інструменту. Ці процеси, зазвичай, здійснюються на автоматичному обладнанні роторного типу. Таке обладнання характеризується тим, що вироби в процесі обробки безперервно переміщуються від початку до кінця всього циклу обробки.

Для керування будь-яким процесом необхідно знати закономірності, за якими протікає цей процес і якими пов'язані окремі параметри процесу. При автоматичному керуванні ці закономірності повинні бути виражені математично рівняннями процесу.

Так, у процесі обертового руху фрикційного варіатора обертів (рис. 1.1) зв'язок між кутовою швидкістю веденого вала ( $\omega_2$ ) і ведучого вала ( $\omega_1$ ) записується рівнянням:

$$\omega_2 = \omega_1(R_1/R_2) \quad (1.5).$$

Змінюючи, наприклад, величину  $R_1$ , можна автоматично змінювати кутову швидкість веденого валу.

Керування процесами можна звести до трьох основних завдань:

– розпорядження виникненням і зупиненням процесу (наприклад, вмикання і вимикання двигуна);



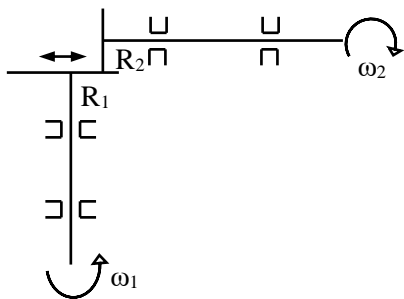


Рис. 1.1.

– розпорядження напрямком процесу (наприклад, перемикання напрямку руху супорта токарного верстата);

– розпорядження режимом процесу, тобто його якісними і кількісними показниками.

Залежно від режимів розрізняють чотири типи процесів:

– процеси з вільними, некерованими режимами (робота електродвигуна в некерованому

режимі, без керування обертами і крутним моментом);

– процеси з режимами, керованими тільки за напрямком (робота того ж електродвигуна з реверсивним пристроєм для зміни напрямку обертання);

– процеси з режимами, вільними в заданих межах (наприклад, заповнення системи стисненим повітрям іде до тих пір, поки тиск у ній не досягне певної величини);

– процеси з керованими режимами. Ці процеси найбільш складні і за характером керування параметрами процесу можуть відповідати таким вимогам:

– параметри процесу повинні зберігати постійні показники (процеси зі стабілізувальним керуванням);

– параметри процесу повинні змінюватись за часом за наперед визначеним законом (процеси з програмним керуванням);

– одні параметри процесу повинні певним чином змінюватись залежно від зміни інших параметрів;

– параметри процесу повинні певним чином змінюватись від зміни параметрів інших процесів.

Останні дві вимоги належать до процесів із слідкувальним керуванням.

#### 1.4. Методи автоматизаційного зв'язування процесів.

##### Поняття про основні та додаткові зв'язки

Розрізняють три види автоматизаційного зв'язування процесів:

- порядково-часове;
- граничне (або релейне);
- функціональне.

Порядково-часовим зв'язуванням процесів називається встановлення залежності між виникненням і закінченням цих процесів у часі (наприклад, вмикання електродвигуна вертикального переміщення вантажоукладача автоматизованого складу після досягнення вантажоукладачем заданої координати переміщення уздовж стелажа, вимикання цього електродвигуна і вмикання електродвигуна переміщення вантажу в осередок (з осередку) при досягненні вантажоукладачем заданої координати при вертикальному переміщенні).

Граничним зв'язуванням називається встановлення зв'язку між граничним значенням одного з процесів (розпоряджувального) і виникненням чи припиненням другого (виконавчого), причому виконавчий процес може протікати з незалежним режимом (наприклад, вмикання і вимикання живлення електромагніта парового крана системи регулювання температури електроліту в процесі нанесення гальванічних покриттів. Живлення вмикається і вимикається відповідно при пониженні і підвищенні температури до певного рівня, незалежно від того, з якою швидкістю проходить охолодження чи нагрівання електроліту).

Функціональне автоматизаційне зв'язування встановлює залежність між зміною параметрів розпоряджувального і виконавчого процесів. Якщо розпоряджувальний і виконавчий процеси мають тільки по одному параметру, то рівняння зв'язку буде мати вигляд функції:

$$y = f(x), \quad (1.6)$$

де  $y$  – параметр виконавчого процесу,  $x$  – параметр розпоряджувального процесу.

У системах автоматичного керування і автоматичного регулювання виділяють два види зв'язків. Поряд з основними зв'язками, які забезпечують основний процес автоматичного керування і регулювання, автоматичні пристрої в багатьох випадках забезпечуються додатковими зв'язками, які діють паралельно до основних.

Розрізняють два основні види зв'язків – жорсткий (або статичний) і гнучкий (або астатичний).

Жорстким називається такий зв'язок, у якого вхідний параметр  $x_n$  ланки, що розглядається, зв'язаний із вихідним параметром  $y_{n-1}$

попередньої ланки однозначно з постійним коефіцієнтом пропорційності:

$$x_n = \kappa_n \cdot y_{n-1}. \quad (1.7)$$

Перехідні процеси при жорсткому зв'язку здійснюються миттєво.

Гнучкими називаються такі зв'язки, у яких перехідний процес займає визначений час, а залежність між параметрами  $x_n$  та  $y_{n-1}$  має складний вираз, у який входять похідні від  $x_n$  та  $y_{n-1}$  у часі.

Якщо знаки параметрів  $x_n$  та  $y_{n-1}$  однакові, то значення  $\kappa_n > 0$  і зв'язок називається додатним. При різних знаках параметрів  $x_n$  та  $y_{n-1}$  значення  $\kappa_n < 0$  і зв'язок називається від'ємним.

Різновидами гнучкого зв'язку є швидкісний і ізодромний зв'язок.

Швидкісним називають зв'язок, у якого вхідний параметр  $x_n$  наступної ланки залежить не тільки від абсолютного значення вихідного параметру  $y_{n-1}$  попередньої ланки, але й від швидкості його зміни:

$$X_n = \kappa_1(dy_{n-1}/dt) + \kappa_2y_{n-1}. \quad (1.8)$$

Ізодромний – це особливий вид гнучкого зв'язку, дія якого при великих швидкостях зміни параметра об'єкта наближається до дії жорсткого зв'язку, а при плавній зміні параметрів здійснюється по складному закону гнучкого зв'язку.

Додаткові зв'язки можуть бути прямими і зворотними, додатними і від'ємними.

Прямим додатковим зв'язком називається такий зв'язок, коли його дія має такий же напрямок, як і дія основного зв'язку. Додатним він буде в тому випадку, коли коефіцієнт його перетворення збігається за знаком з коефіцієнтом перетворення основного зв'язку. У протилежному випадку додатковий зв'язок буде від'ємним.

Принцип дії зворотного зв'язку можна показати схемою, наведеною на рис. 1.2. Основний елемент ОЕ охоплено зворотним зв'язком, який здійснюється за допомогою допоміжного елемента зворотного зв'язку ЕЗЗ. На вхід системи подається сигнал  $x_n$ , а на її виході утворюється сигнал  $y_{n-1}$ . Формування сигналу зворотного зв'язку  $u_{зз}$  виконується елементом зворотного зв'язку, дія якого визначається коефіцієнтом перетворення зворотного зв'язку:

$$\beta = y_{n-1} / y_{зз}. \quad (1.9)$$

Якщо сигнал  $u_{зз}$  збігається за знаком із вхідним сигналом  $x_n$ , то утворюється додатний зворотний зв'язок, при цьому на вхід основного

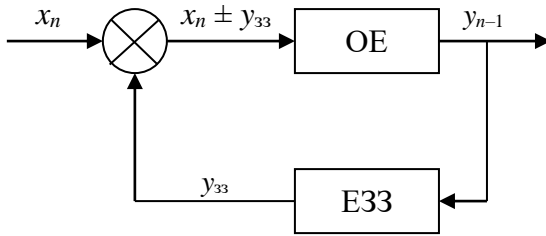


Рис. 1.2. Елемент автоматичної системи, охоплений зворотним зв'язком

елемента надходить сигнал  $x_n + y_{zz}$ . Якщо сигнал  $y_{zz}$  не збігається за знаком із вхідним сигналом  $x_n$ , то утворюється від'ємний зворотний зв'язок і на вхід основного елемента надходить сигнал  $x_n - y_{zz}$ .

### Питання і завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення механізації і автоматизації. Назвіть і охарактеризуйте види механізації і автоматизації.
2. Дайте визначення автомата, напівавтомата і автоматичної лінії.
3. Охарактеризуйте основні завдання механізації і автоматизації виробництва.
4. Поясніть вплив форм організації промислового виробництва на автоматизацію і механізацію виробничих процесів.
5. Який тип виробництва створює найбільш сприятливі умови для автоматизації і механізації?
6. Поясніть вплив методу виробництва на автоматизацію і механізацію виробничих процесів.
7. Назвіть ознаки технологічності деталей і технологічності складальних одиниць. Яким чином вони впливають на можливість автоматизації виробництва?
8. На які типи розподіляються виробничі процеси за характером орієнтації між предметом виробництва і робочим інструментом та за характером безперервності?
9. На які типи можна розподілити процеси залежно від режимів?
10. Які існують види автоматизаційного зв'язування процесів?
11. У чому полягає особливість іздромного зв'язку?
12. Назвіть види додаткових зв'язків. Поясніть принцип дії зворотного зв'язку.

## 2. ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ

### 2.1. Класифікація елементів автоматичних пристроїв

Для автоматизації технологічних процесів у промисловості використовуються різноманітні за призначенням і будовою автоматичні системи і пристрої. Будь-яка автоматична система складається з окремих елементів, кожен з яких виконує певні функції.

Сукупність елементів, з'єднаних послідовно або паралельно в послідовності, що відповідає їх взаємодії, утворює функціональну схему автоматичної системи.

Класифікацію елементів автоматичних пристроїв розглянемо на прикладі системи автоматичного регулювання температури електронагрівальної печі (рис. 2.1).

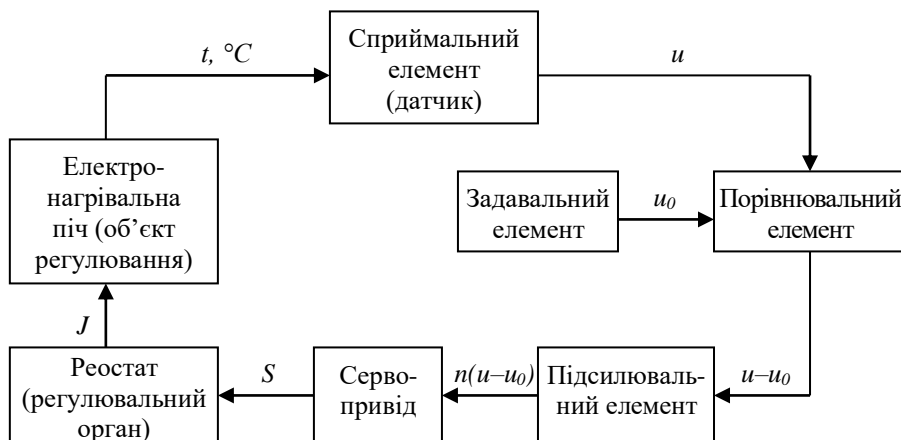


Рис. 2.1. Функціональна схема автоматичного регулятора температури електронагрівальної печі

Сприймальний елемент (термопара) сприймає фактичну температуру ( $t, ^\circ\text{C}$ ) об'єкта регулювання, перетворює її в напругу і передає цей сигнал у порівнювальний елемент (орган порівняння). Одночасно в орган порівняння надходить сигнал  $u_0$ , який виробляється задавальним елементом. Величина сигналу  $u_0$  пропорційна величині температури  $t_0$ , яку необхідно підтримувати в печі. У порівнювальному елементі сигнали  $u$  і  $u_0$  порівнюються і виробляється сигнал неузгодження  $u - u_0$ . Оскільки величина  $u - u_0$  може бути занадто

малою для приведення в дію сервопривода, в схему введено підсилювальний елемент. Підсилений сигнал  $n(u-u_0)$  надходить на електродвигун сервопривода, який переміщує повзун реостату на величину  $S$ . При цьому змінюється сила струму, який проходить через нагрівач печі. Переміщення повзуна реостата буде йти до тих пір, поки неузгодження сигналів  $u - u_0$  не зменшиться до 0. Причому, цей процес відбуватиметься при кожному відхиленні величини  $u$  від  $u_0$ , що забезпечує автоматичне підтримання заданої температури об'єкта регулювання.

Розглянута схема автоматичного регулювання включає основні, найбільш характерні, елементи, з яких складаються автоматичні пристрої. У загальному випадку елементами автоматичних пристроїв є:

- сприймальні елементи (датчики), які сприймають (вимірюють) зміну параметрів процесу (об'єкта);
- задавальні елементи (задавачі) встановлюють значення чи закон зміни параметру, який характеризує керований процес;
- порівнювальні елементи (або нуль-органи) – автоматично порівнюють фактичне значення параметрів процесу з заданим і виробляють сигнал їх неузгодження;
- перетворювальні елементи, які перетворюють сигнали у вигляді, зручний для дії на наступні елементи системи (наприклад, у розглянутому прикладі автоматичного регулятора датчик одночасно виконує функції сприймального елемента і перетворювального елемента, одночасно функції перетворювальних елементів виконують також підсилювач і сервопривід;
- підсилювачі, які підсилюють слабкі входні сигнали до рівня, достатнього для приведення в дію наступної ланки системи;
- виконавчі елементи, які безпосередньо діють на робочі органи об'єкту регулювання (керування).

## 2.2. Сприймальні елементи

Сприймальні елементи за характером їх дії розподіляються на дві групи.

До першої групи відносять датчики. У загальному випадку датчик можна представити у вигляді чутливого елемента (ЧЕ) і перетворювача (ПЕ) (рис. 2.2). У чутливому елементі параметр процесу  $x$ , який підлягає контролю, перетворюється у такий вид

сигналу  $x'$ , який зручний для вимірювання. У перетворюючому елементі, як правило, проходить перетворення неелектричного сигналу  $x'$  в електричний  $y$ . На вхід датчика можуть надходити як електричні, так і неелектричні сигнали, а з виходу, як правило, отримуються електричні сигнали. Це пов'язано з тим, що електричні сигнали краще підлягають підсиленню і передачі на різні відстані.

Деякі датчики, такі як, наприклад, термопарні, поєднують у собі одночасно функції чутливого елемента і перетворювача. Температура, яку сприймає робочий спай термопари, безпосередньо перетворюється термопарою в електричний сигнал – термо-ЕРС.

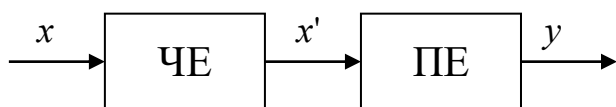


Рис. 2.2. Загальна структурна схема датчика

Основними показниками, якими характеризується датчик, є: статична характеристика, чутливість, динамічна характеристика.

Статична характеристика показує залежність вихідного параметра  $y$  від вхідного  $x$ :  $y = f(x)$ .

Чутливістю датчика називається стрімкість нахилу статичної характеристики:  $s = \Delta y / \Delta x$ .

Динамічна характеристика датчика характеризує особливості його роботи при швидких змінах вхідного параметра. Динамічна характеристика датчика може бути представлена, зокрема, характером зміни вихідного параметра  $y$  в часі при стрибкоподібній зміні вхідного параметра  $x$ . Крива, яка відображає цю залежність, називається кривою перехідного процесу.

За характером сигналів, які виробляє датчик, датчики можуть бути трьох типів:

- датчики безперервної дії (або пропорційні датчики) виробляють сигнал, пропорційний за своєю величиною значенню параметра, який сприймається чи вимірюється датчиком;

- датчики ступінчатої дії (контактні датчики або датчики релейного типу) посилають у систему сигнал тільки тоді, коли параметр, який ними сприймається чи вимірюється, досягає при своєму збільшенні (чи зменшенні) наперед визначеного значення;

- імпульсні датчики реагують на будь-які зміни параметра, який

ними сприймається, але при цьому змінюється не величина сигналу датчика, а кількість разових сигналів (імпульсів), що виробляє датчик. За кількістю імпульсів, які надходять від датчика, можна робити висновок про величину вимірюваного параметра.

Серед великої різноманітності типів датчиків, що використовуються як сприймальні елементи, у системах автоматики найбільш поширені електричні датчики. Вони поділяються на дві великі групи: параметричні і генераторні (або датчики електрорушійної сили – ЕРС).

Параметричні датчики служать для перетворення неелектричного параметра, що сприймається датчиком, у параметри електричного ланцюга (електричний опір, індуктивність, ємність). Ці датчики розподіляються на датчики активного опору (контактні датчики, реостатні датчики, потенціометричні датчики, тензометричні датчики, терморезисторні датчики) і датчики реактивного опору (індуктивні датчики, ємнісні датчики).

Генераторні датчики призначені для перетворення неелектричного параметра, що сприймається датчиком, в ЕРС. До генераторних належать термоелектричні, п'єзоелектричні і тахометричні датчики.

**Контактні електричні датчики** являють собою сприймальний елемент, у якому механічні переміщення перетворюються в замкнений або розімкнений стан контактів, які керують одним або декількома електричними ланцюгами. Електроконтактні датчики широко використовуються в приладах автоматичного контролю і сортування деталей за лінійними розмірами.

До переваг цих датчиків належать: простота конструкції, висока точність (до 1...2 мкм). До недоліків – необхідність періодичного підналагодження і зачищення контактів через їх обгорання.

**Реостатні і потенціометричні датчики** служать для перетворення лінійних чи кутових переміщень в електричний сигнал. Прикладом потенціометричного датчика може бути резисторний дротяний датчик, який являє собою змінний електричний резистор, вихідна напруга якого залежить від положення струмоз'ємного контакту (рис. 2.3). Вихідна напруга датчика  $U_{\text{вих}}$  пов'язана з переміщенням  $x$  залежністю:

$$U_{\text{вих}} = U_0 R_2 / (R_1 + R_2) = U_0 x / l, \quad (2.1)$$



де  $U_0$  – напруга живлення датчика;  $R_2$  – опір введеної частини датчика;  $R_1 + R_2$  – власний опір датчика;  $x$  – переміщення струмознімального контакту;  $l$  – довжина обмотки датчика;  $R_z$  – опір навантаження.

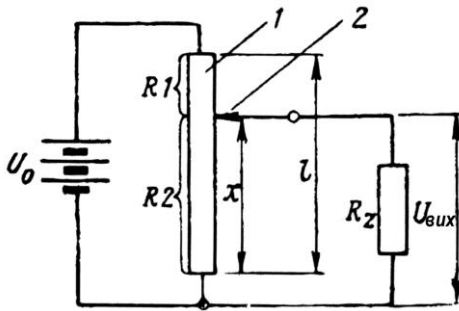


Рис. 2.3. Потенціометричний датчик з прямолінійним переміщенням струмознімального контакту: 1 – дротяний резистор; 2 – ковзний контакт

Основними перевагами реостатних і потенціометричних датчиків є: конструктивна простота, мала маса і габаритні розміри, можливість живлення постійним та змінним струмом, можливість отримання лінійних статичних характеристик з високою точністю, простота регулювання. Недоліком цих датчиків є: наявність рухомого контакту, який може окислюватись і зношуватись, що знижує надійність і термін служби датчика; невисока чутливість.

**Тензометричні датчики** (тензодатчики) призначені для вимірювання зусиль і деформацій. В основу роботи тензодатчиків покладено властивість матеріалів змінювати свій електричний опір при деформації під дією прикладених зусиль, яку називають тензоефектом.

Зразком тензометричного датчика простішої конструкції є дротяний тензодатчик (рис. 2.4), який складається з лакової або паперової підкладки 2, на яку наклеєний чутливий елемент 1. Для включення тензодатчика у вимірювальну схему до кінців чутливого елемента припаяні вихідні провідники 3. Зверху чутливий елемент також закривається тонким папером або плівкою. Тензодатчик за допомогою клею закріплюється на деталі 4.

Чутливий елемент являє собою зигзагоподібний відрізок ніхромового або константанового дроту діаметром 0,02...0,05 мм. Основна вимога до матеріалу чутливого елемента – високий питомий електричний опір, незначна залежність опору від температури, високий коефіцієнт тензочутливості, який визначається за співвідношенням:

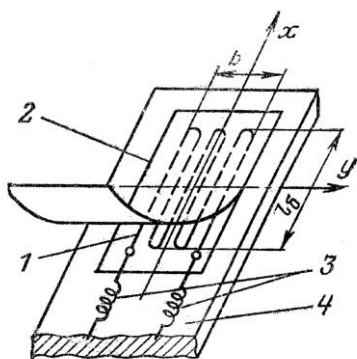


Рис. 2.4. Дротяний тензодатчик:  
 1 – чутливий елемент;  
 2 – підкладка; 3 – вихідні провідники; 4 – деталь

$$k_T = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l}, \quad (2.2)$$

де  $\Delta R / R$  – відносна зміна опору чутливого елемента;  $\Delta l / l$  – відносна зміна довжини дроту.

Основними перевагами дротяних тензодатчиків є: простота конструкції, безінерційність, лінійна і симетрична при розтягуванні-стисненні характеристика.

До основних недоліків дротяних тензодатчиків відноситься: невисока чутливість і необхідність використання підсилювачів, чутли-

вість показників до температури, одноразове використання.

Окрім тензометричних датчиків, які працюють на принципі тензоефекту, у техніці використовуються напівпровідникові тензодатчики, принцип дії яких оснований на зміні питомого електричного опору напівпровідникового кристалу при деформації. Для виготовлення напівпровідникових тензодатчиків частіше всього використовують германій і кремній.

Напівпровідникові тензодатчики відрізняються високою тензочутливістю (коефіцієнт тензочутливості порівняно з дротяними тензодатчиками у 60...100 разів вищий), мають значну величину вихідного сигналу, що дозволяє обходитись без підсилювача. Недоліком цих датчиків є мала механічна міцність (крихкість), значний вплив на параметри датчика навколишнього середовища, значний розкид параметрів однотипних датчиків і нелінійність характеристики.

**Індуктивні датчики** широко використовують для вимірювання невеликих лінійних і кутових механічних переміщень, деформацій, точного контролю розмірів деталей в контрольно-вимірювальних приладах, а також у системах керування слідкувальними пристроями в металообробних верстатах.

Індуктивний датчик являє собою електромагнітний дросель зі змінним повітряним зазором  $\delta$ , обмотка якого  $l$  включена послідовно з опором навантаження  $R_n$  (рис. 2.5). Зміна зазору  $\delta$  між якорем 3 і магнітопроводом 2 викликає зміну величини індуктивного опору і

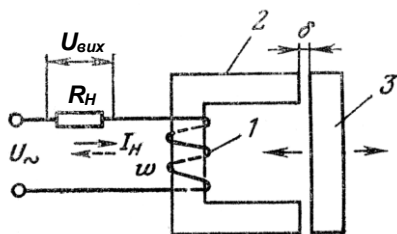


Рис. 2.5. Схема індуктивного датчика зі змінним зазором:  
1 – обмотка; 2 – магнітопровід;  
3 – якорь

струму, який проходить через обмотку, що викликає зміну сигналу вихідної напруги  $U_{\text{вих}}$ , який є вихідним сигналом датчика.

Індуктивні датчики відрізняються великою чутливістю і дозволяють вимірювати відхилення розмірів до десятих і сотих частин міліметра. До переваг індуктивних датчиків також належить простота конструкції, відсутність ковзних контактів, більш високий ККД

порівняно з потенціометричними датчиками.

Основними недоліками індуктивних датчиків є: складність регулювання; можливість роботи тільки на змінному струмі; обмеженість діапазону лінійної статичної характеристики; залежність коефіцієнта перетворення від частоти і напруги живлення.

**Ємнісні датчики** в загальному випадку являють собою конденсатор, у якому ємність змінюється при зміні вимірюваного (регульованого) неелектричного параметра.

Відомо, що ємність конденсатора залежить від відстані між пластинами (обкладинками), площі пластин конденсатора і діелектричної проникності середовища між пластинами. Для плоского конденсатора, наприклад, ця залежність визначається за формулою:

$$c = 0,088\epsilon s/d, \quad (2.3)$$

де  $\epsilon$  – відносна діелектрична проникність середовища;  $s$  – активна площа пластин (обкладинок) конденсатора;  $d$  – відстань між пластинами (обкладинками) конденсатора.

Відповідно до залежності (2.3) перетворення вхідного контрольованого параметра в ємнісних датчиках у зміну ємності може відбуватися за рахунок зміни величин  $d$ ,  $s$  і  $\epsilon$ . На рис. 2.6 показано ємнісний датчик, у якому зміна контрольованого параметра викликає зміну відстані між пластинами  $d$ .

Ємнісні датчики широко використовуються в автоматичі для контролю лінійних та кутових переміщень, товщини різних покриттів, рівня рідин, температури, тиску. Такі датчики мають велику чутливість і дозволяють вимірювати швидкозмінні переміщення. Але для

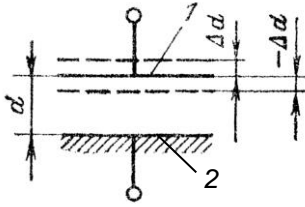


Рис. 2.6. Схема емнісного датчика зі змінною відстанню між пластинами:  
1 – рухома пластина; 2 – нерухома пластина

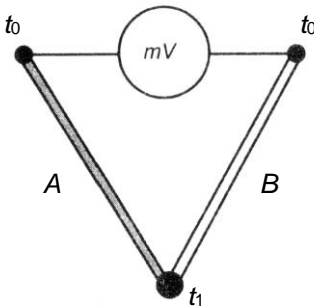


Рис. 2.7. Принципова схема термоелектричного термопарного датчика

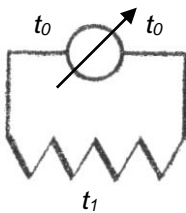


Рис. 2.8. Послідовне включення термоелектричних термопарних датчиків

живлення емнісних датчиків потрібні спеціальні високочастотні генератори і підсилювачі потужності.

Значними недоліками емнісних датчиків є також вплив на їх роботу паразитних ємностей, зміни температури і вологості повітря, що впливає на стабільність характеристик.

**Термоелектричні термопарні датчики** належать до датчиків генераторного типу. Конструктивно термопарний датчик являє собою спай двох провідників із різнорідних металів або сплавів, наприклад, залізо-константан, мідь-константан, нікель-хромонікель, хромель-алюмель, платина-платинорадій. Принцип роботи термопарного датчика ґрунтується на явищі термоелектричного ефекту, яке полягає у виникненні термо-ЕРС і струму в ланцюгу із двох різнорідних провідників *A* і *B* (рис. 2.7), якщо температура  $t_0$  одного з'єднання термопари відрізняється від температури  $t_1$  другого з'єднання. Величина термо-ЕРС буде тим більша, чим більша різниця температур кінців термопари  $t_0$  і  $t_1$ .

Металічні термопари широко використовуються в системах контролю і автоматичного регулювання температури. До основних недоліків цих термопар можна віднести: малу потужність сигналу; наявність паразитної термо-ЕРС; теплову інертність.

Часто для вимірювання температури використовують не одиночні термопари, а декілька з'єднаних послідовно термопар (рис. 2.8). Таке з'єднання дозволяє підвищити значення термо-ЕРС і вихідну потужність термоелектричного датчика.

**П'єзоелектричні датчики**, як і термоелектричні, за характером створення вихідного сигналу належать до датчиків генераторного типу. Робота п'єзоелектричних датчиків основана на використанні п'єзоелектричного ефекту, який полягає у властивості кристалів деяких матеріалів утворювати на гранях своїх поверхонь при дії на них механічних навантажень електричні заряди (прямий п'єзоэффект) і деформуватись, якщо до цих матеріалів прикладають електричне поле (зворотний п'єзоэффект). Кількісно п'єзоэффект можна оцінити п'єзоелектричним модулем  $K_0$ , який встановлює пропорційність між величиною виникаючого заряду  $q$  і прикладеною силою  $P$ :

$$q = K_0 \cdot P. \quad (2.4)$$

Із природних матеріалів для тензоелектричних датчиків найчастіше всього використовується кварц. Із штучних кристалів використовують кристали сегнетової солі, дігдродфосфату калію, дігдродфосфату амонію та ін. Широко використовуються сегнетоелектрики у вигляді п'єзокерамік титанату барію, титанату свинцю та ін. Ці сегнетоелектрики порівняно з кварцем мають значно більший п'єзоелектричний модуль і більшу механічну міцність, але, наприклад, титанат барію піддається старінню, у результаті чого його п'єзоелектричний модуль падає.

Конструктивно п'єзоелектричні датчики, як правило, являють собою набір декількох кварцових пластин або пластин з іншого п'єзоелектричного матеріалу, які механічно з'єднані послідовно, а електрично – паралельно (рис. 2.9). Використання набору з декількох пластин дозволяє підвищити вихідну ЕРС, яка складається з ЕРС, що виникає на кожній з пластин.

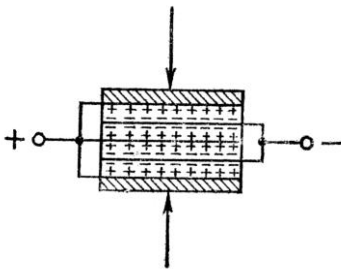


Рис. 2.9. П'єзоелектричний датчик

П'єзоелектричні датчики малогабаритні, відрізняються простотою конструкції, надійністю і широко застосовуються для вимірювання тиску, сили, прискорення. Важливою перевагою всіх п'єзоелектричних датчиків є їх безінерційність, а основним недоліком – мала вихідна потужність, що потребує підсилення.

У лічильних схемах для вимірювання переміщень робочих

органів верстатів, лічильниках кількості деталей, запобіжних пристроях широко використовуються **фотоелектричні датчики**.

Головна складова частина фотоелектричного датчика – фотоелемент, який реагує на зміну світлового потоку. Залежно від фізичних процесів, які відбуваються під дією світлової енергії, фотоелементи поділяються на фотоелементи із зовнішнім фотоелементом, фотоопори і фотоелементи із запираючим шаром.

Фотоелемент із зовнішнім фотоелементом (рис. 2.10) являє собою вакуумний або газонаповнений балон, у якому катодом є шар фоточутливого матеріалу, нанесений на внутрішню поверхню балона. Під дією енергії світлового потоку з матеріалу катода 2 вибиваються вільні електрони. Потік електронів, переміщуючись від катода до анода, утворює струм в електричному колі, який називають фотострумом. Величина фотоструму тим більша, чим більша інтенсивність світлового потоку, а напруга на навантажуваному опорі  $R_n$  є вихідним сигналом системи.

У вакуумних фотоелементах не відбувається впливу газу на рух вибитих із катода електронів. Характеристика таких фотоелементів лінійна – фотострум зростає або зменшується пропорційно до яскравості світлового випромінювання.

У газонаповнених фотоелементах вибиті квантами світла електрони при своєму русі від катода до анода, зіштовхуючись з молекулами газу, іонізують їх, тим самим збільшується кількість носіїв заряду і в декілька разів збільшується порівняно з вакуумними фотоелементами величина фотоструму. Але характеристика газонаповнених фотоелементів нелінійна. Крім того, ці фотоелементи, на відміну від вакуумних, інерційні – для стабілізації фотоструму після зміни інтенсивності світлового потоку необхідний деякий час, що пов'язано зі стабілізацією газового розряду.

Загальною перевагою фотоелектричних датчиків із зовнішнім фотоелементом є: висока чутливість, висока температурна стабільність характеристик. До недоліків цих датчиків належать: висока напруга живлення, низька механічна міцність, старіння і втомленість фотоелементів.

У фотоелектричних датчиках, у яких використовується принцип фотоопору, під дією світлового потоку змінюється електропровідність фотоелемента. При включенні у вимірювальну схему (рис. 2.11) вихідним сигналом такого датчика буде величина струму в ланцюгу

фотоопору або напруга на навантажувальному опорі, за якими можна судити про інтенсивність світлового потоку.

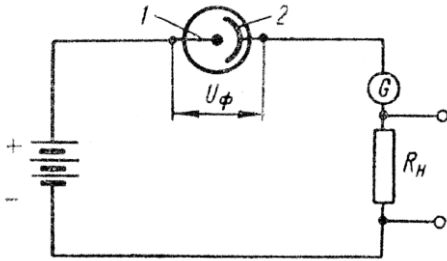


Рис. 2.10. Схема фотоелектричного датчика із зовнішнім фотоелементом: 1 – анод; 2 – катод

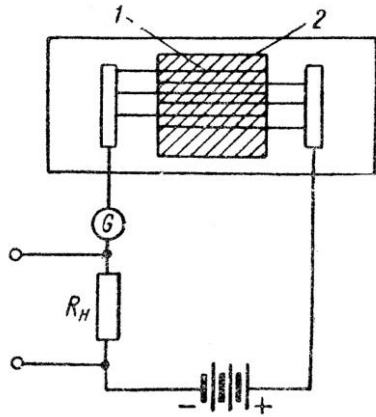


Рис. 2.11. Схема фотоелектричного датчика, побудованого на використанні фотоопору: 1 – решітка з металевого дроту; 2 – шар селену

Особливістю фотоелементів із запиральним шаром є використання ефекту односторонньої провідності. Зразок побудови такого фотоелемента і включення його у вимірювальну схему показано на рис. 2.12. Фотоелемент складається з тонкого шару золота 1, шару селену 3 і металічної пластини 4. На межі золота і селену утворюється запиральний шар 2, який може пропускати електрони тільки в одному напрямку – від селену до золота. Під дією світлового потоку, який через тонкий шар золота попадає на селен, у селені утворюються вільні електрони. Проходячи через запиральний шар і не маючи можливості повернутися назад, ці електрони накопичуються в шарі 1 і утворюють різницю потенціалів. У результаті в ланцюгу навантажувального опору з'являється струм, пропорційний за величиною інтенсивності світлового потоку.

З розвитком напівпровідникової техніки в ролі фотоелементів усе ширше використовують світло- і фотодіоди, а в якості каналу передачі – волокнисто-оптичні світловоди, які дозволяють передавати світлове випромінювання на велику відстань.

У системах автоматики фотоелектричні датчики використовуються в основному як дискретні дворівневі (є/нема потоку

світла). За цим принципом працюють, наприклад, фотореле: конструктивно фотореле являє собою фотодатчик, включений (безпосередньо або через підсилювач) у ланцюг обмотки електромагнітного реле. При попаданні світла на фотодатчик виникає струм, що приводить до спрацювання електромагнітного реле.

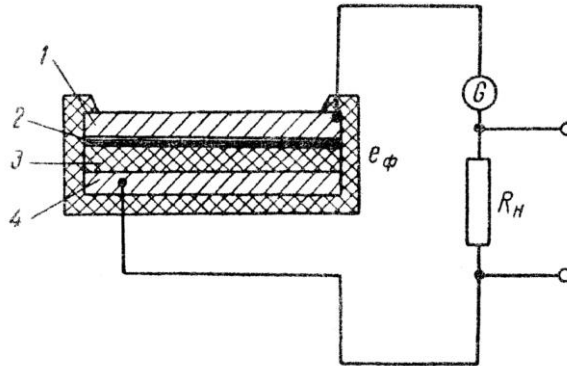


Рис. 2.12. Схема фотоелектричного датчика із запираючим шаром:  
1 – шар золота; 2 – запираючий шар; 3 – шар селену; 4 – металева пластина

**Сприймальні чутливі механізми і датчики переміщення.** Ця група сприймаючих елементів відрізняється тим, що при відповідній зміні параметра не тільки виробляють сигнал того чи іншого виду, але і безпосередньо вмикають, вимикають чи перемикають виконавчі механізми. Найбільш поширені сприймальні чутливі елементи, які

призначені для сприймання механічного переміщення робочих органів машин. За принципом дії вони поділяються на механічні, гідравлічні, пневматичні сприймальні чутливі механізми і електричні шляхові датчики.

До механічних належать різні кулачкові і важільні пристрої, які спрацьовують і виконують, як, наприклад, на рис. 2.13, вимкнення відповідної кінематичної ланки при досягненні робочим органом машини певного положення.

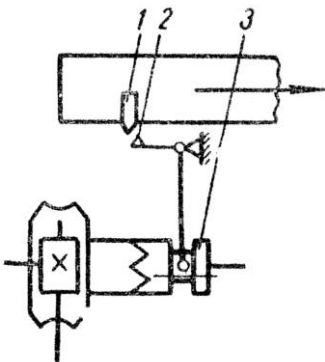


Рис. 2.13. Автоматичний зупинник: 1 – упор;  
2 – важіль; 3 – муфта



До гідравлічних чутливих механізмів переміщення і положення можна віднести золотники і крани управління, які використовуються в гідросистемах металорізальних верстатів. Під дією упорів, розташованих на рухомих робочих органах верстата, ці механізми змінюють напрямок потоку робочої рідини і, як наслідок, змінюється або припиняється рух робочого органу.

Пневматичні чутливі механізми переміщення чи положення при досягненні рухомим робочим органом верстата певного положення здійснюють відповідні переключення в ланцюгах пневматичної системи.

Електричні шляхові датчики контактного типу (перемикачі і кінцеві вимикачі) призначені для замикання і перемикавання електричних кіл керування при досягненні робочим органом машини заданого положення. За способом замикання контактів вони можуть бути: простої дії, які спрацьовують поступово в міру дії на них рухомої частини робочої машини; моментні, які спрацьовують миттєво, незалежно від швидкості руху упору, що діє на них.

### 2.3. Задавальні елементи

У будь-якій системі автоматичної стабілізації, програмного керування або регулювання є пристрій, за допомогою якого встановлюється необхідне на даний момент часу значення регульованого параметра відповідного процесу. Задавальні елементи, залежно від свого призначення, можуть бути трьох видів: стабілізувальні, програмні та слідкувальні.

За допомогою *стабілізувальних задавальних елементів* встановлюється постійне значення параметра, який визначає хід керованого процесу. Частіше всього в ролі стабілізувальних задавальних елементів використовуються електричні вузли, які виробляють постійні, установлені при їх настроюванні сигнали.

*Програмні задавальні елементи* – це пристрої, за допомогою яких задається закон зміни параметра керованого процесу в часі.

Простішими програмними задавальними елементами є різного роду упори, кулачки і копіри, які широко використовуються в системах програмного керування металообробних верстатів. Недоліком такого типу елементів є підвищене зношування робочих поверхонь і, як наслідок, утрата точності переміщення робочих органів

верстата, а також значна трудомісткість переналадки з однієї програми на іншу.

Простими щодо переналагодження задавальними елементами є командоапарати. Конструктивно командоапарат (рис. 2.14) являє собою барабан, який складається з набору дисків 1, закріплених на спільному валу 2. Вал обертається синхронно від електродвигуна 3 із заданою кутовою швидкістю. На дисках розміщені кулачки або пластинки, за допомогою яких здійснюється замикання, розмикання або перемикання відповідних електричних кіл управління. Змінюючи

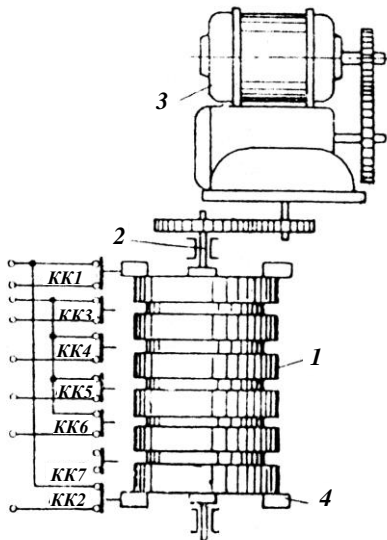


Рис. 2.14. Електричний командоапарат: 1 – диск; 2 – вал; 3 – електродвигун; 4 – кулачок

набір елементів командоапарата та їх розташування, можна змінювати послідовність роботи і кількість керованих ним виконавчих органів.

Командоапарати можуть керувати як групою виконавчих органів одного автомата, так і цілою системою групи автоматів. Блоковість конструкції кулачків дає можливість швидко переналагоджувати командоапарат з однієї програми на іншу.

У системах числового програмного керування (ЧПК) програма задається в закодованому вигляді на програмному носії – перфокарті, перфострічці або магнітній стрічці. За допомогою пристрою введення програма керування зчитується з програмного носія і передається у

пристрій ЧПК, який і виконує функції задатчика. У системах керування, побудованих на мікропроцесорах, програма вводиться в оперативну пам'ять ЕОМ.

*Слідкувальним задавальний елемент* називається в тому випадку, коли за його допомогою встановлюється залежність між зміною параметра, який визначає хід керованого процесу, і зміною параметра деякого іншого процесу. Як слідкувальні задавальні елементи використовуються селісини, потенціометри, механічні диференціали, варіатори та інші електричні, електронні та механічні вузли.

## 2.4. Порівнювальні елементи

У системах автоматики порівнювальні елементи (нуль-органи) виконують функції органу, який автоматично порівнює фактичне на певний момент часу значення вихідного параметра керованого (регульованого) процесу  $y(t)$  із заданим потрібним його значенням  $x(t)$ . На виході порівнювального елемента виробляється сигнал неузгодженості  $\Delta = x(t) \pm y(t)$ , який діє на систему доти, поки величини  $x$  і  $y$  не зрівнюються. Зазвичай, порівнювальні елементи об'єднуються з вимірювальними пристроями, які безперервно вимірюють фактичне значення вихідних параметрів об'єкта керування (регулювання).

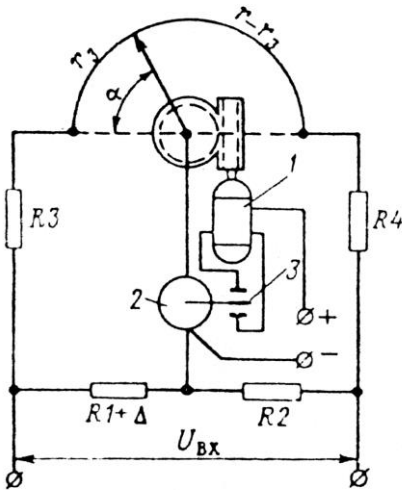


Рис. 2.15. Схема автоматичного рівноважного моста:

- 1 – реверсивний електродвигун;
- 2 – нуль-орган; 3 – контакти живлення електродвигуна

відповідному напрямку повзун реохорду до відновлення рівноваги.

## 2.5. Перетворювальні елементи

З прикладу розглянутого вище автоматичного регулятора температури (рис. 2.1) видно, що в автоматичних системах вихідні параметри (сигнали) сприймального елемента (датчика) або іншого

елементу попередньої ланки системи не завжди можуть відповідати параметрам, необхідним для приведення в дію елементів наступної ланки. Для перетворення сигналів в автоматичних системах використовуються різні перетворювальні елементи і пристрої – параметричні і генераторні датчики, підсилювачі, вимірювальні схеми, розрахунково-вирішувальні пристрої та інші.

Принцип дії датчиків як перетворювальних елементів розглянуто в розділі 2.2.

*Підсилювачі* – це перетворювальні елементи, призначені для збільшення (підсилення) слабких вихідних сигналів елемента попередньої ланки до рівня, необхідного для його подальшої обробки і підсилення малопотужного керуючого сигналу до потужності, необхідної для приведення в дію виконавчого органу системи. Підсилення потужності сигналу відбувається за рахунок енергії допоміжного джерела живлення.

Залежно від виду використовуваної енергії підсилювачі ділять на електричні, гідравлічні, пневматичні та комбіновані.

До групи електричних підсилювачів входять електронні, лампові, тиратронні, напівпровідникові, магнітні та електромашинні.

Основними характеристиками підсилювачів є:

- коефіцієнт підсилення;
- потужність, що споживається від допоміжного джерела енергії;
- вихідна потужність;
- коефіцієнт корисної дії (ККД);
- швидкодія;
- значення сталої часу (інерційність).

Коефіцієнт підсилення, наприклад для електричних підсилювачів, показує, у скільки разів потужність, струм чи напруга на виході підсилювача більші від їх величини на вході. У зв'язку з цим розрізняють коефіцієнт підсилення за потужністю  $k_P$ , за струмом  $k_I$  та за напругою  $k_U$ :

$$k_P = P_{вих}/P_{вх}; k_I = I_{вих}/I_{вх}; k_U = U_{вих}/U_{вх}. \quad (2.5)$$

Величина коефіцієнта підсилення за потужністю для різного типу підсилювачів, які використовуються в системах керування, лежить у межах від 10 до  $10^7$ , а вихідна потужність від часток вату до сотень кіловат. При потужності до 100 Вт зазвичай використовують

електронні підсилювачі, а при великій потрібній вихідній потужності – гідравлічні, пневматичні, магнітні та електромашинні підсилювачі.

Важливою характеристикою підсилювачів є інертність. Практично безінерційними можна вважати електронні підсилювачі, значення сталої часу яких становить  $10^{-6} \dots 10^{-10}$  с.

Через те, що в автоматичних системах сигнал датчика на шляху до виконавчого елемента може потребувати неодноразового перетворення і підсилення в сотні тисяч разів, підсилення може проходити в декілька етапів. У цих випадках підсилювачі часто будують багатокаскадними з декількох послідовно з'єднаних підсилювачів.

За характером роботи підсилювачі поділяються на підсилювачі плавної дії (пропорціональні) і підсилювачі ступінчастої дії (релейного типу).

Підсилювачі плавної дії характеризуються тим, що при плавній, поступовій зміні величини підведеного до них сигналу плавно і поступово змінюється величина вихідного підсиленого сигналу.

Підсилювачі ступінчастої дії не мають будь-якої визначеної функціональної залежності між величиною вхідного і вихідного сигналів. Вони спрацьовують тільки в момент досягнення вхідним сигналом певної величини. При цьому величина вихідного сигналу змінюється стрибкоподібно.

Практично будь-який підсилювач може працювати в релейному режимі. Найбільш поширеним типом підсилювачів ступінчастої дії є електромагнітні контактні реле. У загальному випадку електромагнітне контактне реле являє собою проміжний елемент, який приводить в дію один або декілька керованих електричних кіл при дії на їх обмотку електричних сигналів від керуючого кола. Типова схема включення реле в коло системи керування автоматичного пристрою і його характеристика наведені на рис. 2.16.

При збільшенні величини струму в котушці реле (струм керуючого кола) від 0 до  $I_{сп}$  (струм, при якому реле спрацьовує) реле спрацьовує і замикає контакти в керованому колі. У момент замикання контактів величина вихідного сигналу  $u_{вих}$  стрибкоподібно зростає від 0 до  $u_n$ . Подальше збільшення величини струму в колі керування не викликає збільшення вихідного сигналу. При зменшенні струму кола керування від  $I_{сп}$  до  $I_{від}$  (струм, при якому реле відпускає) реле розмикає контакти і величина вихідного сигналу знову стрибкоподібно зменшується від  $u_n$  до 0. Оскільки струм спрацювання, як правило,

більший за струм відпускання, характеристика має вигляд петлі гістерезису.

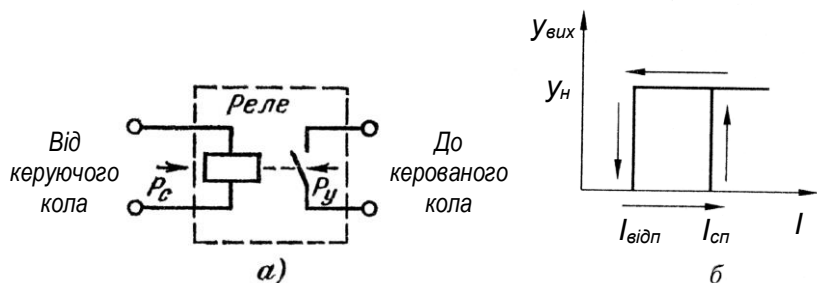


Рис. 2.16. Схема включення (а) і характеристика (б) електромагнітного контактного реле

Потужність у колі керування може бути значно меншою від потужності в керованому колі (коло навантаження), тому можна говорити про електромагнітне реле як про підсилювач потужності.

*Вимірювальні схеми* здійснюють підсилення і перетворення сигналів сприймального елемента шляхом включення його як ланки в спеціальну схему.

Найбільш поширеними є три види вимірювальних схем: мостові, компенсаційні та диференційні.

*Розрахунково-вирішувальні пристрої* (або обчислювальні системи) у системах автоматичного керування виконують функції перетворювачів, які шляхом автоматично виконуваних дій перетворюють вхідні координати в кінцеві рішення.

За характером виконуваних дій розрахунково-вирішувальні пристрої поділяються на цифрові (дискретної дії), моделюючі або аналогові (безпервної дії). Залежно від виду фізичних явищ, за допомогою яких моделюються обчислювальні операції, розрахунково-вирішувальні пристрої можуть бути механічними, електромеханічними, електронними, гідравлічними і т.ін.

## 2.6. Виконавчі елементи

Виконавчі елементи, як правило, є кінцевою ланкою автоматичної системи і призначені для безпосередньої дії або дії через узгоджувальний орган на робочі органи об'єкта керування (регулювання). Наприклад, електродвигун (виконавчий елемент) через

редуктор коробки передач (узгоджувальний орган) приводить у дію супорт верстата з закріпленим на ньому інструментом (робочий орган). Часто виконавчі елементи одночасно виконують функції перетворювачів, оскільки вони перетворюють одержану ними від попередніх ланок енергію у вид, зручний для дії на об'єкт керування (регулювання).

Як і інші елементи автоматичних систем, виконавчі елементи, залежно від виду енергії, яка ними використовується, поділяються на електричні, гідравлічні, пневматичні та комбіновані.

**Електричні виконавчі елементи.** До електричних виконавчих елементів відносять електромагнітні реле, електромагнітні муфти, електромагнітні контактори і клапани, електродвигуни постійного та змінного струму, крокові (імпульсні) електродвигуни та інші електричні пристрої, які перетворюють енергію електричного струму в енергію механічного руху.

Основним елементом електромагнітних виконавчих пристроїв є електромагніт, який приводить в дію (переміщує) робочий орган (задвижку, клапан, вентиль, диски електромагнітних муфт і т.ін.). За характером руху якоря електромагніти можуть бути з лінійним (поступальним) рухом якоря і з поворотним якорем. Із силових електричних виконавчих елементів електромагніти є найбільш простими, швидкодійними і надійними. Основним їх недоліком є порівняно невеликі зусилля і потужність, які розвиваються ними, і дискретний, дворівневий характер роботи (можливими є тільки два положення якоря).

Широкого використання в ролі виконавчих елементів набули різного роду електричні двигуни.

Електродвигуни постійного струму відрізняються великим крутним моментом при порівняно невеликих габаритах, значним діапазоном варіації частоти обертання, великим крутним моментом при пуску, що забезпечує високу швидкодію приводу, мають високий ККД (до 90%). Недоліками цих двигунів є механічне і електроерозійне зношування щіток і колектора, як наслідок, невисока надійність та довговічність, велика маса та інертність якоря, що знижує швидкодію, випромінювання електромагнітних перешкод унаслідок іскрового розряду між колектором і щітками, що ускладнює роботу електронної апаратури.

Електродвигуни змінного струму порівняно з двигунами постійного струму більш надійні та довговічні, менш інерційні, не

створюють перешкод для роботи електронної апаратури. Але при інших рівних умовах вони поступаються двигунам постійного струму за масою і габаритними розмірами, ККД, величиною пускового моменту і швидкодією. У системах автоматичного керування найбільш застосовні асинхронні електродвигуни змінного струму. Синхронні електродвигуни використовуються в тих випадках, коли потрібно підтримувати постійну частоту обертання.

Особливий вид являють собою електричні крокові (імпульсні) двигуни. За допомогою цих двигунів послідовний ряд електричних керуючих імпульсів перетворюється у фіксований кут повороту або фіксоване лінійне переміщення робочого органу.

Принцип роботи крокового двигуна (КД) можна розглянути на прикладі трисекційного КД (рис. 2.17). Як і всякий електричний двигун, КД складається з ротора і статора. На внутрішній поверхні статора розташовані три ряди (секції) полюсів (електромагніти статора). Ротор має таку ж кількість рядів полюсів. Полюси секцій статора суміщені, а кожен ряд полюсів ротора зміщений відносно другого на кут, відповідний  $1/3$  кроку полюсів так, що коли полюси статора і ротора першої секції збігаються, то полюси ротора другої секції будуть зміщені відносно полюсів статора на  $1/3$ , а полюси ротора третьої секції на  $2/3$  кроку. При подачі імпульсу струму на обмотку статора однієї з секцій полюси ротора цієї секції будуть намагатися зайняти положення найбільшої провідності магнітного потоку в магнітному колі статор-ротор, що викликає поворот вала КД. Кут повороту в градусах визначається кількістю полюсів  $N$ :

$$\Delta\varphi = 360 / 3N. \quad (2.6)$$

При подачі імпульсу на наступну обмотку вал КД повернеться ще на кут  $\Delta\varphi$  і т.д. Частота подачі електричних імпульсів і відповідних їм крокових переміщень визначає швидкість руху, а кількість імпульсів і крокових переміщень – величину шляху переміщення робочого органу.

**Гідравлічні та пневматичні виконавчі елементи.** Виконавчі елементи цієї групи в ролі джерела енергії для перетворення в енергію механічного руху використовують енергію рідини під тиском або енергію стисненого повітря. За цим принципом працюють відповідно гідравлічні та пневматичні двигуни.

Гідравлічні двигуни за видом руху поділяються на двигуни зі зворотньо-поступальним рухом (поршневі та мембранні) і двигуни



обертowego руху або гідромотори, до яких належать лопатеві, ротаційні та аксіально-поршневі гідродвигуни. Завдяки створенню високого тиску рідини гідродвигуни дозволяють розвивати на виході великі зусилля і потужність. Вони забезпечують плавне безступінчатє регулювання швидкості руху і дозволяють безпосередньо передавати рух робочому органу технологічного обладнання.

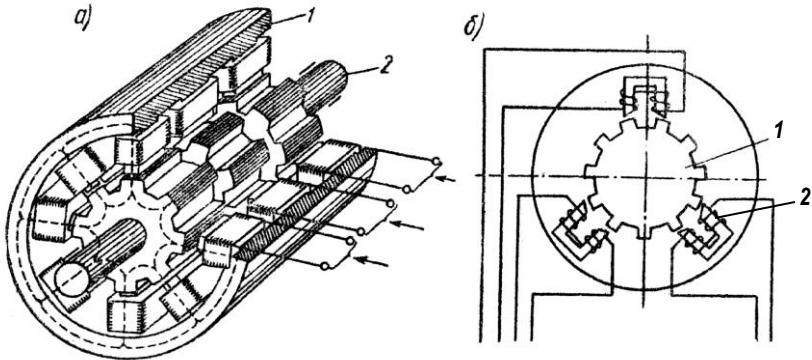


Рис. 2.17. Електричний кроковий двигун: *а* – загальний вигляд у розрізі (*1* – статор, *2* – ротор); *б* – схема (*1* – ротор, *2* – обмотки полюса статора)

Із пневматичних виконавчих механізмів найбільш поширеними є пневматичні поршневі двигуни. За принципом дії вони подібні до гідравлічних поршневих двигунів.

Пневматичні виконавчі механізми внаслідок малих в'язкості і питомої ваги газу порівняно з мастилом менш інерційні, але через відносно невеликий тиск газу не розвивають великих зусиль. Крім того, через велику здатність газу до стиснення пневмомеханізми не здатні точно відтворювати заданий закон руху, особливо при великих робочих зусиллях і значних прискореннях.

### Питання і завдання для самоконтролю

1. Наведіть класифікацію елементів автоматичних пристроїв і охарактеризуйте їх функції.
2. Які бувають типи датчиків за характером сигналів, що вони виробляють?
3. Які типи датчиків належать до параметричних і генераторних?
4. Назвіть основні показники, якими характеризується датчик.

5. У чому полягає особливість сприймальних чутливих механізмів і датчиків переміщення як сприймальних елементів?

6. Які існують види задавальних елементів? Поясніть принцип роботи електричного командоапарата.

7. Наведіть схему автоматичного рівноважного моста і поясніть принцип його роботи як порівнювального пристрою.

8. Які елементи і пристрої використовуються в автоматичних системах для перетворення сигналів? Назвіть основні характеристики підсилювачів.

9. Назвіть види електричних виконавчих елементів. Поясніть принцип роботи електричного крокового двигуна.

10. Дайте характеристику гідравлічних і пневматичних виконавчих елементів.

### 3. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ

#### 3.1. Класифікація систем автоматичних пристроїв

Системи автоматичних пристроїв, що використовуються для автоматизації технологічних процесів, надзвичайно різноманітні за їх призначенням, устроєм і складністю. У першому наближенні всі системи автоматичних пристроїв можна розподілити на три групи:

- системи автоматичного контролю;
- системи автоматичного керування, які виконують функції автоматичного регулювання, копіювання і програмного керування верстатами, машинами і процесами;
- системи зв'язку і керування на відстані, які здійснюють дистанційне керування і контроль.

У пропонованому навчальному посібнику системи зв'язку і керування на відстані не розглядаються.

Необхідно відмітити, що між поняттям автоматичного керування і автоматичного регулювання нема принципової різниці. Процес автоматичного регулювання слід розглядати як окремий випадок процесу автоматичного керування. Загалом під цими поняттями розуміється певна дія на процес, яка забезпечує задану послідовність виконання складових елементів процесу і підтримання на заданому рівні або зміні за заданим законом і з заданою точністю параметрів, якими визначається протікання процесу.

При виконанні будь-якого технологічного процесу необхідно знати дійсне значення основних його параметрів. Дійсні значення параметрів можуть відповідати заданим значенням або відрізнятись від них. Якщо ця різниця перевищує задану величину, то необхідно виробити команду, виконання якої усуне виникнення відхилення. Така послідовність дій характерна як для процесу керування, так і для процесу регулювання.

Якщо всі дії, що утворюють процес керування (регулювання), виконуються автоматичним пристроєм без безпосередньої участі людини, то таке керування (регулювання) називається автоматичним. Пристрої, які автоматизують керування чи регулювання, називаються автоматичними керуючими (регулюючими) пристроями.

Керування технологічним процесом може вестись з урахуванням або без урахування дійсного значення параметрів, що визначають характер його протікання. У першому випадку керування називається

незалежним або незв'язаним, у другому – залежним або зв'язаним. Відповідно до цього системи автоматичного керування можна розподілити на дві групи. Системи, що працюють за принципом незалежного керування, називаються безрефлексними, а системи, що працюють за принципом залежного керування – рефлексними.

### 3.2. Системи автоматичного контролю

Контроль у техніці являє собою сукупність операцій, необхідних для нагляду за ходом виробничого процесу або станом контрольованого об'єкта.

Автоматичним називається контроль, коли контрольна операція виконується без участі людини за допомогою відповідних автоматичних пристроїв контролю, які разом з контрольованим об'єктом утворюють систему автоматичного контролю. У загальному випадку автоматичну систему контролю (АСК) можна представити структурною схемою, яка показана на рис. 3.1. Контрольований параметр з об'єкта контролю ОК надходить на сприймальний елемент (датчик) Д, у якому перетворюється в сигнал, зручний для вимірювання. З виходу датчика перетворений сигнал подається на порівнювальний пристрій ПП, що порівнює перетворений сигнал контрольованого параметра з сигналом еталонної величини, що надходить із задавального пристрою ЗП. Отриманий результат порівняння подається на відтворювальний орган (ВО), який вказує, сигналізує чи записує значення контрольованого параметра. У випадку, коли АСК призначена для вимірювання абсолютного значення контрольованого параметра, задавальний пристрій може бути відсутнім.

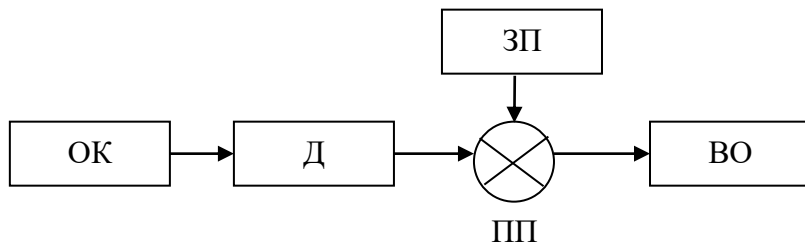


Рис. 3.1. Структурна схема системи автоматичного контролю

За способом вимірювання і перетворення контрольованого параметра розрізняють системи механічного, електричного, пневматичного, фотоелектричного і радіаційного автоматичного контролю.

За призначенням відтворювального (виконавчого) органу автоматичний контроль розподіляють на автоматичну сигналізацію, автоматичне вимірювання, автоматичну реєстрацію, автоматичне сортування і автоматичний захист.

**Автоматична сигналізація** – це вид автоматичного контролю, який полягає в подачі звукового або світлового сигналу при досягненні об'єктом контролю граничних, заздалегідь установлених значень.

Розрізняють чотири види автоматичної сигналізації: командну, контрольно-технологічну, попереджувальну і аварійну.

Командна сигналізація призначена для подачі типових сигналів від одного поста керування до іншого і зворотно.

Контрольно-технологічна сигналізація призначена для автоматичного сповіщення про включення в роботу, зупинку або положення робочих органів чи окремих допоміжних механізмів технологічного обладнання.

Попереджувальна сигналізація служить для автоматичного сповіщення про виникнення небезпечних режимів роботи обладнання або режимів технологічного процесу, які при подальшому розвитку загрожують аварією.

Аварійна сигналізація автоматично спрацьовує і подає сигнал (звуковий, світловий) про порушення технологічного режиму або непередбачене відключення обладнання.

**Автоматичні системи вимірювання** виконують вимірювання того чи іншого контрольованого параметра з указанням його абсолютного значення відтворюючим елементом системи.

Існують системи прямого автоматичного вимірювання (небалансні) і балансні системи автоматичного вимірювання.

Небалансні системи засновані на безпосередньому вимірюванні вихідного параметра датчика і мають розімкнений ланцюг взаємодії елементів системи (рис. 3.2). Контрольований параметр КП сприймається датчиком Д, на виході якого, як правило, отримують електричну величину, пропорційну контрольованому параметру. Далі ця величина надходить на перетворювальний елемент ПЕ, де підсилюється. Підсилений сигнал подається на відтворювальний орган ВО, у якому відбувається вимірювання контрольованого параметра.

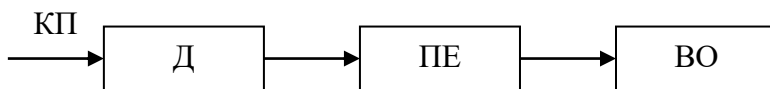


Рис. 3.2. Структурна схема небалансної вимірювальної системи

Небалансні системи вимірювання прості за своєю конструкцією, але вони мають похибки, які можуть виникати в результаті дії зовнішніх чинників (зміна напруги, температури і т.ін.) і чинників, які спричинені зміною параметрів елементів системи.

Балансні (компенсаційні або врівноважувальні) системи автоматичного вимірювання побудовані на принципі вимірювання контрольованого параметра компенсаційним методом.

На рис. 3.3 наведена структурна схема балансної системи автоматичного вимірювання з безперервним балансуванням. Вона являє собою замкнений ланцюг взаємодії елементів системи.

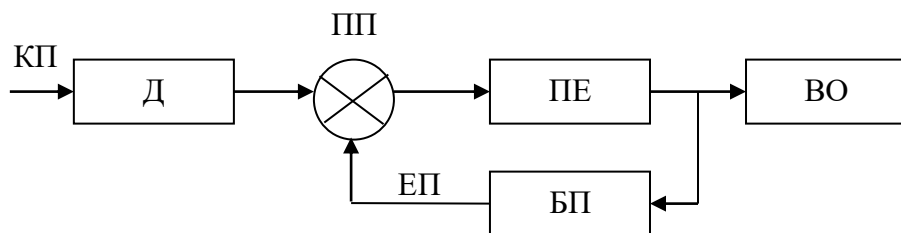


Рис. 3.3. Структурна схема балансної системи автоматичного вимірювання безперервного балансування

Контрольований параметр КП сприймається датчиком, з виходу якого сигнал подається на вхід порівнювального пристрою ПП (нуль-орган). Одночасно на порівнювальний пристрій подається сигнал еталонного параметра ЕП з виходу балансувального пристрою БП. Якщо величини сигналів КП і ЕП рівні, то система перебуватиме в стані спокою. При нерівності зазначених сигналів на виході нуль-органу виникає сигнал, рівний різниці сигналів контрольованого і еталонного параметрів. Цей сигнал діє на перетворювальний елемент, балансувальний пристрій і відтворювальний орган до тих пір, поки значення контрольованого і еталонного параметрів не стануть рівними, тобто не скомпенсуються. Прикладом систем безперервного балансування є автоматичні потенціометри і автоматичні врівноважувальні мости.

Існують системи автоматичного вимірювання періодичного балансування. У такій системі також, як і в системі безперервного балансування здійснюється порівняння контрольованого параметра з еталонним, але ця система не має замкнутого кола взаємодії елементів (рис. 3.4). Еталонний параметр ЕП має ту ж фізичну природу, що і контрольований КП, але він безперервно змінюється в часі. У результаті рівність між КП і ЕП має періодичний характер. У момент, коли сигнали КП і ЕП стають рівними, спрацьовує порівнювальний пристрій ПП і через перетворювальний елемент подає сигнал на відтворювальний орган ВО. Одночасно на відтворювальний орган подається періодичний сигнал ПС, який точно відтворює еталонний параметр, але може відрізнитися від нього фізичною природою (наприклад: ЕП – електрична величина; ПС – механічна величина).

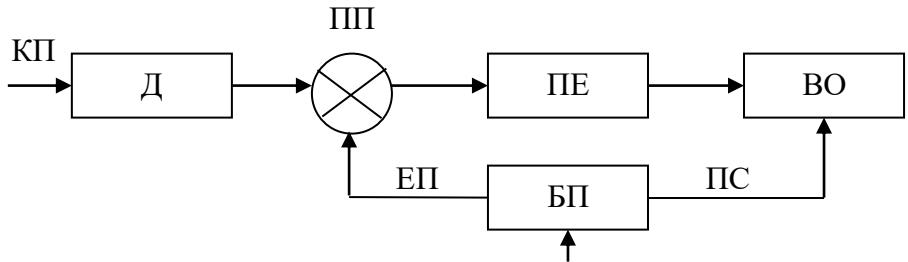


Рис. 3.4. Структурна схема балансної системи автоматичного вимірювання періодичного балансування

**Автоматичні системи реєстрації** – це системи, за допомогою яких здійснюється автоматичне записування результатів вимірювання величини контрольованих параметрів. Такий запис дає можливість судити про процеси, які відбуваються в контрольованому об’єкті, про витрати енергії, сировини, встановлювати причини порушення ходу технологічного процесу і т.д.

Як приклад, на рис. 3.5 показана схема пристрою автоматичної реєстрації температури. У ролі сприймального елемента використовується термопара 2. При нагріванні об’єкта реєстрації 1 у спаї термопари виникає термо-ЕРС, яка підсилюється підсилювачем 3 і подається на виконавчий електродвигун 4. Через гвинтову пару 8 електродвигун 4 переміщує повзунок із записувальним пером і одночасно електродвигун 5 переміщує паперову стрічку 6 з постійною

швидкістю. При цьому записувальне перо безперервно викреслює діаграму зміни температури.

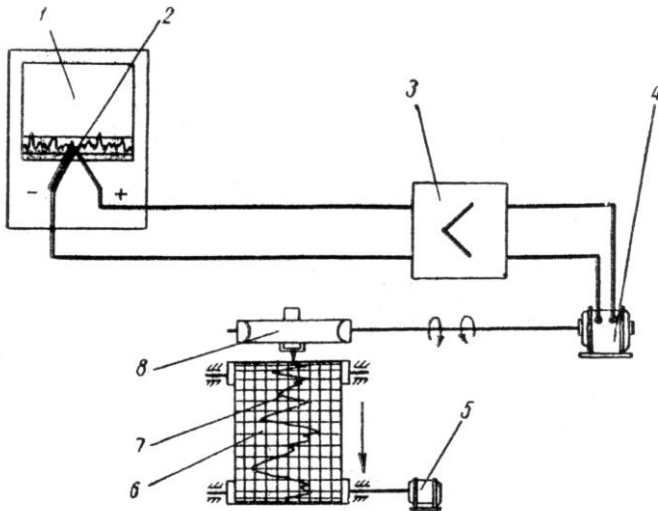


Рис. 3.5. Пристрій автоматичної реєстрації температури: 1 – об’єкт реєстрації; 2 – термопара; 3 – підсилювач; 4 – виконавчий електродвигун; 5 – електричний двигун переміщення стрічки; 6 – паперова стрічка; 7 – діаграма реєстрації температури; 8 – черв’ячна пара

**Автоматичні системи сортування** призначені для автоматичного сортування виробів за якісними або кількісними ознаками залежно від значення контрольованого параметра.

**Автоматичні системи захисту** служать для автоматичного відключення контрольованого об’єкта при порушенні режимів нормальної роботи, наприклад, при перевантаженні електричного обладнання, короткому замиканні в електричних мережах, при підвищенні тиску понад заданий і т.ін.

Особливим видом автоматичного захисту є захисні блокувальні пристрої, які зупиняють верстат або подачу заготовки, запобігаючи створенню аварійної ситуації. Особливе значення захисні блокувальні пристрої мають в автоматичних лініях для попередження поломки інструменту та обладнання, а також для створення безпечних умов праці.



### 3.3. Системи автоматичного регулювання

До систем автоматичного регулювання належать такі системи, які призначені для автоматичного підтримання заданої величини параметра (чи групи параметрів), що характеризують технологічний процес, або зміни його (їх) за певним законом. До таких параметрів можна віднести температуру, тиск, рівень рідини, напругу, частоту обертання і т.ін. Фізична величина, яка підтримується сталою або змінюється за певним законом, називається регульованою величиною або регульованим параметром. Якщо в ході процесу є відхилення регульованого параметра від його заданого значення, то в процес вводиться така дія, яка зменшує або зовсім усуває це відхилення. Така дія називається керуючою або регулюючою дією. Величини, які викликають відхилення регульованого параметра від його заданого значення, називаються збуджувальною дією.

Узагальнена структурна схема автоматичної системи регулювання (АСР) показана на рис. 3.6. Вона складається з автоматичного регулятора АР, об'єкта регулювання ОР з регульовальним органом РО.

До складу автоматичного регулятора входять такі основні елементи: задавальний пристрій ЗП; вимірювальний пристрій ВП; порівнювальний пристрій ПП; перетворювальний пристрій ПрП і виконавчий елемент ВЕ.

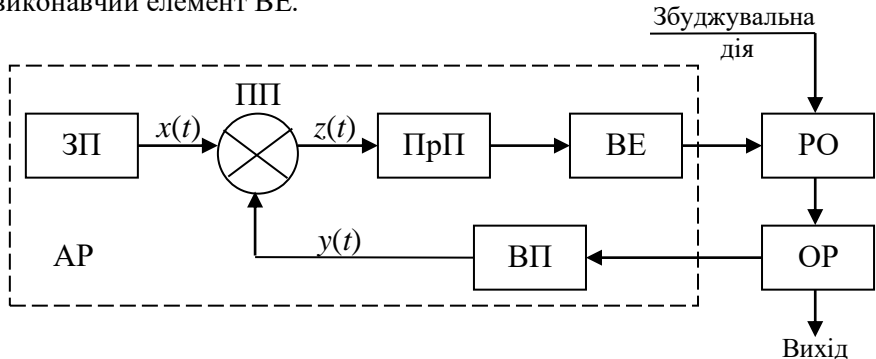


Рис. 3.6. Узагальнена структурна схема автоматичної системи регулювання

Порівнювальний пристрій ПП порівнює задане для певного моменту часу значення регульованого параметра  $x(t)$ , яке подається із задавального пристрою ЗП, з дійсним значенням цього параметра  $y(t)$ ,

яке надходить із вимірювального пристрою ВП. На виході порівнювального пристрою ПП виробляється сигнал неузгодження

$$z(t) = x(t) - y(t), \quad (3.1)$$

який подається на перетворювальний пристрій ПрП, де підсилюється. Підсилений сигнал неузгодження подається на виконавчий елемент ВЕ. У ВЕ виробляється керуюча дія, яка діє на регулювальний орган об'єкта регулювання доти, поки сигнал неузгодження не стане рівним 0.

Якщо система підтримує постійне значення регульованого параметра, вона називається системою автоматичної стабілізації.

Системи, які забезпечують зміну контрольованого параметра за певним заздалегідь заданим законом, називаються системами програмного регулювання.

Окрему групу систем автоматичного регулювання складають так звані самоналагоджувальні (адаптивні) системи. Ці системи мають властивість пристосовуватись до зміни зовнішніх умов таким чином, щоб компенсувати ці зміни. При зміні стану регульованого об'єкта ці системи шляхом автоматичного пошуку повинні визначити таке значення регульованого параметра, яке забезпечує найвигідніший режим роботи регульованого об'єкта.

У простіших видах самоналагоджувальних систем замість задавача або програмного пристрою встановлюється пристрій автоматичного пошуку екстремуму. Екстремальні автоматичні регулятори автоматично підтримують екстремальне (мінімальне або максимальне) значення регульованого параметра, яке відповідає оптимальним умовам протікання регульованого процесу. Екстремальна система працює в режимі постійного пошуку, який полягає в такому. Система змінює керуючу вхідну дію на певне значення і аналізує отримане значення регульованого параметра. За результатами аналізу система, якщо це необхідно, знову змінює керуючу вхідну дію на деяке значення і знову аналізує отримане значення регульованого параметра. Процес пошуку продовжується до тих пір, поки система не знайде оптимальні умови протікання регульованого процесу.

Системи автоматичного регулювання поділяються на системи прямої та непрямої дії, системи безперервного і перервного автоматичного регулювання.

Системами автоматичного регулювання прямої дії називаються такі, в яких вимірвальний пристрій безпосередньо діє на регульовальний орган. Якщо будь-який пристрій регулятора або регульовального органу використовує енергію зовнішнього джерела енергії, то система буде непрямой дії.

Системою безперервного автоматичного регулювання називають таку систему, в якій безперервна зміна регульованого параметра призводить до безперервної передачі дії по всьому замкненому колу, а регулюючий орган безперервно реагує на зміну регульованого параметра.

У системах перервного автоматичного регулювання при безперервній зміні контрольованого параметра регульовальний орган діє ступінчато.

### **3.4. Слідкувальні і копіювальні системи**

Слідкувальні системи – це системи автоматичного регулювання із замкненим контуром, у яких задані значення регульованих параметрів можуть змінюватись у деяких межах довільним, заздалегідь невідомим чином.

Копіювальні системи є слідкуючими системами, в яких необхідний закон зміни регульованого параметра задається за допомогою копію.

Основним елементом автоматичних пристроїв із слідкувальною системою є слідкувальний привід. У техніці найбільш поширені електричні та гідравлічні слідкувальні приводи обертового і поступального руху.

Слідкувальним приводом називається такий автоматичний привід, у якому вихідний параметр (вихідна величина) у відтворює всі зміни вхідної величини  $x$ . Крім цього, автоматичний пристрій реагує також на неузгодження між вхідною та вихідною величинами.

Копіювальні слідкувальні системи широко використовуються в металообробних верстатах. Більш детально ці системи будуть розглянуті в розділі 4.2.

### **3.5. Системи програмного керування**

Програмою називають таку систему автоматичного керування, за якої необхідна послідовність і узгодженість дій встановлюється заздалегідь складеною програмою.

За методом задання величини переміщення робочого органу системи програмного керування поділяються на часові, програмно-шляхові та числові.

У часових системах величина переміщення робочого органу задається певним заздалегідь визначеним відрізком часу. Принцип роботи часових систем найчастіше використовується в автоматах для гальванопокриттів, хімічної та термічної обробки.

У програмно-шляхових системах виконавчі органи після досягнення заданого положення при їх переміщенні, діючи на шляхові датчики, подають командні сигнали про початок або кінець дії. Програмно-шляхові системи можуть бути з постійним і з налагоджуваним циклом. Принцип роботи програмно-шляхової системи з налагоджуваним циклом можна пояснити схемою, показаною на рис. 3.6.

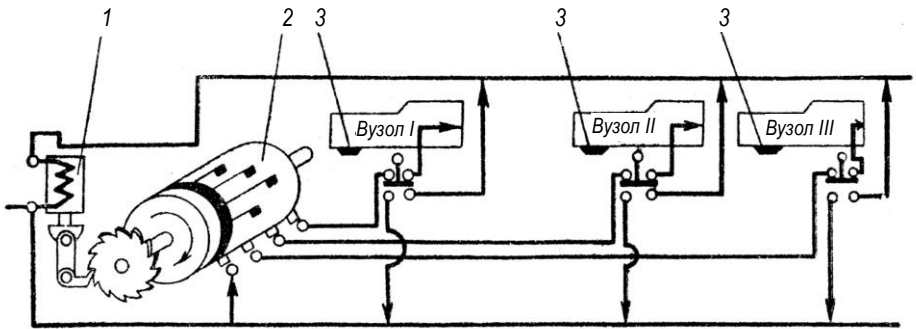


Рис. 3.6. Схема програмно-шляхової системи програмного керування з налагоджуваним циклом: 1 – електромагніт; 2 – командоапарат; 3 – упори

Роль програмного носія виконує командоапарат барабанного типу 2. Програма задається розстановкою контактів на барабані командоапарата. Положення контактів визначає послідовність включення ланцюгів керування виконавчих органів (вузли I, II, III). Необхідна величина переміщення робочих органів здійснюється шляхом перестановки упорів 3.

Якщо барабан командоапарата розташований так, що електричне коло деякого вузла ввімкнене, то цей вузол буде переміщуватись вперед до тих пір, поки своїм упором не розімкне електричне коло керування. Одночасно вмикається електромагніт 1, який повертає барабан командоапарата на необхідний кут для ввімкнення кола керування наступного вузла.

Програмно-шляхові системи керування широко використовуються в металообробних верстатах.

Принцип числового програмного керування полягає в тому, що інформація, яка необхідна для виконання технологічного процесу (напрямок, величина переміщень, швидкість та інші параметри), перетворюється в код чисел. Такий код, нанесений на легко змінюваний програмний носій (перфокарту, перфострічку, магнітну плівку) або введений у пам'ять ЕОМ, є програмою автоматичного числового програмного керування.

Суть принципу числового програмного керування можна пояснити схемою, поданою на рис. 3.7.

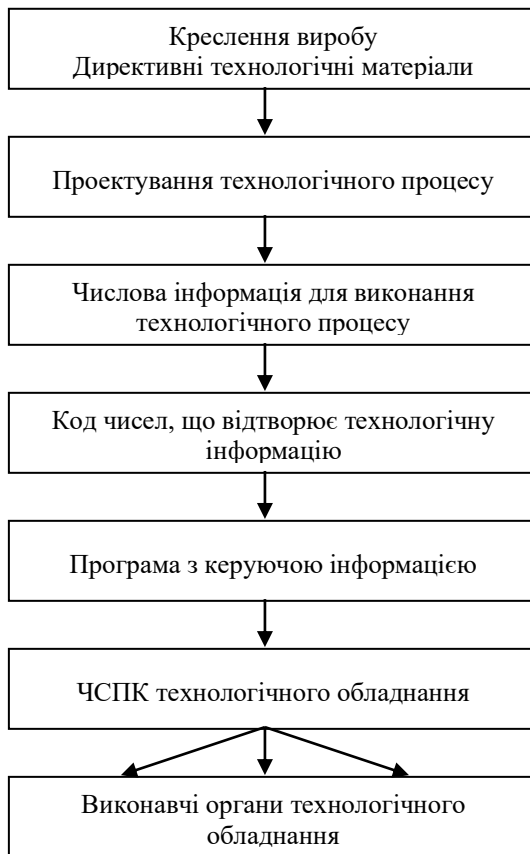


Рис. 3.7. Принципова схема числового програмного керування

На основі креслення виробу і директивних технологічних матеріалів проводиться проектування технологічного процесу, який є основою для розробки числової інформації про послідовність дій і режимів роботи відповідних механізмів і пристроїв технологічного обладнання. Ця інформація у вигляді певного коду чисел наноситься на програмний носій. У приймальному пристрої числової системи програмного керування (ЧСПК) проходить зчитування програми і перетворення її у відповідні керуючі дії на виконавчі органи технологічного обладнання.

За характером руху керованого органу системи числового програмного керування поділяються на системи координатного (ступінчатого) і системи контурного (функціонального) керування.

У системах координатного керування переміщення окремих робочих органів здійснюється незалежно за кожною з координатних осей за так званим прямокутним циклом.

У системах контурного програмного керування існує взаємозв'язок між переміщенням робочих органів за різними напрямками. Цей взаємозв'язок забезпечує узгоджений одночасний рух робочих органів у двох або трьох взаємноперпендикулярних напрямках.

За принципом роботи системи числового програмного керування поділяються на імпульсно-підсумовувальні системи, імпульсно-крокові системи, аналогові системи і системи збігу зі шляховим контролем.

Системи числового програмного керування набули широкого використання для автоматизації різних видів технологічного обладнання. Особливого поширення вони набули в металорізальному, зварювальному, клепальному і термічному обладнанні, а також при створенні робототехнічних і гнучких автоматизованих модулів та комплексів.

### **Питання і завдання для самоконтролю**

1. Що називається автоматичним контролем? Які існують різновиди автоматичного контролю?

2. Наведіть структурну схему системи автоматичного контролю і поясніть принцип її роботи.

3. Що називається автоматичною сигналізацією? Які існують різновиди автоматичної сигналізації?

4. Наведіть структурну схему і поясніть принцип роботи балансної (компенсаційної) системи автоматичного вимірювання безперервного балансування.

5. Що називається автоматичною реєстрацією? Наведіть схему пристрою автоматичної реєстрації.

6. Яке призначення мають пристрої автоматичного сортування і автоматичного захисту?

7. Яке призначення мають системи автоматичного регулювання? Які існують різновиди систем автоматичного регулювання?

8. Наведіть узагальнену структурну схему автоматичної системи регулювання і поясніть принцип її роботи.

9. Що називається слідкувальною системою? Який основний елемент пристроїв із слідкувальною системою?

10. На які види поділяються системи програмного керування за методом задання переміщення робочого органу?

11. Наведіть принципову схему і поясніть принцип числового програмного керування?

## **4. АВТОМАТИЗАЦІЯ І МЕХАНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ**

### **4.1. Загальні положення автоматизації і механізації процесів механічної обробки**

На механічну обробку припадає основна частка трудомісткості виготовлення деталей повітряних суден і авіадвигунів, а також відновлення деталей, вузлів та агрегатів авіаційної техніки (АТ) при ремонті. З процесів механічної обробки деталей в авіаремонтному виробництві найбільш широкого застосовується токарна обробка, фрезерування, свердлування. Збільшується доля обробки деталей на верстатах, призначених для виконання фінішних операцій.

У розвитку механізації та автоматизації механічної обробки можна виділити три основні етапи:

- механізація та автоматизація робочих циклів верстатів, створення верстатів напівавтоматів і верстатів автоматів;
- механізація та автоматизація систем верстатів, створення автоматичних ліній механічної обробки деталей;
- комплексна автоматизація механічної обробки деталей, створення автоматичних дільниць та цехів.

Елементами технологічного процесу обробки деталей на металорізальних верстатах є подача заготовки в робочу зону верстата, орієнтування і закріплення заготовки, інструмента, власне обробка деталі, розкріплення і дістання деталі з робочої зони, транспортування готових виробів до місця складування або на наступну технологічну операцію.

Існує велика різноманітність конструкцій пристосувань, механізмів і пристроїв, які забезпечують механізацію та автоматизацію обробки деталей на металорізальних верстатах. Більш детально зупинимось на системах, які забезпечують автоматичне керування переміщенням робочих органів верстата.

Будь-яка система керування диктує робочим органам верстата закони руху, які визначаються формою оброблюваної деталі. Ця система характеризується такими показниками:

- способом задавання програми;
- способом приведення в рух робочих органів верстата;
- методом здійснення контролю виконання програми.



Автоматичний цикл роботи верстата складається з почергових переміщень робочих органів у межах заданих програмою напрямків і довжини ходу. Частіше всього робочий цикл складається з трьох елементів:

- "швидко вперед" (зближення інструмента і деталі);
- робоче переміщення (обробка деталі);
- "швидко назад" (відведення інструмента або деталі в початкове положення).

Таким чином, для автоматизації верстата на ньому необхідно встановити спеціальні приводи до робочих органів, пристрої подачі сигналів на керування цими приводами і програмні пристрої.

## **4.2. Системи автоматичного керування металорізальними верстатами**

Залежно від способу задавання програми розрізняють аналогові системи та системи числового програмного керування.

### **4.2.1. Аналогові системи**

В аналогових системах керування вихідна інформація в процесі підготовки виробництва перетворюється в певний вид програмного носія: копії, шаблон, упори верстата і т.ін. При цьому інформація фізично матеріалізується у вигляді моделі-аналога програми переміщень, а виконавчі органи верстата відтворюють за цією моделлю задану програму обробки деталі.

Аналогові системи керування поділяються на:

- замкнені системи, що працюють у функції технологічної готовності;
- незамкнені системи з одним потоком інформації;
- копіювальні системи із слідувальним приводом, який має зворотний зв'язок.

Найпростішим прикладом замкненої системи з аналоговим програмним носієм може бути керування приводом поздовжнього та поперечного переміщення супортів токарного верстата (рис. 4.1).

У кінці поздовжнього ходу різця після обробки поверхні  $d$  упор діє на шляховий перемикач ВК1, який вимикає електродвигун М1 поздовжнього супорту і вмикає двигун М2 поперечного супорту. Поперечний супорт буде переміщуватись до тих пір, поки вершина

різця не опиниться на поверхні діаметра  $D$  заготовки. Після припинення поперечного переміщення від перемикача В2 почне переміщуватись поздовжній супорт. При цьому різець обробляє заготовку по поверхні діаметра  $D$  – до дії на перемикач ВК1 чергового упору (кулачка). Упори визначають отримання інформації про фактичне положення виконавчих органів при дії цих упорів на різні датчики (перетворювачі), тобто забезпечують появу другого потоку інформації. Цикл роботи залежить від складеної заздалегідь схеми взаємодії керуючої апаратури і для кожного верстата є незмінним параметром.

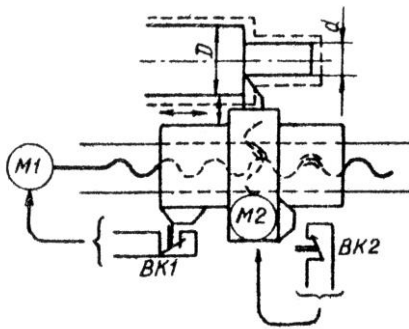


Рис. 4.1. Схема замкненої системи керування з аналоговим програмним носієм

Головним недоліком таких систем є те, що вони не забезпечують точного введення інформації про величину переміщення, що викликає необхідність виконання на верстаті пробних обробок з наступною корекцією положення програмних носіїв. Необхідність переналагодження потребує значного часу, через що такі системи в дрібносерійному виробництві економічно себе не виправдовують.

Крім систем керування, які працюють у функції пройденого виконавчим органом шляху (системи керування з контролем за шляхом), серед замкнених аналогових систем керування поширені також системи, які працюють у функції швидкості, часу та інших змінних у процесі роботи параметрів (у функції технологічної готовності).

Серед незамкнених систем керування можна виділити системи зі спеціальним приводом, який забезпечує дозоване переміщення виконавчого органу, а також копіювальні системи керування прямої дії (без підсилення потужності). У таких системах керування величина переміщення виконавчого органу при дії на нього керуючого сигналу заздалегідь відома в межах необхідної точності. Прикладом незамкненої аналогової системи керування може бути система керування з кулачковим приводом, який обертається постійно або періодично (рис. 4.2). Профіль кулачка 1 через шток 2 забезпечує

дозоване переміщення виконавчого вузла 3 і повернення його у вихідне положення. За один оберт кулачка виконавчий вузол здійснює один цикл руху. Змінюючи профіль кулачка, можна отримати будь-який закон зміни шляху і швидкості руху виконавчого вузла протягом циклу і повторювати його необмежену кількість разів. За час подачі одного імпульсу сигналу керування, тобто за один робочий цикл, привод здійснює строго визначене переміщення виконавчого вузла.

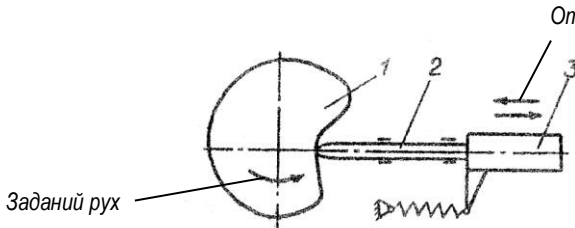


Рис. 4.2. Система керування з кулачковим приводом:  
1 – кулачок; 2 – шток; 3 – виконавчий орган

Якщо декілька кулачків об'єднати так, щоб вони мали єдиний привід (джерело руху), то можна утворити систему керування з точною синхронізацією руху декількох виконавчих органів. На рис. 4.3 наведена схема такої системи керування, де кулачки об'єднані єдиним розподільчим валом (РВ). Система забезпечує необхідний кінематичний зв'язок робочих органів верстата для відтворення будь-якої криволінійної траєкторії обробки деталі. За один оберт РВ здійснюється повний цикл обробки.

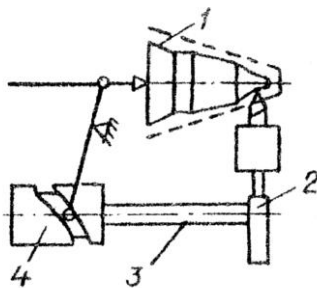


Рис. 4.3. Схема керування від розподільчого вала з кулачками:  
1 – деталь, що обробляється;  
2 – дисковий кулачок поперечного переміщення супорта з різцем;  
3 – розподільчий вал;  
4 – барабанний кулачок поздовжнього переміщення

У наведених системах керування кулачок забезпечує строго дозоване пряме та зворотне переміщення виконавчого органу і

одночасно є частиною привода (тяговим механізмом) і програмним носієм, який здійснює не тільки керування переміщенням, але й програмування циклу роботи верстата.

У верстатах-автоматах з кулачковими системами керування інформація з обробки деталі (величина і напрямок переміщення виконавчих органів верстата) переноситься з креслення на програмний носій-кулачок і відтворюється в процесі обробки.

В окрему групу аналогових систем відокремлюються копіювальні системи керування зі слідкувальним приводом.

Копіювальні пристрої (системи) широко використовуються для обробки деталей на токарних, поперечно-стругальних, фрезерних та інших верстатах. Такі пристрої використовуються для відтворення ступінчастих і фасонних поверхонь, геометрично подібних до поверхні копіра (шаблону). Траєкторія переміщення інструмента визначається формою копіра, по якій у процесі обробки ковзає щуп датчика, що керує виконавчими приводами верстата. Така система керування називається слідкуючою. Щуп датчика ніби "слідкує" за положенням різального інструмента й усуває відхилення його від заданого положення, зводячи величину неузгодження до 0.

У копіювальних системах безперервної дії профіль оброблюваної деталі утворюється при поєднанні двох (рідше трьох) рухів деталі та інструменту. При цьому профіль деталі отримується геометричним складанням двох взаємно-перпендикулярних переміщень. Одне з цих переміщень відіграє роль ведучого руху і називається задавальною подачею. Інше переміщення носить назву слідкувальної або копіювальної подачі. Напрямок задавальної подачі в процесі обробки залишається незмінним, а слідкувальна подача змінюється як за величиною, так і за напрямком відповідно до профілю копіра.

На рис. 4.4 показана схема утворення підсумкової подачі. Траєкторія руху щупа визначається профілем копіра. Напрямок задавальної подачі  $S_3$  і слідкувальної подачі  $S_c$  показано стрілками. У кожний даний момент часу напрямком руху щупа і різального інструмента  $S_p$  (підсумкова подача) визначається геометричним складанням задавальної  $S_3$  і слідкувальної  $S_c$  подач.

У практиці найбільш широкого застосування набули слідкувальні копіювальні системи двох типів: електричні – з електричним силовим проводом виконавчого механізму і електричним зв'язком між слідкувальною голівкою та виконавчим органом, і

гідравлічні – з гідравлічним приводом і гідравлічним зв'язком між слідкувальною головкою та виконавчим органом.

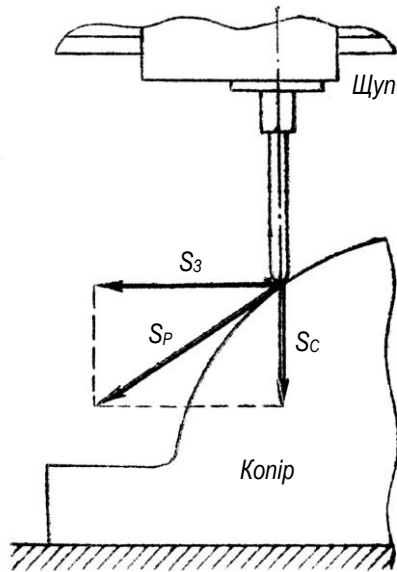


Рис. 4.4. Схема утворення напрямку підсумкової подачі

Будова найпростішої слідкувальної копіювальної системи показана на рис. 4.5.

Поздовжня задавальна подача  $S_z$  здійснюється переміщенням стола 1 вертикально-фрезерного верстата по станині 13 за допомогою електродвигуна 11 і ходового гвинта 12 з постійною швидкістю у напрямках, показаних стрілками. При переміщенні стола на деякий крок  $\Delta S_z$  зміниться кут нахилу дотичної до профілю копіра 2 і набуде значення  $\alpha_1 \neq \alpha$ . Утвориться неузгодженість кутів нахилу дотичної до профілю копіра в точці його дотику з щупом і дотичної до контуру оброблюваної деталі в точці фрезерування заготовки 10. При цьому щуп 3 переміститься в напрямку  $S_c$  і буде діяти на копіювальний прилад, який формує відповідний переміщенню щупа сигнал, направлений на усунення неузгодження, що виникло, шляхом зміни швидкості, тривалості включення або напрямку слідкувальної подачі. Цей сигнал через підсилювач 5 подається на електродвигун 6, який буде діяти до тих пір, поки напрямок і швидкість підсумкової подачі

фрези 9 будуть відповідати значенням, заданим копіром. Зворотній зв'язок 7 жорстко зв'язує шпиндельну коробку 8 з корпусом копіювального приладу.

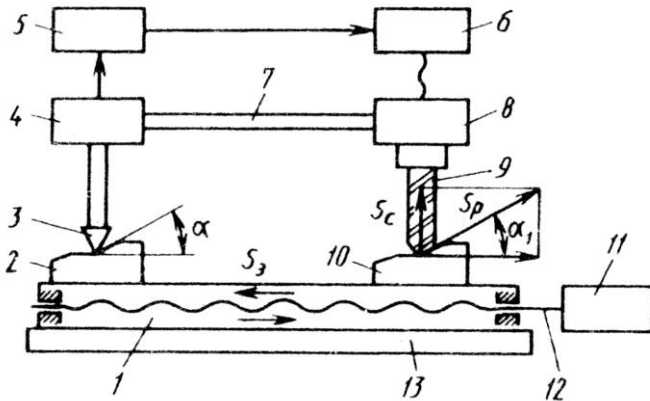


Рис. 4.5. Функціональна схема слідкувальної копіювальної системи вертикально-фрезерного верстата: 1 – стіл вертикально-фрезерного верстата; 2 – копій; 3 – шуп; 4 – копіювальний прилад (головка); 5 – підсилювач; 6 – електродвигун; 7 – жорсткий зворотний зв'язок; 8 – шпиндельна коробка; 9 – фреза; 10 – заготовка; 11 – електродвигун; 12 – ходовий гвинт; 13 – станина;  $S_z$ ,  $S_c$ ,  $S_p$  – відповідно задавальна, слідкувальна та підсумкова подачі

Мобільними і універсальними системами керування є системи циклового програмного керування (ЦСПК). Ці системи найбільш широкого застосування набули на верстатах токарної та фрезерної груп. Для задавання робочої програми обробки у ЦСПК застосовують штекерні панелі, кулачкові командоапарати. Деякі види верстатів цієї групи мають автоматичні пристрої введення керуючої програми. У разі використання штекерних панелей програма задається розставленням спеціальних стержнів-штекерів у гніздах панелі, розташованої на окремому пульті системи програмного керування. Така система дає можливість запрограмувати декілька десятків різних етапів обробки. Принципова схема ЦСПК наведена на рис. 4.6.

Робота системи відбувається таким чином. При ввімкненні вимикача 1 спрацьовує реле 3, яке замикає контакти живлення поворотного пристрою 4. Пристрій 4, отримавши імпульс, переводить перемикач із положення *o* в положення *a*. Струм проходить через комутаторний пристрій. Усі праві півкільця 6 комутаторного пристрою з'єднані з відповідними контактами крокового перемикача 5, а ліві на

півкільця 7 – з реле 8, які керують виконавчими механізмами верстата. Кроковий перемикач почергово вмикає контакти горизонтального ряду, але струм піде тільки на те реле 8, у гніздо якого вставлено штекер. Величина переміщення виконавчого механізму верстата встановлюється за допомогою упорів 2, закріплених на рухомих частинах верстата, і кінцевого вимикача 9. Реле 3 отримує імпульс на переведення крокового перемикача в нове положення при кожному черговому ввімкненні вимикача 9 при дії на нього упору 2.

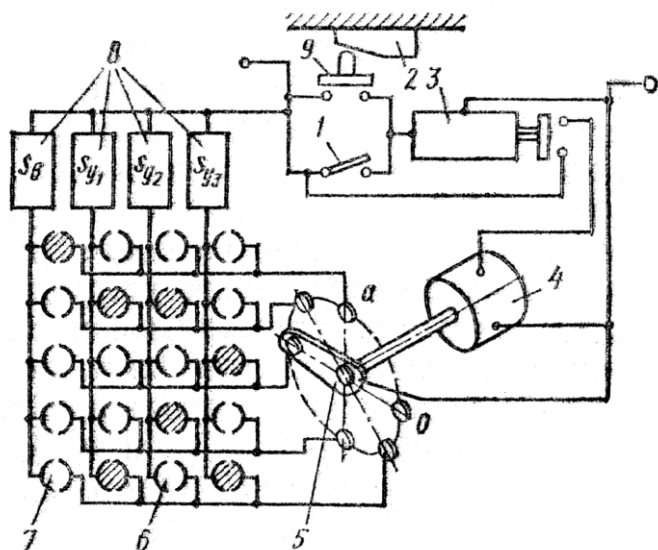


Рис. 4.6. Принципова схема системи циклового програмного керування:  
 1 – вимикач; 2 – упор; 3 – реле; 4 – пристрій повороту; 5 – кроковий перемикач; 6 – праві півкільця; 7 – ліві півкільця; 8 – реле;  
 9 – кінцевий вимикач

Верстати з ЦСПК відрізняються достатньою простотою, але їх переналагодження досить трудомістке. Зміна програми потребує перестановки упорів та штекерів у нове положення.

#### 4.2.2. Системи числового програмного керування верстатами

Верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) являють собою обладнання, у систему автоматичного керування якого вводиться інформація у вигляді символів, що характеризують

переміщення виконавчих органів верстата, визначають траєкторію руху або позування заготовки (деталі) або інструмента, а також увесь цикл його роботи.

Інформація креслення деталі перетворюється при програмуванні в текстову або табличну форму, де за допомогою символів (букв, цифр, знаків) визначається програма (алгоритм) оброблення деталі. Інформація може бути записана на який-небудь програмний носій (наприклад, перфострічку) або введена в пам'ять ЕОМ. Від програмного носія сигнали надходять на верстат для оброблення запрограмованої деталі.

При ЧПК на програмному носії може бути зафіксована практично необмежена кількість команд, які визначають послідовність і величину переміщень робочих органів верстата за одною, двома і трьома координатами.

Залежно від призначення верстата з ЧПК за технологічними органами поділяються на позиційні та контурні (рис. 4.7).

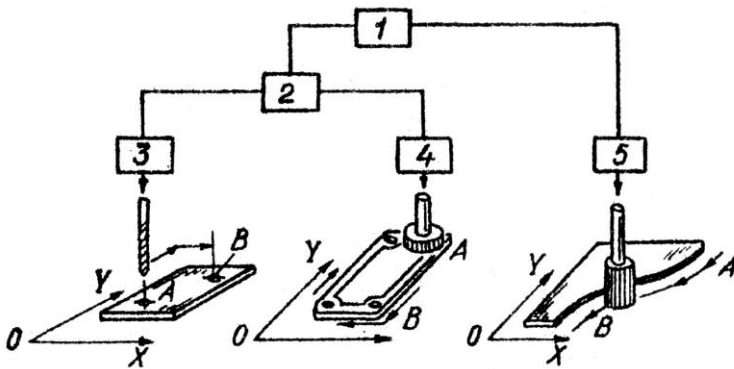


Рис. 4.7. Класифікація систем числового програмного керування за технологічними ознаками: 1 – ЧПУ; 2 – позиційні системи керування; 3 – системи з програмуванням окремих точок; 4 – системи з програмуванням відрізків прямих; 5 – контурні системи керування з програмуванням криволінійних профілів

Позиційні системи керування можуть бути з керуванням окремих точок або з керуванням переміщення вздовж відрізків прямих. У першому випадку технологічна операція обробки проходить після надання інструменту або заготовці необхідної позиції. У другому



випадку обробка виконується в процесі переміщення інструмента від однієї позиції до іншої.

Системи контурного типу забезпечують складну траєкторію обробки спільним рухом декількох виконавчих органів.

У системах з ЧПК виділяють замкнені (з двома потоками інформації) і незамкнені (з одним потоком інформації) системи керування. Замкнені системи перетворюються в незамкнені в разі відсутності другого потоку інформації і використанні крокового привода. Для підвищення точності обробки застосовують замкнені системи керування.

Замкнену систему керування окремим виконавчим органом верстата з ЧПК можна представити схемою, показаною на рис. 4.8. Під час підготовки програми інформацію про оброблення деталі у блоці 1 виражають та записують способом, зручним для її наступного перетворення і введення у верстат. Введення програми у блоці 3 здійснюється за допомогою пристрою зчитування програми, якщо вона записана на програмному носії або напряму від ЕОМ. Блок 4 безпосередньо керує приводами виконавчих вузлів верстата. У верстатах з ЧПК сигнал керування приводом (блоки 5, 6), як правило, має декілька каскадів підсилення з можливим перетворенням самого виду енергії. Виконавчий вузол (блок 7) являє собою супорт верстата з ходовим гвинтом, стіл свердильного або фрезерного верстата з редукторами і відповідними передаточними механізмами та ін. Датчик шляху 8 виробляє потік інформації про фактичне положення виконавчого вузла, яка надходить у блок 4. У ньому фактичне та задане переміщення порівнюються і за величиною їх неузгодженості виробляється команда на введення поправки положення робочого органу верстата.

Блоки 1 та 2 системи керування часто не входять безпосередньо у верстат, а є зовнішніми пристроями, що здійснюють програмування обробки деталі.

Наступним кроком автоматизації верстатів з ЧПК є забезпечення їх пристроями для розміщення і автоматичної заміни інструмента. Це дозволяє послідовно виконувати багато різних етапів обробки, які здійснюються різним ріжучим інструментом без зняття заготовки з верстата. Ріжучий інструмент за командою від програми подається в робоче положення в будь-якій послідовності за допомогою спеціального автоматичного маніпулятора. Все це дозволяє обробляти, наприклад, складні корпусні деталі з чотирьох-п'яти сторін. При цьому

значно спрощуються пристосування для закріплення заготовок і направлення інструмента.

Найбільш досконалі станки з ЧПК мають адаптивні пристрої. Це дає можливість значно спростити програмування роботи верстата: технолог приблизно вирішує завдання обробки деталі, а система, визначивши за допомогою датчиків умови різання, сама змінює її до найбільш доцільної. Один з типів адаптивних систем працює так, що при різанні постійно визначається пружність якої-небудь деталі, наприклад, фрезерного верстата. Якщо фреза затупилась, то сила різання збільшується і відповідно збільшується зусилля, що діє на верстат. Це фіксує датчик, який слідкує за пружністю деталі. На основі сигналу датчика виробляється команда про зменшення подачі.

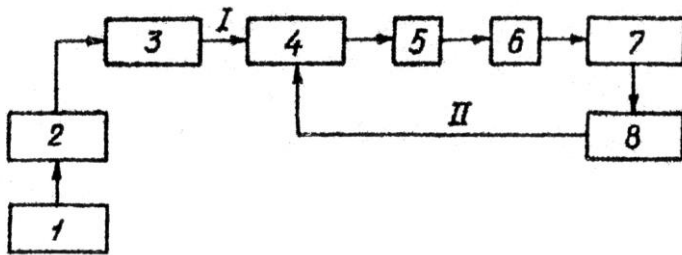


Рис. 4.8. Схема числового програмного керування верстатом для однієї координати: *I* – сигнал керування; *II* – сигнал виконання; 1 – підготовка і запис програми; 2 – введення інформації, контроль, перетворення і запис програми на програмний носій; 3 – введення інформації у верстат та її запам'ятовування; 4 – керування, контроль і перетворення потоків інформації; 5, 6 – привод виконавчого вузла, який складається із сервопривода та силового привода; 7 – виконавчий вузол з передаточним механізмом; 8 – датчик шляху (у слідкуючих системах – датчик зворотнього зв'язку)

Існують адаптивні системи, які дозволяють оцінити та компенсувати в процесі обробки температурні деформації і знос різального інструмента.

Розглянуті вище методи дозволяють автоматизувати роботу циклів металорізальних верстатів. Ефект від такої автоматизації досягається лише за окремими операціями або дільницями виробництва. Разом з цим проблема значного збільшення обсягів виробництва і підвищення якості продукції потребує багаторазового підвищення продуктивності праці. Вирішення цього завдання можливе лише шляхом широкого впровадження комплексної автоматизації,

коли на всіх основних та допоміжних операціях ручна праця замінюється роботою машин, механізмів і автоматичних пристроїв.

### Питання і завдання для самоконтролю

1. Назвіть і охарактеризуйте основні етапи розвитку механізації та автоматизації процесів механічної обробки.

2. На які системи керування поділяються аналогові системи керування металообробними верстатами?

3. Наведіть схему і поясніть принцип роботи замкненої системи керування металообробним верстатом з аналоговим програмним носієм.

4. Наведіть приклади незамкнених аналогових систем керування металообробними верстатами.

5. Поясніть принцип роботи слідкувальної копіювальної системи.

6. Як утворюється напрямок підсумкової подачі в копіювальних системах безперервної і перервної дії?

7. Поясніть принцип роботи системи циклового програмного керування (ЦСПК) металообробними верстатами.

8. Як класифікуються верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) за технологічними ознаками? Наведіть відповідну схему класифікації.

9. Наведіть схему і поясніть принцип роботи замкненої системи числового програмного керування металообробними верстатами. Як перетворити замкнену систему ЧПК у незамкнену?

## **5. АВТОМАТИЗАЦІЯ І МЕХАНІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРОМИВАННЯ І ОЧИЩЕННЯ ДЕТАЛЕЙ**

### **5.1. Характеристика процесів промивання і очищення як об'єктів автоматизації і механізації**

Залежно від характеру забруднення, що видаляється, умов роботи, габаритних розмірів і маси деталей у технологічному процесі промивання і очищення можна виділити такі типові операції:

- видалення залишків пально-мастильних матеріалів (знежирення);
- очищення від нагару лакових, смолистих та інших відкладень вуглецево-водневого походження;
- видалення продуктів корозії;
- видалення лакофарбових покриттів з великогабаритних агрегатів і поверхонь повітряного судна;
- чистове промивання деталей;
- сушіння деталей.

Незважаючи на уявну простоту процеси промивання і очищення є досить складними, трудомісткими і важко піддаються механізації та автоматизації.

Основними чинниками, які зумовлюють важкість механізації і, особливо, автоматизації технологічних процесів з промивання і очищення деталей повітряних суден та авіаційних двигунів, є:

- різна природа відкладень та забруднень, що утворюються на поверхнях деталей і висока адгезія багатьох з них із основним металом деталі;
- велика конструктивна різноманітність деталей, що потребують промивання і очищення;
- великі габаритні розміри і маса окремих деталей, вузлів та агрегатів;
- високі вимоги до якості промивання й очищення (деталі та вузли мають бути абсолютно чистими, не повинні мати подряпин, забоїн, більшість деталей не повинна мати будь-якої зміни форми);
- висока різноманітність матеріалів, з яких виготовлені деталі, що викликає необхідність застосовувати різні за хімічним складом миючі рідини.

Всі ці фактори різко скорочують серійність промивання і очищення різних груп деталей і створюють значні ускладнення для

проектування, виготовлення і використання універсальних високопродуктивних засобів механізації та автоматизації.

## **5.2. Технічні засоби автоматизації і механізації процесів промивання і очищення**

В авіаремонтному виробництві для очищення деталей від забруднень використовують механічні, струменеві методи очищення й очищення зануренням у розчин.

Механічні методи очищення застосовують для видалення із зовнішніх поверхонь деталей продуктів корозії та нагару.

Механічне очищення із застосуванням ручного інструменту (скребків, металічних щіток, абразивних брусків і т.ін.) малопродуктивне. Більш широко застосовується механізований інструмент у вигляді металічних та капронових щіток, голкофрез, шліфувальних кругів, де в ролі привода інструменту використовуються пневматичні та електричні машини. Найбільш перспективне й економічно вигідне очищення голкофрезами, які являють собою металічну щітку, складену певним чином з відрізків спеціальної проволочи із самозагострювальними різальними кромками. Порівняно зі звичайними металевими щітками оброблення голкощітками характеризується більшою повнотою очищення, високою стійкістю інструменту і можливістю автоматизації процесу.

Для очищення від нагару, лакових плівок та інших відкладень, які важко видаляються, широкого застосування набули пневмоабразивне очищення та очищення обдуванням кісточковою крихтою. Ці способи очищення являють собою процес, при якому подрібнений до певної фракції абразивний матеріал (корунд, карбід кремнію і т.ін.) або кісточкова крихта захоплюється струменем стисненого повітря і направляється через сопло на поверхню деталі. Пневмоабразивну обробку використовують також для підготовки деталей під нанесення покриттів газотермічним напилюванням. Обдування проводять у спеціальних пневматичних апаратах. Часткова механізація процесу досягається за рахунок оснащення апарата системою подачі стисненого повітря та робочого оброблюваного матеріалу в зону обробки і системи відсмоктування повітря. Апарати можуть забезпечуватись також механізмом переміщення деталей у робочій зоні, наприклад, обертовим столом. Завантаження деталей,

спрямування в процесі обробки сопла на деталь і регулювання тиску повітря виконується вручну оператором.

З механічних методів очищення в умовах авіаремонтного виробництва найбільш перспективним з погляду механізації і автоматизації процесу є віброабразивне очищення. Цей метод заснований на принципі надання деталям коливального руху в контейнері, заповненому розчином хімічно-активних миючих речовин з додаванням абразиву. Схема однієї з установок віброабразивного очищення зображена на рис. 5.1.

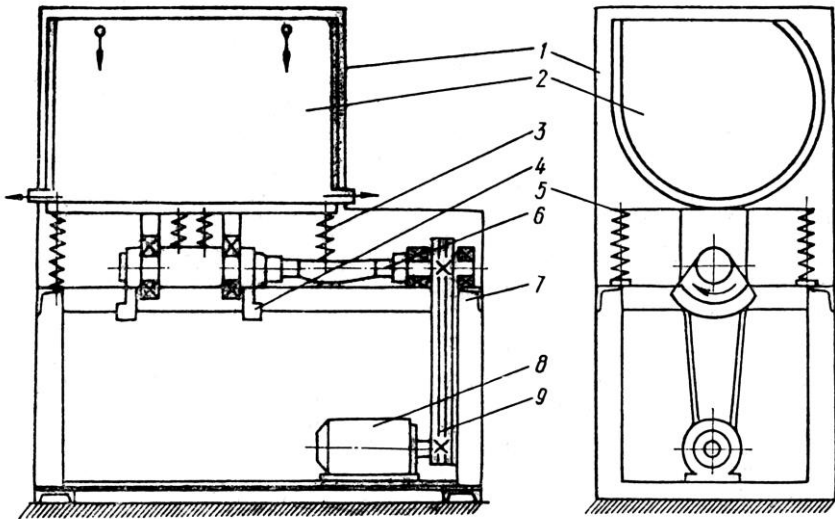


Рис. 5.1. Установка віброабразивного очищення: 1 – захисний кожух; 2 – V-подібний контейнер з миючим середовищем; 3 – пружина; 4 – дебалансний вібратор; 5 – вібрувальна платформа; 6 – гнучкий вал; 7 – станина; 8 – електричний двигун; 9 – клинопасова передача

Деталі, що підлягають очищенню, поміщають у контейнер 2 з миючим середовищем, який встановлено на вібрувальній платформі 5. Обертанням від електродвигуна 8 через гнучкий вал дебалансного вібратора 4 платформи 5 і, відповідно, контейнеру 6 надаються направлені гармонічні коливання з амплітудою до 2,5 мм і частотою до  $50^{-1}$ с. Під дією взаємного тертя і рідинно-абразивної маси відбувається швидке та якісне очищення поверхонь деталей від забруднень.

За ступенем автоматизації установки віброабразивної обробки можуть бути неавтоматизованими, з повною або частковою

автоматизацією і з безперервним циклом оброблення. На механізованих установках деталі обробляють партіями. Для оброблення деталей, що безперервно рухаються, проектується повністю автоматизовані установки безперервної дії.

Струменеве очищення виконується в спеціальних струменевих миючих машинах. Залежно від характеру руху стола, на якому встановлюються деталі, струменеві мийні машини поділяються на конвеєрні (прохідні) та тупикового типу.

У разі невеликого обсягу мийних робіт використовують камерні машини тупикового типу. Основними елементами таких машин є мийна камера, бак з миючим розчином, насосний агрегат і система гідрантів, яка забезпечує подачу і обмивання з усіх боків деталі струменем миючого розчину. Більшість установок такого типу мають стіл або колектор для обертового переміщення деталей, а також систему підігріву миючого розчину. Завантаження і вивантаження деталей виконується вручну або за допомогою вантажопідійомних механізмів. Може передбачатись контроль і автоматичне регулювання температури та рівня миючого розчину з фіксацією відповідних показників на пульті керування.

Для виконання мийно-сушильних операцій промисловістю розроблені і випускаються напівавтоматичні та автоматичні мийно-сушильні машини тупикового типу. У таких машинах операції миття і сушіння виконуються автоматично за заданою програмою. Але на авіаремонтних підприємствах такі установки не отримали широкого застосування через дрібносерійний характер виробництва.

З погляду механізації і автоматизації процесів промивання і очищення найбільш доцільними є мийні машини конвеєрного типу. Це зумовлено такими чинниками:

- мийні машини конвеєрного типу дозволяють поєднати процес промивання з процесами транспортування деталей на наступну технологічну операцію;

- через простоту конструкції для передачі сортників з деталями з однієї камери в іншу можна легко об'єднати в одну автоматичну лінію такі операції, як знежирення, різні етапи промивання і сушіння;

- легко піддаються механізації та автоматизації процеси завантаження і вивантаження деталей.

Схема миючої машини конвеєрного типу, яка складається з декількох секцій, показана на рис. 5.2.

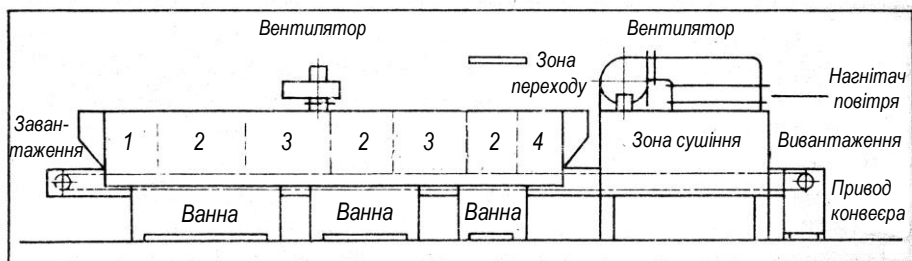


Рис. 5.2. Схема секційної мийної машини конвеєрного типу:  
 1 – зона входу; 2 – зона очищення; 3 – нейтральна зона; 4 – зона виходу

Широке використання в авіаремонтному виробництві для очищення деталей з рідного роду забрудненнями знайшло очищення зануренням у миючий розчин. Очищення зануренням виконують у спеціальних миючих ванних установках, які також поділяють на тупикові та прохідні (конвеєрні).

Ванні установки тупикового типу складаються з власне ванни, системи підігріву розчину і додаткового обладнання для забезпечення інтенсифікації процесу очищення. Залежно від цього установки можуть бути з коливальною платформою, зі збудженням миючого розчину ультразвуком, стисненим повітрям, гребними гвинтами.

Установки прохідного типу складаються з декількох ванн. Деталі завантажують у ванну і після оброблення послідовно переміщують у наступні ванни за допомогою автооператора або механізованого тельфера.

Необхідно сказати, що принципи і ступінь механізації та автоматизації миючих установок для миття зануренням можуть бути такими ж, як і для розглянутих вище струменевих миючих машин. Але враховуючи, що при митті зануренням не потребується строга орієнтація деталі відносно робочого оброблюваного середовища, такі процеси легше автоматизувати.

На рис. 5.3 наведена схема установки прохідного типу для очищення деталей у розплаві солей.

Установка забезпечує високий рівень механізації та автоматизації. Технологічний процес очищення складається з таких операцій: оброблення в соляному розплаві, промивання в проточній воді, травлення в кислому розчині, промивання в гарячій воді. Необхідна температура створюється електронагрівальним пристроєм, з



системою регулювання. Завантаження, вивантаження та переміщення деталей виконується електротельфером.

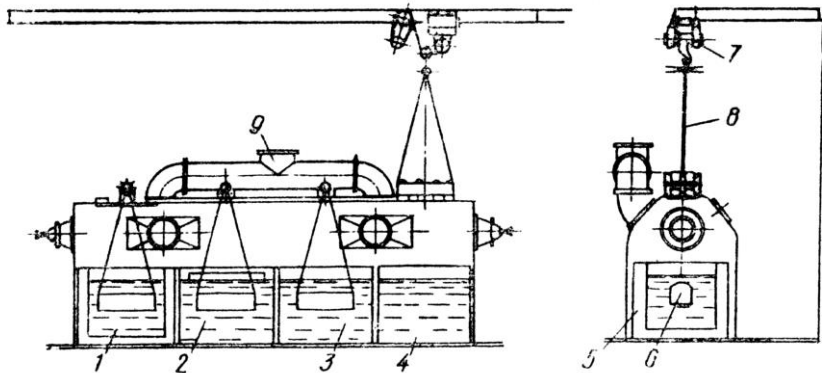


Рис. 5.3. Установка проходного типу для очищення деталей у розплаві солей: 1 – соляна ванна; 2 – ванна для проточної води; 3 – ванна для кислотного розчину; 4 – ванна для гарячої води; 5 – кожух установки; 6 – сортовик для деталей; 7 – монорейка з тельфером; 8 – підвіска; 9 – відсмоктувач повітря

До високоефективних та продуктивних способів очищення належить ультразвуковий метод. Цей метод використовується, головним чином, для очищення невеликих малогабаритних деталей типу шестерень, підшипників, маслонасосів, плунжерів і т.ін., а також невеликих корпусних деталей. Джерелом ультразвукових коливань є магнітострикційні перетворювачі. Джерелом електричної енергії, що живить ультразвукові випромінювачі, є високочастотні електричні генератори. Конструктивно установки ультразвукового очищення можуть виконуватись карусельного та конвеєрного типу. Основні переваги ультразвукового очищення з погляду автоматизації процесу:

- відсутність необхідності в орієнтації деталей у процесі очищення;
- можливість об'єднання в одну автоматичну лінію таких операцій, як знежирення, очищення і сушіння деталей;
- можливість вбудування ультразвукових агрегатів в автоматичну лінію.

Значною трудомісткістю та складністю при ремонті авіаційної техніки відрізняються процеси видалення старих лакофарбових покриттів (ЛФП), особливо з поверхні фюзеляжу повітряних суден. На цей час ці процеси мало механізовані і виконуються, насамперед

основні операції, вручну за допомогою спеціальних змивок. Перспективним методом з погляду підвищення ефективності процесу видалення ЛФП і можливості його механізації може бути очищення за допомогою обдування потоком стисненого повітря, що містить гранули льоду. Схема апарата для очищення гранулами льоду показана на рис. 5.4. Генератор монодисперсного рідкого аерозолі 1 дозволяє отримувати краплини рідини із заданими розмірами. Попадаючи в рідкий азот, краплини рідини перетворюються в гранули льоду. Отримані гранули в пристрої 2 подрібнюються і транспортуються до сепаратора, де просіюються через сито. Після сепарації гранули льоду подаються в накопичувач 3, звідки подаються в магістраль з ежекторним пристроєм і по тепло-ізольованому трубопроводу за допомогою соплового апарата (розпилювача) направляються на поверхню деталі 5.

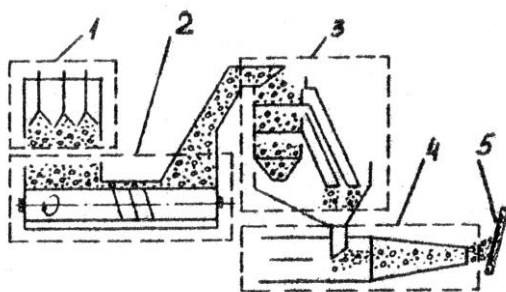


Рис. 5.4. Схема апарата для очищення гранулами льоду: 1 – генератор монодисперсного рідкого аерозолі; 2 – пристрій для подрібнення, транспортування і сепарації гранул льоду; 3 – накопичувач монодисперсних гранул льоду; 4 – магістраль для подачі гранул льоду на поверхню деталі з ежекторним газовим пристроєм; 5 – деталь

### Питання і завдання для самоконтролю

1. Дайте характеристику процесів промивання і очищення деталей як об'єктів автоматизації і механізації.
2. Які чинники зумовлюють складність механізації і автоматизації процесів промивання і очищення деталей повітряних суден і авіаційних двигунів?

3. Якими засобами досягається механізація механічних методів очищення? Які з методів механічного очищення найбільш перспективні з погляду механізації і автоматизації?

4. Поясніть принцип віброобразивного очищення. Які бувають установки віброобразивного очищення за ступенем їх автоматизації?

5. Якими засобами досягається механізація і автоматизація струменевих мийних машин?

6. Якими засобами досягається механізація і автоматизація процесів очищення зануренням у миючий розчин?

7. Назвіть переваги ультразвукового очищення з погляду автоматизації процесу.

8. Охарактеризуйте метод очищення гранулами льоду як напрямок механізації процесу видалення старих лакофарбових покриттів.

## **6. АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ І ДЕФЕКТАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ**

При ремонті авіаційної техніки майже всі технологічні операції підпорядковані контролю. Особливо значна частка контрольних операцій у процесах механічної обробки і дефектації деталей, які виконуються засобами технічних вимірювань і за допомогою фізичних методів неруйнівного контролю. Тому автоматизація контролю і дефектації деталей є одним з важливих етапів автоматизації авіаремонтного виробництва. У цьому розділі розглянемо питання автоматизації вимірювального контролю розмірів та форми деталей.

### **6.1. Методи і засоби автоматизації контролю розмірів та форми деталей**

Контроль розмірів та форми деталей виконується як під час виготовлення, так і під час дефектації деталей з метою встановлення відхилення їх від заданих нормативно-технічною документацією значень.

Під механізованим контролем розуміють такий контроль, при якому одна або декілька з контрольних операцій виконується механізмами. Частіше механізують подачу деталей на вимірювальну позицію і транспортування їх із зони вимірювання. Сам же процес вимірювання здійснюється оператором вручну.

При напівавтоматичному контролі вимірювання проводиться автоматично, а інші операції (транспортування, базування і т.ін.) вручну.

Автоматичний контроль забезпечує виконання без участі людини всієї сукупності дій, необхідних для здійснення контролю, включаючи завантаження, встановлення деталі на вимірювальній позиції і власне контроль (вимірювання).

Контролю в основному підлягають такі розміри деталей: зовнішній діаметр, довжина, внутрішній діаметр. Важливим фактором для автоматизації контрольної операції при цьому є правильний вибір способу базування і схеми вимірювання.

Способи базування деталі і схеми вимірювання зовнішнього діаметра наведені на рис. 6.1. Застосування способів контролю зовнішнього діаметра конусним калібром (рис. 6.1, а), кільцем (рис. 6.1, б), одно- та двограничною скобою (рис. 6.1, в, г) у більшості

випадків ускладнено, тому при автоматизації процесу контролю частіше застосовують схеми, наведені на рис. 6.1, *д-к*.

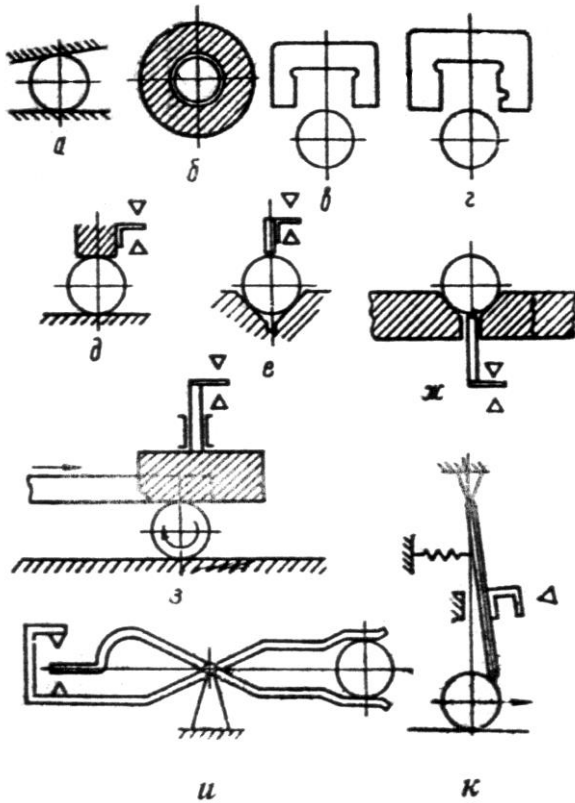


Рис. 6.1. Вимірювальні бази і схеми вимірювання при автоматичному контролі розмірів

Для вимірювання розмірів довжин користуються такими ж методами, як і при вимірюванні діаметрів. Контроль внутрішніх діаметрів за способами вимірювання дещо відрізняється від вимірювання зовнішніх діаметрів.

Контроль відхилення від правильної геометричної форми виконується шляхом вимірювання деталі в декількох площинах. Для цього можна використовувати один вимірювальний шток, а деталь при цьому повинна переміщуватись чи обертатись у процесі вимірювання.

До засобів механізації та автоматизації контролю належать прилади автоматичного і активного контролю, контрольно-

вимірювальні автомати та напівавтомати, координатно-вимірювальні машини і контрольно-вимірювальні пристосування. В основу дії таких засобів покладені механічні, електроконтактні, пневматичні та інші вимірювальні перетворювачі (датчики). Частіше застосовують електричні засоби вимірювань: електроконтактні, індукційні, ємнісні, фотоелектричні, п'єзоелектричні датчики в поєднанні з механічними і пневматичними перетворювачами.

Для контролю лінійних розмірів деталей у різного типу автоматичних пристроях широко використовуються електроконтактні датчики розмірів.

Електроконтактний датчик являє собою спеціальний кінцевий перемикач, який перетворює зміну розміру деталі в електричні сигнали за допомогою замикання або розмикання електричних контактів. Принцип дії електроконтактного датчика показано на рис. 6.2.

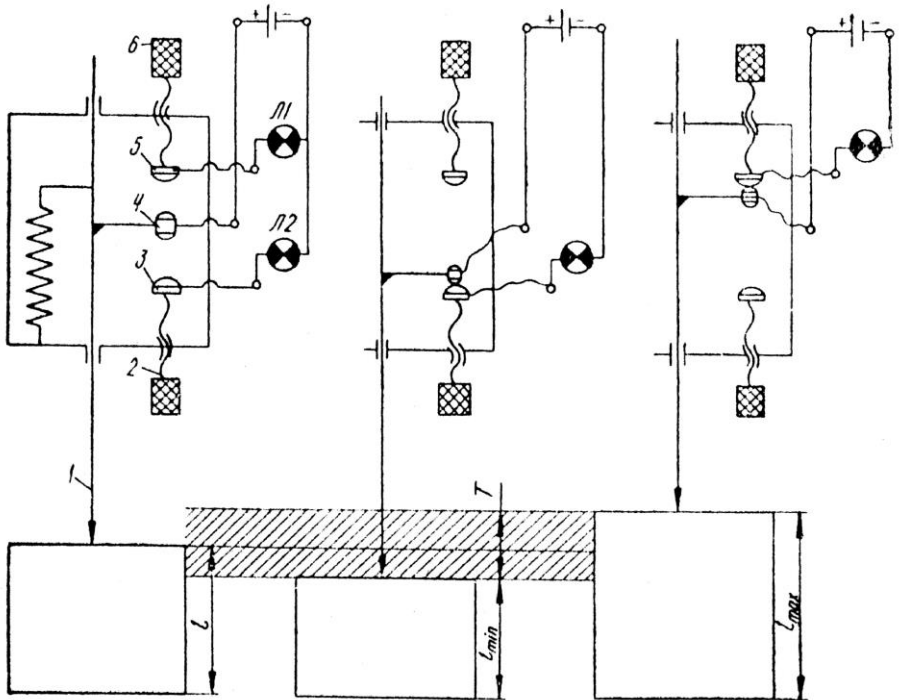


Рис. 6.2. Принципова схема електроконтактного датчика розмірів: 1 – вимірювальний шток; 2 і 6 – гвинти настроювання датчика; 3 і 5 – верхній та нижній нерухомі контакти; 4 – рухомий контакт

Розмір деталі  $l$  сприймається вимірювальним штоком  $l$  датчика, на якому закріплено рухомий електричний контакт 4. За допомогою гвинтів 2 і 6, на яких закріплені відповідно нижній та верхній контакти, проводиться налагодження датчика. Налагодження верхнього контакту 5 проводиться таким чином, щоб він замикався при розмірі деталі, відповідному верхній границі поля допуску  $l_{\max}$ , а нижній контакт навпаки – замикався при розмірі деталі, відповідному нижній границі поля допуску  $l_{\min}$ . Відповідно до цього загоряються сигнальні лампочки  $Л1$  і  $Л2$ . Якщо розмір деталі знаходиться в межах установленого допуску, контакти датчика будуть розімкнені і сигнальні лампочки не загоряються.

За своїм призначенням електроконтактні датчики поділяються на граничні та амплітудні. Граничні електроконтактні датчики забезпечують контроль заданого розміру деталі в межах допуску на розмір. Залежно від кількості граничних розмірів, які фіксує датчик, граничні електроконтактні датчики можуть бути одно-, дво-, три- та багатограничними.

Амплітудні електроконтактні датчики використовуються для контролю відхилення геометричної форми деталі (овальності, паралельності двох поверхонь). Вони бувають тільки двоконтактними, оскільки для контролю в цьому випадку потрібне визначення лише різниці між максимальним та мінімальним розмірами.

Основним недоліком електроконтактних датчиків є підгоряння контактів, що потребує періодичного їх зачищення, а також чутливість до попадання вологи в корпус приладу.

У машинобудуванні для автоматизації процесу вимірювання лінійних і кутових розмірів набули поширення індуктивні та ємнісні датчики. Принцип роботи цих датчиків було детально розглянуто в розділі 2.2. За допомогою таких датчиків лінійні або кутові переміщення штока вимірювального пристрою перетворюються в електричний сигнал. В електронному блоці вимірювального пристрою електричний сигнал датчика за допомогою відповідної схеми перетворюється у форму, зручну для індикації або реєстрації.

До фотоелектричних вимірювальних засобів належать прилади, у яких як датчик використовуються різного роду фотоелементи (фотоприймачі). Фотоприймач сприймає світлові сигнали і перетворює їх в електричні. Величина електричного сигналу залежить від освітленості фотоприймача.

Фотоелектричні прилади дозволяють здійснювати вимірювання контактним та безконтактним методом. На рис. 6.3 наведена схема безконтактного вимірювання розміру деталі фотоелектричним приладом.

Світловий потік від джерела світла 1 через оптичну систему 2 і щілинну діафрагму 4 попадає на фотоелемент 5. Якщо на шляху проходження променя поставити об'єкт 3 (деталь), то залежно від його розміру частина променів буде затримуватись і не попадати на приймальну поверхню фотоелемента. Це викликає зміну струму в електричному колі фотоелемента, за яким судять про розмір деталі.

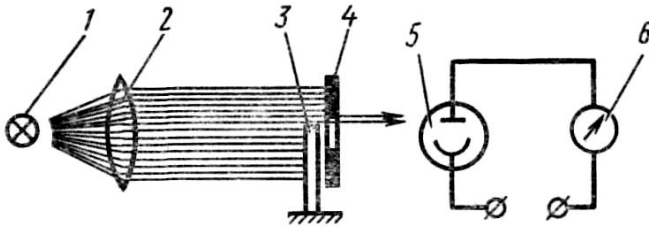


Рис. 6.3. Схема безконтактного вимірювання фотоелектричним приладом: 1 – джерело світла; 2 – оптична система; 3 – об'єкт (деталь); 4 – щілинна діафрагма; 5 – фотоелемент; 6 – амперметр

При контактному методі вимірювання замість деталі 3 використовують заслінку, яка сполучена з вимірювальним штоком приладу.

Застосування фотоелектричних приладів для вимірювання розмірів деталей має обмеження через низьку точність перетворювача. Це пояснюється тим, що на результати вимірювання впливають стороннє світло, коливання яскравості джерела світла і коливання напруги джерела живлення. Фотоелектричні прилади застосовуються для сортування деталей на різні розмірні групи і для контролю переміщення.

Найбільш універсальними автоматичними засобами вимірювання розмірів є **координатно-вимірювальні машини (КВМ)**. Вони призначені для вимірювання лінійних та кутових розмірів, а також для вимірювання відхилення форми і розташування осей складних корпусних деталей. КВМ дозволяють здійснювати перераховані види вимірювань у двох, трьох та чотирьох координатах





Рис. 6.4. Напрямки вимірювань чотири-координатно-вимірювальної машини

– координати  $Z$ ,  $X$ ,  $Y$ , а також поворот на кут  $\varphi$  у площині  $XOY$  (рис. 6.4).

Основними елементами КВМ є напрямні, по яких переміщується вимірювальна каретка з наконечником, і відлікові та лічильно-розв'язувальні системи. Машини можуть працювати в двох режимах. Вони або переміщують вимірювальний наконечник до контакту з вимірюваною поверхнею і за допомогою розрахункових пристроїв

визначають її положення в системі координат, або вимірювальний наконечник переміщується в точки, відповідні номінальним значенням вимірюваних розмірів, а відлікові пристрої оцінюють відхилення положення дійсних поверхонь від номінального значення.

У сучасних КВМ керування переміщенням вимірювальної каретки здійснюється за програмою за допомогою ЕОМ. ЕОМ виконує також обробку результатів вимірювань, перерахунок значень вимірюваних розмірів залежно від положення довільно розташованої на столі машини вимірюваної деталі, друкування результатів вимірювань з указанням дійсних значень вимірюваних розмірів або їх відхилень від заданих значень та їх цифрову індикацію на спеціальному табло.

## 6.2. Контрольні автомати

Всі пристрої автоматичного контролю за їх цільовим призначенням поділяють на пристрої активного (технологічного) і пасивного (післяопераційного) контролю.

Активний контроль – це контроль у процесі оброблення (виготовлення) деталі. Пристрої активного контролю в процесі оброблення здійснюють контроль розмірів деталі і за результатами вимірювання виконують керування технологічним процесом оброблення: автоматично змінюють режими оброблення, зупиняють верстат, змінюють положення різального інструмента. В останньому випадку автоматичний пристрій називається підналадчиком.

Пристрої пасивного контролю служать для визначення числових параметрів, що перевіряються, або для контролю придатності виробів. При дефектації деталей цей контроль зводиться до розбракування

деталей на групи: "брак, який можна виправити", "брак невивправний" та "придатні".

До пристроїв автоматичного пасивного контролю належать контрольні та контрольньо-сортувальні автомати. Перші призначені для автоматичного розбракування деталей за вищенаведеними ознаками. Контрольно-сортувальні автомати виконують контроль і сортування деталей на декілька розмірних груп для подальшого селективного складання.

Контрольні автомати відрізняються великою різноманітністю компонувань та схем вимірювання. У загальному випадку автомат складається із завантажувального, транспортного, вимірювального, запам'ятовувального та виконавчого пристроїв, а також містить керуючий командоапарат та пускове коло. Контрольний напівавтомат містить автоматичний вимірювальний пристрій, а інші функції (одну або декілька) виконує за допомогою оператора. Найчастіше в напівавтоматах неавтоматизованими є завантаження та вивантаження деталей.

Для вимірювання в контрольних автоматах використовуються механічні вимірювальні системи і системи з електроконтактними, індуктивними та фотоелектричними вимірювальними перетворювачами.

### **Питання і завдання для самоконтролю**

1. Розкрийте поняття механізованого, напівавтоматичного і автоматичного контролю.

2. Наведіть схеми способів базування і схеми вимірювання зовнішнього діаметра деталей при автоматичному контролі.

3. Наведіть принципову схему і поясніть принцип дії електроконтактного датчика розмірів.

4. Наведіть схему і поясніть принцип вимірювання розміру деталі фотоелектричним приладом. Які недоліки мають фотоелектричні прилади при їх застосуванні для вимірювання розмірів деталей?

5. Яке призначення контрольньо-вимірювальних машин? З яких основних елементів вони складаються?

6. На які види поділяються пристрої автоматичного контролю за їх призначенням? Назвіть основні елементи контрольних автоматів.

## **7. АВТОМАТИЗАЦІЯ І МЕХАНІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ**

### **7.1. Автоматизація і механізація технологічних процесів нанесення гальванічних покриттів**

Процеси гальванічного нанесення покриттів широко використовуються при виробництві та ремонті деталей АТ. Гальванічні покриття застосовують для відновлення розмірів зношених деталей, надання поверхням деталей підвищеної зносостійкості, антифрикційності, корозійної стійкості, а також як декоративні. В авіаремонтному виробництві найбільш поширені гальванічне хромування, нікелювання, цинкування, кадміювання, міднення, оксидування.

В умовах авіаремонтного виробництва технологічні процеси нанесення гальванопокриттів поділяються на два етапи – підготовка поверхонь деталей до нанесення покриття (шліфування, полірування) і нанесення покриття. У зв'язку з цим розроблення і впровадження засобів механізації і автоматизації процесів нанесення гальванопокриттів іде за двома різними напрямками:

- механізація і автоматизація підготовчих операцій;
- механізація і автоматизація процесів нанесення гальванопокриттів.

Всі види технологічних процесів нанесення гальванопокриттів за ступенем складності їх механізації і автоматизації можна поділити на дві групи:

- до першої групи необхідно віднести процеси, за допомогою яких виконується відновлення розмірів деталей, а також наносяться покриття для підвищення зносостійкості або надання поверхням антифрикційних властивостей. У цьому випадку покриття наноситься на окремі (окрему) поверхні деталі.

- до другої групи відносять процеси, за допомогою яких підвищується корозійна стійкість або наносяться покриття декоративного призначення. Такі покриття, як правило, наносяться на всю поверхню деталі. Процеси цієї групи більш сприятливі для механізації і автоматизації.

Механізація і автоматизація гальванічних процесів проводиться за двома напрямками:

- механізація і автоматизація операцій завантаження, вивантаження і транспортування деталей у процесі оброблення;
- автоматизація контролю і регулювання технологічних режимів нанесення покриттів.

В умовах масового і багатосерійного виробництва для автоматизації гальванічних процесів використовуються автоматичні лінії, які працюють за жорсткою циклограмою і розраховані на виконання тільки одного технологічного процесу. Ванни лінії розташовують у порядку виконання технологічних операцій. Підвіси з деталями за час послідовного обходу ванн проходять весь технологічний цикл. Транспортування деталей з однієї ванни в іншу проводиться за допомогою конвеєра або автооператора.

В умовах дрібносерійного виробництва при невеликій виробничій програмі і нанесенні покриттів на деталі різної форми і розмірів частіше застосовуються стаціонарні гальванічні ванни.

На рис. 7.1 наведена схема механізованої лінії гальванічної дільниці. Вона складається з технологічного ряду ванн, який обладнано системами електроживлення, вентиляції, системами подачі холодної та гарячої води, стисненого повітря для інтенсифікації процесу промивання, системою подачі гарячої пари для ванни знежирення і сушильної камери.

Технологічний ряд ванн дозволяє вести підготовку поверхні деталей до покриття, нанесення покриття, промивання і сушіння деталей. Завантаження, вивантаження і переміщення підвісів з деталями із однієї ванни в іншу відповідно до технологічної послідовності здійснюється за допомогою крана-оператора, який керується від ручного підвісного пульта.

Нанесення гальванопокриттів великої кількості дрібних деталей проводиться у барабанах або дзвонах різної конструкції. Деталі у барабанах і дзвонах обробляють насипом, у процесі обертання барабана або дзвона. При обробці в барабанах аноди підвішують і розміщують у ванні по обидві сторони від барабана, який обертається. У дзвонах аноди поміщують усередині. Якщо дзвони обертаються у ванні, де міститься електроліт, то аноди встановлюють зовні. Такі способи нанесення гальванопокриттів відносно легко піддаються автоматизації. На авіаремонтних підприємствах для відновлення антикорозійних покриттів на дрібних, штучних деталях використовуються автомати дзвонового типу (АГ-4, АГ-16, АГ-18).

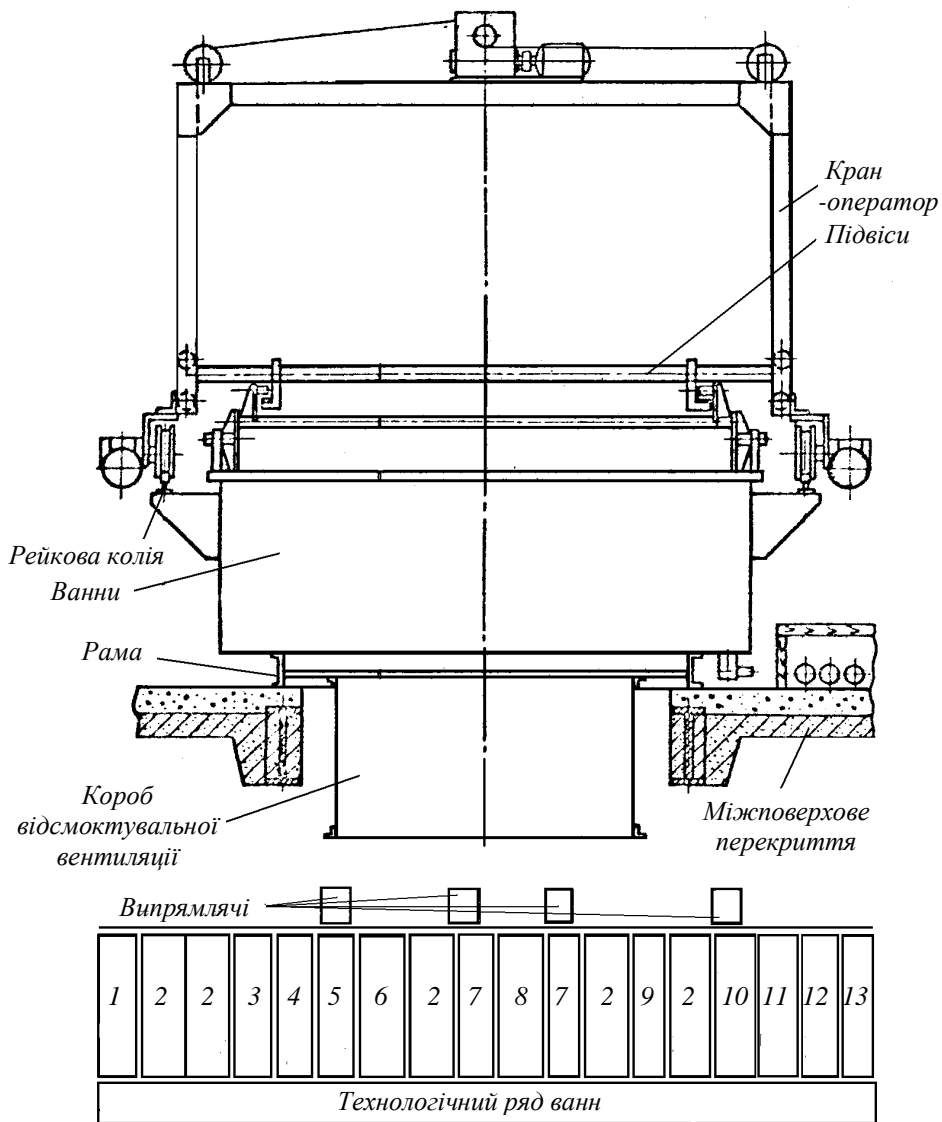


Рис. 7.1. Механізована лінія гальванічної дільниці

Автомати типу АГ за кількістю покриттів, які вони виконують, поділяються на дві групи: автомати з жорстким одиничним циклом

(або спеціальні автомати) і автомати з нежорстким циклом (спеціалізовані автомати).

Автомати типу АГ являють собою агрегати, що без участі людини виконують більшість технологічного процесу нанесення гальванопокриттів. Деталі, завантажені у дзони, які обертаються або встановлені на спеціальні підвіси, транспортуються з однієї ванни в другу за допомогою пульсуючого конвеєра. Довжина ванн для відповідних електролітів пропорційна тривалості операцій, що виконуються у цих ваннах. Завдяки цьому при переміщенні конвеєра з однаковою заданою швидкістю тривалість перебування деталей у різних ваннах виявляється різною.

Для отримання якісних покриттів, підвищення в процесі електролізу коефіцієнта використання електролітів при протіканні гальванічних процесів необхідно жорстко витримувати ряд параметрів, таких як температура електроліту, густина струму, кислотність розчинів, рівень розчину у ванні, тривалість процесу. Відхилення режимів від заданих погіршує якість покриття і призводить до браку. Тому особливу пріоритетність автоматизації процесів нанесення гальванопокриттів має впровадження засобів автоматичного контролю і регулювання параметрів процесу.

Для підтримання на заданому рівні температури розчинів застосовуються автоматичні регулятори температури: електричні, пневматичні, електропневматичні та ін.

Автоматичне регулювання рівня електроліту здійснюється за допомогою поплавкових регуляторів з розміщенням поплавка у ванні або сполученій з ванною посудині.

Автоматичному регулюванню підлягають також такі параметри, як щільність струму на катодах гальванічних ванн, кислотність електроліту, час витримки деталей у ваннах.

Автоматизація процесів нанесення гальванопокриттів може здійснюватись окремо за кожним із зазначених параметрів і комплексно за всіма параметрами. Універсальні автоматичні регулятори дозволяють з високою точністю підтримувати параметри процесів електролізу в заданих межах, що забезпечує високу якість покриттів.

## **7.2. Автоматизація і механізація технологічних процесів газотермічного напилювання**

Методи газотермічного напилювання покриттів знаходять все більше використання в різних галузях промисловості, у тому числі в авіаремонтному виробництві, як спосіб нанесення захисних покриттів і відновлення зношених деталей. Найбільшого поширення на авіаремонтних підприємствах набули газополуменеве, плазмове і детонаційне напилювання.

Автоматизація і механізація процесів газотермічного напилювання йде за трьома напрямками:

- автоматизація контролю і керування подачею напилюваного матеріалу, витратами робочих газів та іншими параметрами напилення, які задаються і регулюються в сучасних установках з єдиного пульта керування;

- автоматизація контролю та керування переміщенням деталі і обробних пристроїв;

- створення комплексно-механізованих і автоматичних ліній газотермічного напилювання покриттів, які поряд з основним обладнанням для здійснення операції напилювання включають установки для знежирення і струменево-абразивної оброблення деталей перед напилюванням, а також установки для термічного та механізованого оброблення деталей з напиленим покриттям.

Установки газополуменевого напилювання можуть бути двох типів: дротяного типу, в яких для нанесення покриттів як вихідний матеріал використовується дріт, прутики, стрижні та жилки і установки порошкового типу.

В установках дротяного типу подача напилюваного матеріалу в пальник здійснюється за допомогою роликового привода, який приводиться в рух вбудованою в пальник повітряною турбіною. Такі установки дозволяють досить легко автоматизувати процес нанесення покриття за умови наявності відповідного маніпулятора для подачі та переміщення деталі відносно пальника (або навпаки) по заданій програмі.

Зразком напівавтоматичної установки газополуменевого напилювання може бути установка ТЕНА–ГШ для напилювання покриттів із гнучких шнурових матеріалів і дротів (рис. 7.2).

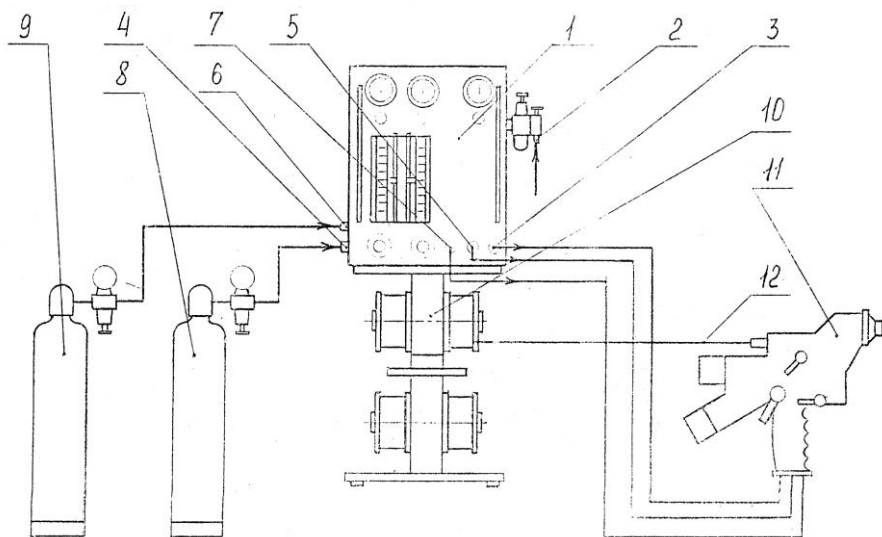


Рис. 7.2. Схема установки для газополуменового напилювання гнучкими шнуровими матеріалами і дротами: 1 – пульт керування робочими газами; 2 – підведення стисненого повітря; 3 – вихід стисненого повітря; 4 – підведення кисню; 5 – вихід кисню; 6 – підведення горючого газу; 7 – вихід горючого газу; 8, 9 – балони з киснем і горючим газом; 10 – стояк; 11 – пістолет-розпилювач; 12 – розпилюваний шнур (дріт)

До складу установки входить комплект обладнання для розпилювання матеріалів і напівавтоматична установка-маніпулятор, оснащена відсмоктувальною вентиляцією. Подача шнурового матеріалу або дроту в пістолет-розпилювач 11 здійснюється вмонтованим у пістолет механічним блоком, який включає пневматичний двигун, механічний пристрій для зміни швидкості притиснених роликів і крана керування двигуном. Пульт керування 1 призначений для керування параметрами робочих газів (тиск, витрати). Пульт складається з корпусу, панелі, блока ротаметрів з кранами керування, контролюючих механізмів, блока підготовки стисненого повітря. Пульт розміщується на стояку 10, на якому також розміщуються котушки з розпилюваним шнуром (дротом).

Установка-маніпулятор призначена для забезпечення обертання деталей типу "вал" і поздовжнього переміщення пістолета-розпилювача. Установка забезпечує роботу у двох режимах – ручному і напівавтоматичному.



В установках порошкового типу для подачі напилюваного матеріалу використовуються різної конструкції порошкові живильники. Більшість апаратів цього типу призначені для напилювання вручну або механізованого способу напилювання. Деякі типи таких установок, наприклад, установка Л-5405 розробки Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона, можуть застосовуватись як у вигляді автономних постів газополуменевого напилювання, так і в складі автоматичних ліній. В останньому випадку установки забезпечуються системою дистанційного підпалювання пальника і керування його газовим клапаном, яке здійснюється з окремого додаткового пульта керування.

Сучасним напрямком у галузі розроблення обладнання для плазмового напилювання є комплексна автоматизація операцій на базі використання промислових роботів і міні-ЕОМ. Необхідність комплексної автоматизації зумовлена, з одного боку, особливостями процесу плазмового напилювання, пов'язаними з високою чутливістю якості покриття до коливань технологічних параметрів, з другого – необхідністю відокремлення оператора від робочої зони з умов техніки безпеки. Реалізація комплексної автоматизації здійснюється у два етапи: на першому етапі за рахунок використання системи маніпуляторів і промислових роботів забезпечується механізація і автоматизація основних операцій процесу – підготовки поверхні деталі та власне напилювання покриття. На другому етапі завдяки поєднанню міні-ЕОМ з технологічним обладнанням і промисловими роботами з'являється можливість використовувати стандартні програми для напилювання покриттів на поверхні типових деталей. Такі комплекси можуть працювати за принципом систем з адаптацією до зміни зовнішніх умов і стану обладнання.

Функціональна схема цілком автоматизованої установки плазмового напилювання показана на рис. 7.3.

Система керування є гнучкою, має відносну швидкодію і простоту обслуговування. Система працює на трьох рівнях.

Рівень А – найвищий, його обслуговує комп'ютер, що задає послідовність операцій у процесі, контролює окремі компоненти системи і визначає дані на вхід та вихід. Цей комп'ютер не зв'язаний безпосередньо з виконавчими елементами установки, такими як термопари, вентилі, реле та ін. Задачу обслуговування названих елементів виконує мікропроцесор рівня В. Він керує всіма компонентами системи і видає дані комп'ютеру рівня А. Рівень В

відповідає також за керування роботами-маніпуляторами. Рівень С зв'язаний із керуванням плазмотроном та його електроживленням, а також з охолодженням.

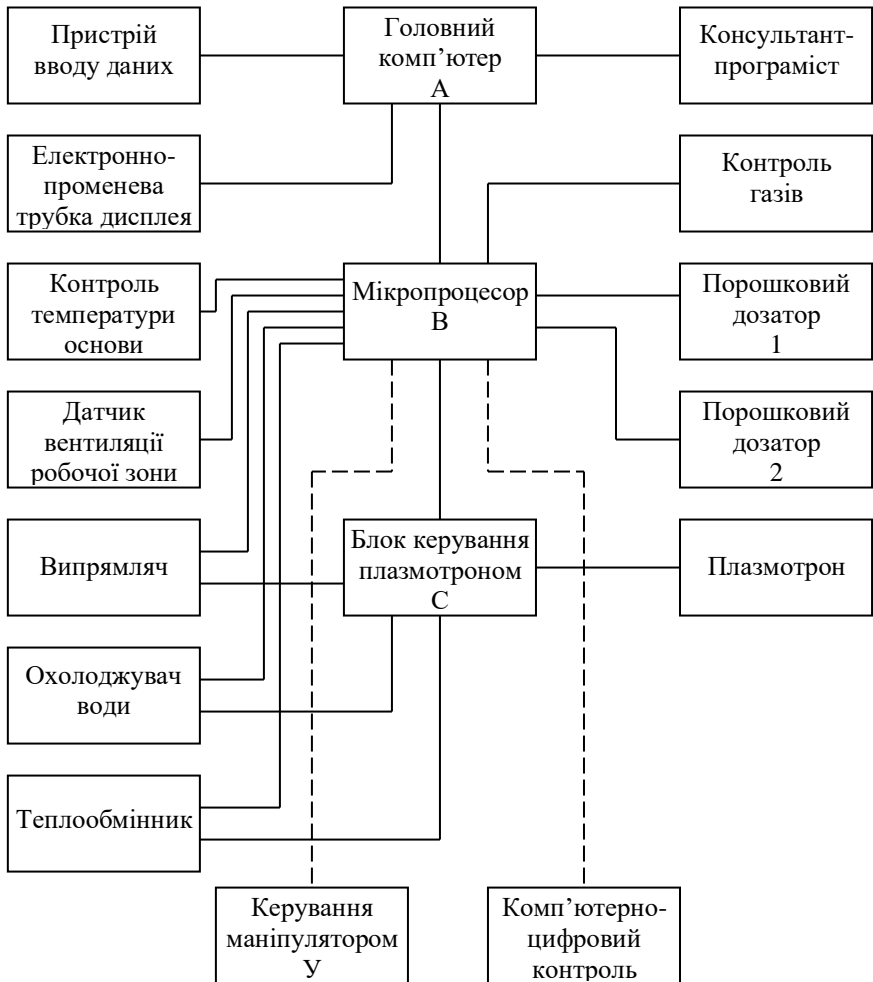


Рис. 7.3. Функціональна схема автоматизованої установки для плазмового напилювання фірми "Метко" (США)

При автоматизованому напилюванні особлива увага приділяється стійкості плазмового струменя і роботі його без

пульсацій. За допомогою автоматичного регулювання витрати газу, порошку, роботи вібратора та інших автоматичних пристроїв забезпечується рівномірна подача напилюваного порошку по осі струменя. Багаторазове повторення циклів напилювання при переміщенні деталі і плазмотрона дозволяє одержувати необхідну товщину покриттів.

На відміну від установок газополуменевого та плазмового напилювання установки детонаційно-газового напилювання призначені для напилювання покриттів тільки з порошкових матеріалів і працюють в імпульсно-циклічному режимі, що зумовлено вибуховим характером поширення детонаційної хвилі. За кожен цикл, який включає подачу порції горючої газової суміші, наприклад ацетилен-кисень, та порошку в вибухову камеру, підпалення горючої газової суміші, перенесення напилюваного порошку вибуховою детонаційною хвилею на поверхню деталі і продування, утворюються одиничні плями напилювання. Залежно від матеріалу і грануляції частинок напилюваного порошку товщина покриття, яке утворюється за один цикл, становить 5–30 мкм. Суміщенням одиничних плям напилювання шляхом переміщення ствола установки або деталі по заданій програмі і багаторазовим повторенням циклу напилювання забезпечується створення рівномірного покриття заданої товщини на плоских поверхнях, тілах обертання та на поверхнях складної форми.

У наш час існують різні типи установок детонаційно-газового напилювання, які різняться за своєю складністю, принципом виконання основних вузлів і ступенем автоматизації. Зазвичай, вони мають такі функціональні органи: ствол (вибухова камера); газорозподільний механізм, який служить для дозування, змішування і подання горючої газової суміші та продувального газу у вибухову камеру, а також транспортувального газу в порошковий дозатор; систему локалізації згоряння горючої газової суміші у вибуховій камері; блок керування, який забезпечує необхідну послідовність і тривалість вмикання виконавчих механізмів при кожному одиничному циклі напилювання; пульт дистанційного керування. У вибухову камеру монтується свічка підпалювання, яка живиться від генератора імпульсів високої напруги.

Газорозподільний механізм будують, зазвичай, на системі механічних або електромагнітних клапанів, які забезпечують циклічну подачу газів у вибухову камеру. На деяких установках використовується також безперервна безклапанна подача газів.

Програма керування технологічним циклом напилювання може здійснюватись електронним обчислювально-підсумовувальним блоком керування, від розподільчого валу шляхом замикання та розмикання електричних ланцюгів керування електромагнітних клапанів і свічки запалення та за іншими принципами.

До складу обладнання детонаційно-газового напилювання входить також маніпулятор для переміщення детонаційно-газової установки і деталі, що обробляється, установлювальні прилаштування для закріплення деталей, а також системи охолодження, вентиляції, контролю та ін.

На рис. 7.4 наведено функціональну схему установки детонаційно-газового напилювання з електронно-підсумовувальним програмним керуванням.

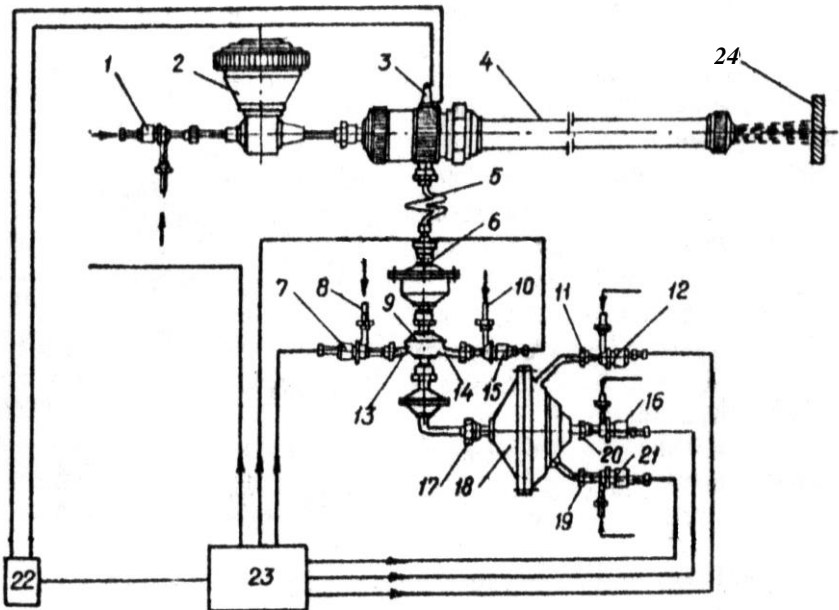


Рис. 7.4. Схема установки детонаційно-газового напилювання ИДУС-1: 1, 7, 12, 15, 16, 21 – електромагнітні клапани; 2 – порошоків дозатор; 3 – свічка запалення; 4 – вибухова камера; 5 – змійовик; 6 – пристрій, що зупиняє полум'я; 8, 10 – трубопроводи; 9 – потрійний патрубок; 11, 13, 14, 19, 20 – патрубки; 17 – вихідний патрубок; 18 – змішувальна камера; 22 – блок керування; 23 – генератор імпульсів високої напруги; 24 – деталь

Цикл роботи установки здійснюється таким чином. Блок керування 22 відповідно до заданої циклограми керування подає керуючі імпульси на електромагнітні клапани 1, 12, 16, 21 і на генератор імпульсів високої напруги 23. По цій команді відкриваються електромагнітні клапани 1, 12, 16 і 21. Через клапани 12, 16 і 21 горючий газ, окислювач і нейтральний газ подаються у змішувальну камеру. Клапан 12 нейтрального газу може перебувати у двох положеннях – "відкрито" або "закрито", залежно від того, яке співвідношення вибухової суміші потрібне. За допомогою цього клапана шляхом додання до вибухової суміші різних доз нейтрального газу можна регулювати в широких межах температуру, тиск, швидкість детонаційної хвилі, що дозволяє підбирати певний режим роботи установки для напилення різних матеріалів.

Через клапан 1 надходить транспортувальний газ (азот), який служить для подачі напилюваного порошку. Кількість напилюваного порошку регулюється дозатором 2. Після заповнення вибухової камери горючою газовою сумішшю і напилюваним матеріалом клапани 1, 12, 16, 21 закриваються і одночасно відкривається клапан 7, який подає нейтральний газ у потрібний патрубок 9, пристрій, що зупиняє полум'я, 6 і змійовик 5. Потім усі клапани закриваються, генератор високої напруги 23 подає імпульс на свічку запалення 3 і відбувається підриг вибухової горючої газової суміші у вибуховій камері. Детонаційна хвиля, що утворюється, захоплює напилюваний порошок і переносить його з великою швидкістю через відкритий кінець ствола вибухової камери на оброблювану деталь 24. У цей час спрацьовує клапан 15 і нейтральний газ під великим тиском через патрубок 14, потрібний патрубок 9, пристрій, що зупиняє полум'я, 6, змійовик 5 надходить у вибухову камеру і проводить її продування. Далі цей цикл повторюється.

### **Питання і завдання для самоконтролю**

1. Охарактеризуйте технологічні процеси відновлення деталей нанесенням гальванопокриттів з погляду їх автоматизації і механізації.
2. За якими напрямками здійснюється механізація і автоматизація гальванічних процесів?

3. Які параметри процесів гальванічного нанесення покриттів підлягають автоматичному регулюванню?
4. За якими напрямками здійснюється автоматизація і механізація процесів газотермічного напилювання?
5. Охарактеризуйте процес газополуменового напилювання з погляду автоматизації і механізації.
6. Наведіть функціональну схему комплексно-автоматизованої установки плазмового напилювання.
7. Охарактеризуйте напрямки і технічні рішення автоматизації процесу детонаційно-газового напилювання.

## 8. АВТОМАТИЗАЦІЯ І МЕХАНІЗАЦІЯ СКЛАДАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

Складання є одним із найбільш трудомістких і складних, зокрема з погляду автоматизації, етапів технологічного процесу як виробництва, так і ремонту повітряних суден (ПС) і авіаційних двигунів (АД).

Автоматизація і механізація складальних робіт найбільше застосування знаходить у масовому, менше – у серійному і обмежено в одиничному типі виробництва. Рівень механізації і автоматизації складальних робіт у машинобудуванні значно відстає від рівня механізації і автоматизації інших виробничих процесів, таких як, наприклад, механічна обробка.

Ускладнення механізації і автоматизації процесів складання зумовлюють такі чинники:

- складність конструктивних форм і недостатня технологічність конструкції виробу;

- невелика серійність випуску виробів;

- недостатня стабільність розмірів і взаємозамінність деталей;

- недостатня уніфікація і нормалізація деталей, вузлів, механізмів та готових виробів;

- велика різноманітність способів з'єднання деталей, що виконуються при складанні (нарізні з'єднання, пресові, з'єднання зварюванням, клепаанням та ін.);

- різноманітність рухів і прийомів, які необхідні для здійснення різного роду з'єднань деталей.

У масовому виробництві застосовують рухомо-поточне механізоване або автоматизоване складання виробів, яке передбачає:

- розподіл усього технологічного процесу складання на ряд послідовно розташованих по ходу процесу і виконуваних у часі складальних операцій, що виконуються на спеціальному складальному обладнанні;

- застосування спеціальних транспортних засобів для переміщення виробів між позиціями складального обладнання і забезпечення заданого такту складання;

- застосування спеціальних пристроїв для системи живлення деталями складального обладнання;

- використання спеціального та уніфікованого інструменту і пристосувань для механізації і автоматизації процесу складання;

– виконання механічної обробки деталей і складання з них виробів в одному механоскладальному цеху.

В авіаремонтному виробництві, незважаючи на велику тривалість і трудомісткість складальних робіт у загальному циклі ремонту ПС і АД, процеси складання залишаються мало механізованими і майже не автоматизованими. Основними причинами, що ускладнюють механізацію і автоматизацію процесів складання ПС і АД, є велика номенклатура найменувань деталей при малій кількості деталей однакових за розмірами, формою і найменуванням, складність конструкції окремих вузлів, агрегатів і в цілому ПС і АД, велика різноманітність операцій, які виконуються при їх складанні, переважно дрібносерійний характер авіаремонтного виробництва, при якому витрати на автоматизацію не завжди можуть бути економічно доцільними. У цих умовах основним напрямком підвищення продуктивності складальних процесів є розроблення і впровадження універсального механізованого слюсарно-складального оснащення, використання високомеханізованого інструменту і механізованих допоміжних пристосувань, організація процесів складання поточно-стендовим і поточним методами.

Механізація слюсарно-складальних робіт перш за все полягає в застосуванні механізованого інструменту з пневматичним і електричним приводом: пневмо- та електрогайковертів, клепальних пневмомолотків і т.ін. У літакобудуванні та авіаремонтному виробництві пневмоінструменти більше застосовуються, ніж електричні, через їх меншу масу і здатність працювати з більшим перевантаженням.

Одними з найбільш трудомістких операцій при вузловому та загальному складанні ПС і АД є операції, пов'язані зі складанням нарізних з'єднань – загвинчування гайок, гвинтів, шпильок. Обираючи методи та засоби механізації складання нарізних з'єднань, поряд із продуктивністю інструменту необхідно враховувати можливість виконання їм з'єднання з певним моментом затяжки. При недостатній затяжці можлива поява у з'єднанні люфту і, як наслідок, підвищення діючого при експлуатації динамічного навантаження на з'єднання. Перевищення затяжки веде до руйнування елементів різьбового з'єднання (зрізування ниток різі, витяжка і обрив болта).

Операції загвинчування гайок і гвинтів механізуються шляхом використання пневматичних та електричних гайко- і гвинтокрутів з регульованим або постійним крутним моментом.



Механізований ручний інструмент може забезпечуватись пристроями автоматичного вмикання та вимикання. Зразок такого пристрою автоматичного вмикання та вимикання електрогвинтокрута показано на рис. 8.1. Пружина 2, яка підтримує гвинтокрут, міститься в гільзі 3 і натягнута таким чином, що в неробочому положенні кришка гвинтокрута 5 прилягає до гільзи. Штифт 4, який упирається в диск 6, що закріплений на гільзі, утримує вимикач розімкненим. При опусканні гвинтокрута на загвинчувану деталь штифт 4 піднімається

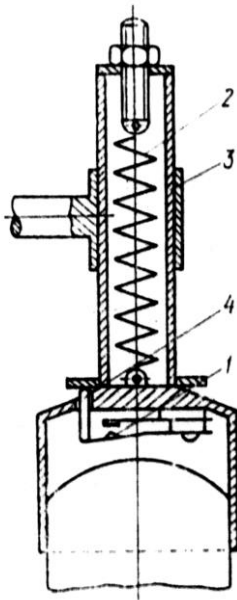


Рис. 8.1. Автоматичний пристрій вмикання та вимикання електрогвинтокрута:  
 1 – електричні контакти; 2 – пружина;  
 3 – гільза; 4 – штифт;  
 5 – кришка гвинтокрута

вгору, контакти 1 замикаються і гвинтокрут вмикається. І навпаки, при підніманні гвинтокрута вгору штифт 4 опускається, контакти 1 розмикаються і гвинтокрут вимикається.

При складанні різьбових з'єднань значна кількість часу втрачається на орієнтування і початкове встановлення загвинчуваних гвинтів і гайок відносно відповідних різьбових деталей. Ця операція значно спрощується в разі використання порівняно нескладних засобів малої механізації – різних пристроїв для захоплення і втримання гвинтів і гайок.

Застосування ручного механізованого інструменту на операціях складання значно полегшується обладнанням робочих місць слюсарів-складальників спеціальними підвісними пристроями (рис. 8.2), які забезпечують утримання і переміщення інструменту в процесі виконання складальних робіт.

Технологічний процес автоматичного складання суттєво відрізняється від ручного і механізованого складання. При ручному і механізованому складанні використовується простий ручний і механізований інструмент. Для автоматичного складання необхідно мати складний комплекс пристроїв, що діють автоматично, і здійснюють усі необхідні для складання переходи.

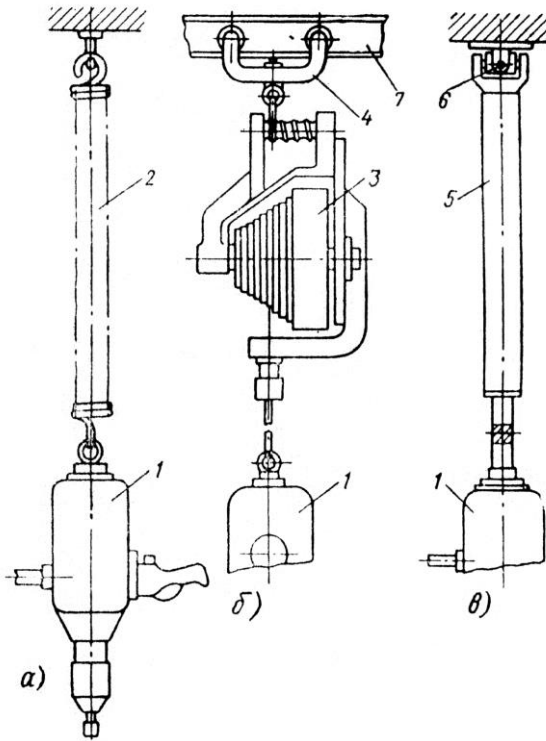


Рис. 8.2. Способи підвішування складального інструменту: *a* – вільне підвішування інструменту на пружині; *б* – підвішування на пружинячому блоці і рухомому візку; *в* – підвішування на телескопічній трубі і карданному шарнірі; 1 – інструмент; 2 – пружина; 3 – пружинячий блок; 4 – візок; 5 – телескопічна труба; 6 – карданний шарнір; 7 – підвісна колія

Проектування і виготовлення автоматичних складальних пристроїв пов'язане зі значними матеріальними витратами, тому автоматизація складальних процесів є економічно доцільною, як правило, в умовах масового виробництва і при постійній номенклатурі та конструкції виробів, що випускаються.

При характерному для авіаремонтних підприємств невеликому обсязі і частій зміні об'єктів виробництва, неповній взаємозамінності і відповідності за рядом параметрів відновлених деталей новим деталям автоматизація процесів складання може охоплювати лише окремі операції або окремі вузли.

Для переходу на автоматизоване складання конструкція виробу має відповідати низці технологічних вимог:

- блоковості конструкції. Згідно з цією вимогою конструкція виробу повинна складатись з окремих уніфікованих функціональних блоків, які можуть бути складені і відрегульовані незалежно один від одного;

- простота конструкції, що, насамперед, передбачає зменшення кількості деталей виробу. Ця вимога може дещо суперечити технологічності виготовлення самих деталей, тому потребує ретельного конструктивно-технологічного аналізу і вибору для кожного конкретного випадку оптимального варіанта;

- доступність розташування складальних з'єднань і регульовальних елементів.

Деталі та вузли, які надходять на автоматичне складання, також повинні відповідати ряду вимог з технологічності і конструктивного оформлення:

- деталі, по можливості, повинні мати симетричну, просту форму, що забезпечує надійність їх орієнтації у завантажувальних і транспортних пристроях;

- для надійної та точної фіксації на складальних позиціях деталі повинні мати чітко визначені базові поверхні, бажано циліндричні або плоскі;

- при проектуванні деталей та вузлів, які підлягають автоматичному складанню, необхідно передбачати конструктивні елементи, що полегшують самовстановлення і центрування спряжених поверхонь (фаски, розточки, напрямні конуси та ін.).

- у попередньо-складених вузлах поверхні спряження повинні бути легкодоступними, допустимі відхилення розмірів і форм, взаємного розташування спряжених поверхонь деталей повинні бути розрахунково обґрунтовані з погляду оптимальної точності процесу автоматичного складання.

Типовий технологічний процес автоматичного складання включає в себе такі елементарні операції:

- завантаження деталей у завантажувальні пристрої;
- забирання деталей із завантажувальних пристроїв і подача їх на позиції складального обладнання;

- орієнтування деталей у необхідне положення;
- з'єднання і фіксація деталей, що складаються, у необхідному положенні;

- контроль якості складальної одиниці, переміщення складальної одиниці на наступну позицію складального обладнання;
- зняття і перенесення складеного виробу до місця зберігання.

Відповідно до елементів технологічного процесу складання складальні автомати компонуються з механізмів та пристроїв для автоматичного завантажування, орієнтування і подачі деталей на складальні позиції, власне складання, включаючи з'єднання і фіксацію деталей у необхідному положенні, контролю якості складальної одиниці та засобів транспортування складальних одиниць і виробу в процесі складання.

Одним з напрямків автоматизації складальних процесів є застосування промислових роботів (автооператорів). Складальний автооператор має дві основні функціональні частини – програмну (задавальну частину) і виконавчий орган (маніпулятор). Задавальна частина автооператора забезпечує необхідну послідовність переміщення маніпулятора при виконанні основних та допоміжних операцій процесу. Автооператори можуть мати до десяти різних рухів і виконуватись з різними конструкціями захватів та інструментів, у тому числі й таких, що автоматично змінюються. На практиці частіше застосовуються автооператори з кількістю рухів не більше п'яти.

На рис. 8.3, *а* подано схему рухів автооператора з трьома основними рухами: поворот руки 2 навколо стояка 3, вертикальне переміщення руки 2 по стояку 3, поздовжнє переміщення захоплювача 1 по руці 2. Зазначені рухи забезпечують перенесення захоплювача 1 зі складальним інструментом у будь-яку точку робочого простору автооператора.

Автооператори можуть бути як з постійним налагодженням робочого циклу на постійно виконуваних операціях, так і забезпечуватись системою програмного керування, що робить автооператор переналагоджуваним автоматом.

Автооператори можуть працювати як індивідуальні установки, а також бути вбудованими в лінію або використовуватись у комплекті з іншим складальним обладнанням. На рис. 8.3, *б* та рис. 8.3, *в* відповідно показано компонування ряду послідовно розміщених автооператорів на складальній лінії і автооператорів у компонуванні з круглим обертовим столом складального агрегату.

Автооператори (роботи) використовуються для виконання різних складальних робіт: для автоматичного складання вузлів із двох-трьох та більше деталей, при цьому робот працює як окремий автомат; для

загального складання виробів, що компонуються з простих попередньо складених вузлів; для загального складання на окремих дільницях поточної або поточно-автоматизованої складальної лінії; для попереднього комплектування вузлів; для виконання допоміжних складальних операцій.

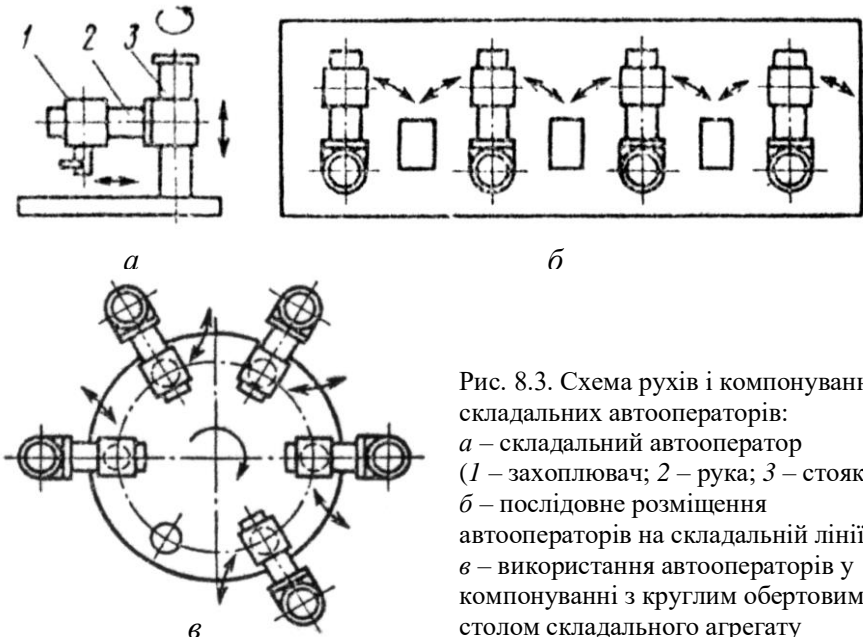


Рис. 8.3. Схема рухів і компонування складальних автооператорів:  
*а* – складальний автооператор (1 – захоплювач; 2 – рука; 3 – стаяк);  
*б* – послідовне розміщення автооператорів на складальній лінії;  
*в* – використання автооператорів у компонуванні з круглим обертовим столом складального агрегату

Як засіб автоматизації – сучасні складальні автооператори (роботи) мають достатні технічні можливості, є достатньо універсальними та гнучкими. Широкого використання набувають роботи, програма роботи яких складається і записується за принципом самонавчання. Оператор у процесі налагодження робота переміщує руку із захоплювачем у розрахункові точки траєкторії руху. Положення маніпулятора в цих точках фіксується у вигляді сигналів від кодових датчиків в блоці пам'яті системи програмного керування у певній послідовності. Після закінчення навчання робот у процесі роботи самостійно відтворює задану траєкторію і послідовність рухів.

## Питання і завдання для самоконтролю

1. Які чинники ускладнюють механізацію і автоматизацію процесів складання?
2. Назвіть основні напрямки механізації і автоматизації процесів складання в умовах авіаремонтного виробництва.
3. Наведіть приклади застосування при складанні механізованого інструменту. Які переваги такого інструменту порівняно зі звичайним?
4. Сформулюйте вимоги до переходу на автоматичне складання.
5. З яких елементарних операцій складається технологічний процес автоматичного складання? Назвіть основні механізми та пристрої складальних автоматів.
6. Поясніть принцип будови і роботи складального автооператора (робота).

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Белоусов А.П., Доценко А.И. Основы автоматизации производства в машиностроении: Учебник для машиностроит. техникумов. – М.: Высш. шк., 1982. – 351 с.
2. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. – К.: Наук. думка, 1987. – 544 с.
3. ГОСТ 23004–78 "Механизация и автоматизация технологических процессов в машиностроении и приборостроении". – М.: Издательство стандартов, 1978. – 25 с.
4. Грошиков А.И. Основы механизации и автоматизации технологических процессов в самолетостроении. – М.: Машиностроение, 1965. – 247 с.
5. Евстигнеев М.И. Автоматизация технологических процессов в авиадвигателестроении: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1982. – 208 с.
6. Козлов Ю.С., Кузнецов О.К., Тельков А.Ф. Очистка изделий в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
7. Кудрін А.П., Лубяний В.В., Хижко В.Д. Взаємозамінність та технічні вимірювання. – К.: Астра Пол, 2005. – 208 с.
8. Малов А.Н., Иванов Ю.В. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. – М.: Машиностроение, 1974. – 368 с.
9. Механическая обработка металлов: Учебник для вузов / А.М. Дальский, В.С. Гаврилюк, Л.Н. Бухаркин и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 263 с.
10. Наумов С.Л., Куракин Г.М., Ключко М.Г. Автоматизация и механизация производственных процессов технического обслуживания и ремонта авиационной техники: Курс лекций. – К.: КИИГА, 1975. – 145 с.
11. Обладнання ремонтних підприємств / М.І. Черновол, М.В. Власенко, В.М. Наливайко, В.С. Кухаренко. – К.: Урожай, 1996. – 272 с.
12. Основы механизации и автоматизации производства. / К.В. Масолов, В.Ф. Басов, Р.П. Иванов и др. – Л.: Машиностроение, 1968. – 256 с.

13. *Панамарчук В.Г.* Автоматизация производственных процессов в гражданской авиации: Учеб. пособие. – К.: КИИГА, 1983. – 51 с.

14. *Панамарчук В.Г.* Автоматизация производственных процессов в гражданской авиации: Учеб. пособие. – К.: КИИГА, 1988. – 72 с.

15. *Шандров Б.В., Шапарин А.А., Чуанов А.Д.* Автоматизация производства. (Металлообработка): Учебник для нач. проф. образования. – М.: Академия, 2004. – 256 с.

16. *Шевляков И.М.* Основы автоматизации производства в машиностроении и приборостроении: Пособие для выполнения лаб. работ и практ. занятий. – К.: Вища шк., 1983. – 160 с.

17. *Чекваксин А.Н., Семин В.Н., Стародуб К.Я.* Основы автоматики: Учеб. пособие. – М.: Энергия, 1977. – 448 с.

18. *Яковец А.И.* Основы механизации и автоматизации технологических процессов в самолетостроении: Учеб. пособие. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1991. – 221 с.



## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Автоматичне регулювання	85
Автооператори	98, 99, 100
Автоматичні системи	45, 46, 47, 48
Виконавчі елементи	38, 39, 40
Гальванічні покриття	82, 83
Газотермічне напилювання	86
Датчики	22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 32, 77
Задавальні елементи	33, 34
Координатно-вимірювальні машини (КВМ)	79, 80
Порівнювальні елементи	35
Підсилювачі	36, 37
Промивання і очищення	68, 69
Циклові системи програмного керування (ЦСПК)	62, 63
Числове програмне керування (ЧПК)	64, 65, 66, 67

Навчальне видання

ДУХОТА Олександр Іванович  
ХИЖКО Віталій Дмитрович  
МАЛЕНКО Віталій Іванович  
ВОЛОСОВИЧ Георгій Андрійович

**АВТОМАТИЗАЦІЯ І МЕХАНІЗАЦІЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РЕМОНТУ  
АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ**

Навчальний посібник

Технічний редактор А.І. Лавринович  
Коректор

Підп. до друку . Формат . Папір офс.  
Офс. друк. Ум. друк. арк. . Обл.-вид. арк. .  
Тираж пр. Замовлення № . Вид. №

Видавництво НАУ  
03680. Київ–680, проспект Космонавта Комарова, 1.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002