

**Міністерство освіти і науки України**

**І.А.Овчинникова**

# **АВТОМАТИЗАЦІЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ**

**Навчально-методичний посібник**

*для студентів денного та заочного відділення  
спеціальності «Металургія»*

**Запоріжжя  
2009**

## Зміст

Розділ 1. Основи побудови автоматичних та автоматизованих систем управління технологічними процесами.

1.1 Автоматизація як об'єктивна закономірність розвитку виробництва та її соціальне значення

1.2. Принципи побудови систем автоматизованого управління та їх функціональні елементи. Типова функціональна схема.

1.3. Поняття ТОУ, АСУТП та АТК. Цілі та функції АСУТП

1.4 Різновиди АСУ ТП

1.5 Склад АСУТП. Поняття про оперативний персонал, організаційне, технічне, математичне, програмне та інформаційне забезпечення АСУТП

Розділ 2. Короткі основи теорії автоматичного керування

2.1 Різновиди математичних моделей САУ. Математичний опис лінійних систем

2.2 Типові динамічні ланки

2.3 Алгоритмічні схеми САУ та правила їх перетворення.

2.4 Об'єкти регулювання з зосередженими параметрами

2.5 Закони регулювання та особливості їх функціонування.

2.6 Передавальні замкнених САУ по керуючому і порушувальному впливах.

2.7 Стійкість систем автоматичного регулювання

2.8 Поняття про якість роботи САУ

2.9 Поліпшення якості процесів регулювання

Розділ 3. Методи отримання інформації про параметри технологічних процесів та технічні засоби АСУТП в металургії

3.1 Засоби одержання, перетворення, переробки, передачі та зберігання технологічної інформації

3.2 Засоби вимірювання тиску газу, рідини і пара

3.3 Засоби вимірювання витрат газоподібних, рідких і сипучих матеріалів.

3.4 Засоби вимірювання температури

3.5. Засоби визначення хімічних розчинів чавуну, сталі і газів, окислювання металу

3.6 Засоби вимірювання лінійних розмірів прокату.

3.7 Промислові комплекси засобів автоматичного управління, їх принципи дії та основні характеристики.

3.8 Мікропроцесорна техніка

Розділ 4. АСУ технологічними процесами

4.1. Типові підсистеми автоматичного контролю та керування тепловими процесами

## **Розділ 1. Основи побудови автоматичних та автоматизованих систем управління технологічними процесами.**

### **1.1 Автоматизація як об'єктивна закономірність розвитку виробництва та її соціальне значення**

Сучасний етап розвитку промислового виробництва характеризується переходом до використання передової технології, прагненням домогтися високих експлуатаційних характеристик як діючого, так і обладнання, що проектується, необхідністю звести до мінімуму будь-які виробництва любі втрати. Все це можливо тільки за умови істотного підвищення якості управління промисловими об'єктами, в тому числі шляхом широкого застосування АСУТП.

Техніко-економічними передумовами створення АСУТП є перш за все зростання масштабів виробництва, збільшення одиничної потужності устаткування, ускладнення виробничих процесів, використання форсованих режимів (підвищені тиску, температури, швидкості реакцій), поява установок і цілих виробництв, що функціонують в критичних режимах, посилення та ускладнення зв'язків між окремими ланками технологічного процесу. Останнім часом у розвитку багатьох галузей промисловості з'явилися нові чинники, пов'язані не тільки з підвищенням вимог до кількості і якості продукції, що випускається, але й з напруженістю в галузі трудових ресурсів. Зростання продуктивності праці, в тому числі шляхом його автоматизації, стає практично єдиним джерелом розширення виробництва. Зазначені обставини висувають нові вимоги до масштабів використання і до технічного рівня АСУТП, до забезпечення їх надійності, точності, швидкодії, економічності, тобто до ефективності їх функціонування.

Ще однією важливою передумовою застосування АСУТП в промисловості є необхідність реалізації значних потенційних виробничих резервів. Зауважимо, що технічна база виробництва в більшості галузей промисловості досягла до цього часу такого рівня розвитку, при якому ефективність виробничого процесу самим безпосереднім і істотним чином залежить від якості управління технологією і організації виробництва. Тому на перший план висувається завдання оптимального управління технологічними процесами, вирішити яку без розвиненої АСУТП в більшості випадків неможливо.

Однак слід мати на увазі, що створення АСУТП є складною науково-технічною та організаційно-економічною проблемою, вирішення якої вимагає значних та зростаючих трудових, матеріальних і фінансових ресурсів. Внаслідок цього в якості першочергових виступають завдання найбільш більш ефективного використання капітальних вкладень, правильного вибору напрямів, встановлення черговості і раціональних обсягів робіт зі створення і застосування АСУТП. При їх вирішенні важливу роль відіграють обґрунтування, визначення та аналіз технічної раціональності та економічної ефективності автоматизованих систем управління на основі єдиних та науково обґрунтованих методичних принципів.

Закономірність появи та характерні ознаки АСУТП стануть більш зрозумілими, якщо розглянути в історичному аспекті виникнення та розвиток систем автоматизації промислових об'єктів. Вона пройшла через кілька якісно різних етапів.

Як правило, перехід до кожного з них був пов'язаний з появою нових технічних засобів. У свою чергу ці засоби розроблялись у відповідь на постійно зростаючі вимоги практики управління, які обумовлені ускладненням процесів виробництва та обмеженістю можливостей людини як їх безпосереднього учасника.

Завдання управління технологічними процесами виникла одночасно з появою матеріального виробництва, тобто процесів цілеспрямованого перетворення матерії або енергії. Спочатку всю цю задачу вирішував чоловік, який, подаючи певні кількості матеріалу і (або) енергії, одночасно «на око» оцінював хід процесу, при необхідності корегував його і встановлював момент завершення перетворення.

В міру ускладнення виробництва потрібно більш розвинуте і точне управління. У таких умовах обмеженість здібностей людини, неможливість «на око» і «на дотик» проконтролювати процес виробництва були серйозною перешкодою для подальшого розвитку. Тому першими помічниками людини стали різноманітні контрольно-вимірювальні пристрої.

На зорі автоматизації чоловік вів технологічний процес, перебуваючи біля місцевих контрольно-вимірювальних приладів, встановлених безпосередньо на обладнанні та працюючих у прямому контакті з матеріальними потоками. Ці засоби давали йому можливість більш точно і, головне, об'єктивно оцінювати роботу технологічного об'єкта і, отже, поліпшувати його перебіг.

Подальше зростання потужностей і розмірів обладнання змусило замислитися про те, як звільнити робочого від стомлюючої завдання: весь час перебувати у машин і апаратів, стежити за показаннями приладів і вручну здійснюється необхідні налаштування та перемикання. У цьому контексті важливим технічним досягненням стало створення вимірювальних, регулювальних і виконавчих пристроїв з зовнішнім джерелом енергії, в тому числі - виконавчих механізмів з пневматичним та електричним приводом. Це дозволило організувати пости контролю та дистанційного керування і широко застосувати автоматичні регулятори. В результаті значно покращилися умови роботи обслуговуючого персоналу: зменшилася фізичне навантаження, більш зручним стало робоче місце, сприятливе стала і зовнішнє середовище.

З освоєнням контрольно-вимірювальних і керуючих пристроїв з уніфікованим вихідним сигналом з'явилася можливість поєднувати місцеві посади в центральні щити управління. Були розроблені і стали широко використовуватися так звані мнемосхеми, на яких у зображення технологічної схеми об'єкта вбудовується прилади сигналізації та індикації. Застосування цих мнемосхем значно поліпшило умови роботи оператора. У зв'язку з уніфікацією сигналів відкрилися нові шляхи для розвитку техніки автоматизації, що призвело до появи агрегатних комплексів технічних засобів, а також центральних пунктів управління.

З введенням уніфікованих вимірювальних і керуючих сигналів, які передаються на відстань, переробка інформації була територіально відделена від технологічного процесу. Вона сконцентрувалася в центральному пункті управління, де були встановлені відповідні прилади: регулятори, задатчики, ключі управління, самописці і т.д. Цих засобів тривалий час було цілком достатньо для виконання алгоритмів контролю та управління, пропонованих теорією і вони задовольняли запитами практики.

Таким чином, до кінця розглянутого періоду були досить повно автоматизовані дії щодо отримання, збору та подання інформації про стан окремих технологічних змінних об'єкта і з дистанційного здійснення на нього керуючих впливів, тобто два основних функційціональних елемента системи управління. Залишався неавтоматизованим третій елемент - прийняття рішень, без якого ефективне управління будь-яким об'єктом неможливо: маючи у своєму розпорядженні інформацією про керований об'єкт, потрібно її використовувати для проведення необхідних розрахунків, на підставі яких необхідно прийняти рішення і здійснити управління технологічним процесом.

Значною підмогою у вирішенні цієї задачі для людини-оператора служили автоматичні регулятори; вони звільняли його від необхідності щоминути приймати рішення з управління великою кількістю технологічних змінних. Однак управління процесом в цілому залишалося за оператором: практично важко здійснити правильну автоматичну взаємодію великої кількості регуляторів, що забезпечують роздільне регулювання параметрами в кожному контурі (ділянці) процесу, тобто створити взаємопов'язану систему автоматичного управління процесом як єдиним цілим. Як і раніше, оператор повинен був приймати рішення з управління, які відносяться до взаємодії багатьох контурів. Для цього він за показаннями зміни вимірювальних приладів інтуїтивно виробляв необхідні оцінки та обчислення, приймав рішення та здійснював керуючі впливи. Однак у міру ускладнення процесів навіть найбільш кваліфіковані оператори перестали задовільно справлятися з цими завданнями.

Щоб ясніше уявити всю складність поставлених перед кожним оператором завдань, слід врахувати, що при управлінні сучасним промисловим об'єктом до нього треба підходити як до єдиного цілого, а не як до набору різних незалежних елементів. Необхідно весь виробничий процес вести в некедекому оптимальному режимі, при якому може бути отриманий належний ефект управління. Важливо також зазначити, що системи управління, що використовуються в даний час в промисловості, часто належать до так званих великим системам, тобто характеризуються участю значної кількості людей, різноманітних машин і апаратів, наявністю пов'язаних між собою досить складних підсистем, що володіють своїми приватними цілями і критеріями і, врешті решт, наявністю розвиненої ієрархії рівнів управління: агрегат - виробництво - підприємство.

Аналіз подібних промислових об'єктів і систем управління показує, що для них характерні наступні тенденції:

- практично у всіх галузях промисловості спостерігається неухильне зростання одиничної продуктивності агрегатів; так, за останнє десятиріччя потужність створюваних енергоблоків теплових електростанцій послідовно підвищувалася до 300, 500 і 800 МВт, а останнім часом перевершила 1 млн. кВт; аналогічна картина укрупнення об'єктів спостерігається на підприємствах нафтопереробної, металургійної та інших галузей промисловості, як наслідок збільшуються важливість і техніко-економічних результативність управління технологічними об'єктами;

- відповідно до інтенсивно зростає необхідна «потужність» систем контролю та управління; ілюстрацією цієї тенденції може служити рис. 1.1, на якому показані криві зміни числа точок вимірювання та числа керуючих впливів на об'єктах

теплових електростанцій за останні 20 років (за даними 12 закордонних електростанцій), якщо в 1965 р. число



Рисунок 1.1 – Зростання кількості інформації в системах управління.

вимірюваних сигналів не перевищувало в середньому 500, то в 1975 р. воно вже наближалось до 3000, а число керуючих сигналів за цей же період часу збільшилося з 500 до 2000; ці цифри наочно показують зміну масштабів управління великими технологічними об'єктами;

- останнім часом докорінно змінюються погляди на значення енергетичних ресурсів, економію палива, роль людини у виробництві і на захист навколишнього середовища; в результаті відбувається суттєве підвищення вимог до якості ведення технологічних процесів;

- по мірі підвищення ступеня автоматизації виробництва відбувається естественний процес залучення все нових і нових агрегатів та ділянок в сферу дії централізованого управління. Цей процес диктується економічними міркуваннями: оптимізація роботи окремого агрегату або окремої установки не гарантує максимального економічного ефекту для виробництва в цілому; оптимум для нього найчастіше досягається при деякому компроміс між приватними критеріями оптимізації. У результаті цього зростає ступінь взаємозв'язку окремих агрегатів і ускладнюються алгоритми управління об'єктом в цілому; виникають задачі створення інтегрованих систем управління. Все це призводить до різкого ускладнення задач управління.

У таких умовах і виникла проблема автоматизації власне управління, тобто процесу прийняття рішень, яка вимагала залучення сучасних математичних методів і нових технічних засобів. В результаті з'явилися автоматизовані системи управління, тобто розвинені людино-машинні системи, які реалізують такий автоматизований процес збору і переробки інформації, який необхідний для прийняття рішень по управлінню об'єктом (процесом, виробництвом) в цілому. При цьому роль людини у будь-якій АСУ вельми істотна, так як ряд відповідальних завдань прийняття рішень в силу їх складності, багатогранності і невивчених не піддається формалізації, їх виконання не може бути повністю автоматизовано і залишається за людиною.

По мірі розвитку зазначених вище тенденцій стало очевидно, що офункціональні можливості традиційних засобів автоматизації в сфері переробки інформації вже недостатньо. І тоді на перший план вийшла електронна обчислювальна машина (ЕОМ). Вона відразу взяла на себе практично всі функції складної первинної обробки даних та централізованого контролю, а також рутинну задачу ведення звітності (складання протоколів) про роботу технологічного об'єкта, яка стала в виробництві обов'язковим. Але це був лише початок. Оскільки ЕОМ коштувала занадто дорого, розробники систем управління намагалися покласти на неї якомога більше функцій. У цій ситуації прагнення автоматизувати процеси прийняття рішень допомогло швидше усвідомити значення нових функціональних можливостей ЕОМ у багатьох напрямках.

В результаті засоби обчислювальної техніки стали не тільки розвантажувати людину від виконання рутинної нетворчої роботи, пов'язаної з великим числом простих операцій по обробці великих масивів інформації, але й оказувати йому допомогу у виконанні творчих завдань (прийняття рішень з позподілення обмежених ресурсів, оптимізації технологічного процесу тощо).

Важливо відзначити, що в міру підвищення ступеня автоматизації прийняття рішень, необхідних для управління окремими технологічними апаратами та ділянками, останні втрачають значення самостійних об'єктів управління і зливаються у все більш великі виробничі комплекси. В результаті з'явилися потужні централізовані системи управління, у яких за допомогою ЕОМ концентруються контроль і управління великою кількістю агрегатів. Ясно, що в такій системі оператор-технолог як ланка, яка приймає найбільш відповідальні рішення з управління всім об'єктом в цілому, відіграє дуже важливу роль. Саме тому такі людино-машинні системи управління називають автоматизованими (на відміну від автоматичних, тобто тих, які працюють без участі людини).

Таким чином, АСУТП виникли як результат послідовного розвитку промислових систем управління під впливом вимог планомірного збільшення потужності технологічних об'єктів, підвищення якості ведення про процесу і поліпшення умов праці обслуговуючого персоналу. Ці переваги досягалися в основному шляхом розширення масштабів і функціональних можливостей автоматичної частини систем управління, що супроводжувалося зростанням обсягів інформації та ускладненням її переробки в інформаційних і керуючих пристроях. Безпосередніми попередниками сучасних АСУТП (та їх найпростішою, початковою формою) були традиційні системи автоматизації промислових об'єктів, що представляють собою сукупність засобів автоматичного контролю, регулювання, захисту та інших систем так званої локальної автоматики, встановлених на окремих агрегатах. Такі системи розвивалися шляхом поступового об'єднання розрізаних засобів автоматизації в єдину систему по мірі появи відповідних технічних засобів. При цьому спочатку локальні системи зберігалися на кожній новій ступені розвитку незмінними, виникали лише нові рівні управління, що зв'язують попередні. Оскільки багатотехнологічні об'єкти мають значну просторову протяжність, спочатку склалася децентралізована структура системи в цілому, при якій окремі апаратні елементи системи керування розташовувалися в різних частинах об'єкта.

З появою нових технічних засобів та подальшим розвитком систем управління поступово почався процес централізації систем управління, в якому можна виділити два етапи.

Перший етап розпочався у зв'язку зі створенням вимірювальних перетворювачів, що мають уніфікований вихідний сигнал. Вони дали можливість отримувати інформацію про значення технологічних змінних (температур, тиску, витрат і т.п.) у вигляді сигналів струму, напруги або частоти. Це по суті означало розв'язку між процесами вимірювання та подальшими процесами обробки сигналу. За цим послідувала, як зазначалося вище, територіальна концентрація вторинних приладів, регуляторів та інших аналогових пристроїв, що дало ряд переваг і насамперед кращі можливості для розміщення, обслуговування та ремонту приладів.

Крім того, полегшується ручне та дистанційне керування процесом, корекція уставок регуляторів та ін

Зауважимо, що, незважаючи на територіальне суміщення приладів, процес обробки сигналів протікав як і раніше децентралізовано, в окремих вимірювальних і регулюючих пристроях.

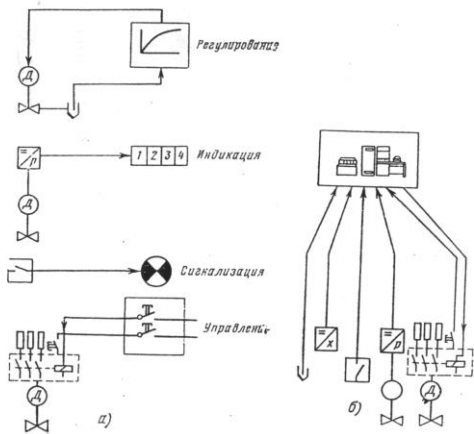


Рисунок 1.2 - Децентралізована (а) и централізована (б) обробка сигналів.

Крім того, дані передавалися роздільно по кожному контуру, тобто де-централізовано (рис. 1.2, а).

Другим етапом (завершальним) в цьому процесі є централізація функцій обробки сигналів. Перехід від децентралізованої до централізованою схемою обробки ілюструється на рис. 1.2, б.

Тут показано, що на зміну традиційної структури, за якої функції контролю, регулювання і управління здійснюються за допомогою звичайних аналогових приладів, прийшла структур туру, при якій всі вимірювальні сигнали збираються в одному пристрої, яке здійснює їх переробку в сигнали управління.

У системах управління особливо великими, протяжними об'єктами замість децентралізованої передачі сигналів (рис. 1.3, а) застосовують централізовану, здійснювану за допомогою відповідних телемеханічних пристроїв (рис. 1.3, б).

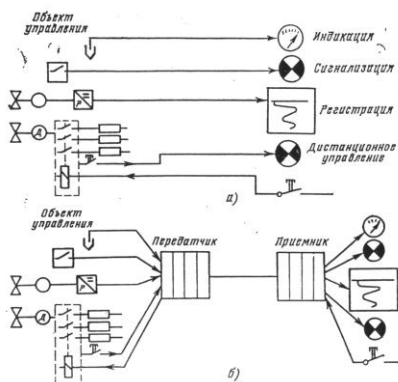


Рисунок 1.3 - Децентралізована (а) и централізована (б) передача сигналів.

Всі вимірювані сигнали концентрувалися на передавальній стороні в одному пристрої - передавачі, який здійснює їх змішування. Змішаний сигнал передавався з єдиного каналу, а на протилежному боці він знову поділявся в приймачі на окремі сигнали, які попадали на відповідні прилади. Така телемеханічна

передача сигналів виявилася економічно виправданою при відстанях, що перевищують кілька сотень метрів.

Поява ЕОМ з їх широкими можливостями в області обробки та зберігання даних відіграло вирішальну роль в централізації функцій АСУТП. Один центральний процесор не тільки успішно замінив велике число місцевих приборів, але і дозволив будувати системи управління, які виконують незмірно більш складну обробку сигналів, зокрема розрахунки за моделлю технологічного процесу (як складової частини алгоритмів контролю та управління), оптимізацію режиму, адаптивне управління і т.п.

З огляду на особливу роль, що належить ЕОМ як в самих АСУТП, так і в історії їх становлення і розвитку, коротко розглянемо еволюцію сучасних засобів обчислювальної техніки та можливостей їх застосування в системах управління.



Таке розгляд доцільний також тому, що, хоча з моменту появи перших промислових ЕОМ пройшло близько трьох десятиліть, а з моменту їх широкого використання для побудови АСУ трохи більше 15 років, за цей час і в області ЕОМ, і в області АСУ відбулися істотні зміни.

Як відомо, розвиток розробок і виробництва ЕОМ прийнято характеризувати як послідовність так званих поколінь машин з їх особливостями та відповідними областями застосування. У цьому зв'язку можна виділити три етапи розвитку АСУ в нашій країні.

Перший етап займає період приблизно з кінця 50-х до середини 60-х р.р., коли робилися спроби використовувати в системах управління лампових ЕОМ першого покоління. Цей етап може розглядатися як передісторія розвитку АСУ. Громіздкість, низькі технічні характеристики і обмежені можливості лампових ЕОМ дозволили здійснити створення лише окремих елементів і макетів АСУ.

Другий етап (середина 60-х років - середина 70-х років) характеризується створенням АСУ на базі ЕОМ другого покоління. Побудовані на напівпровідниках і добре освоєні в серійному виробництві, ці машини знайшли широке застосування в заводських обчислювальних центрах, в тому числі для розрахунків з управління господарсько-економічної і рідше виробничої діяльністю підприємств. Однак ЕОМ другого покоління були мало придатні для застосування в АСУТП, так як не мали необхідних пристроїв сполучення з об'єктом і не могли виконувати свої функції в так званому режимі реального часу, тобто в темпі, що диктується ходом керованого процесу. Незважаючи на такі істотні обмеження в цей період були знайдені рішення багатьох проблем створення АСУ - теоретичні, технічні, математичні і організаційні.

Починаючи приблизно з середини 70-х років, освоюються і впроваджуються в практику виробництва ЕОМ третього покоління. Перехід в них до використання інтегральних мікросхем і до агрегатному принципу побудови, здатність працювати в режимі реального часу, істотне підвищення гнучкості архітектури, надійності та інших параметрів ЕОМ, а також кількісне та якосне розширення периферійного обладнання - все це відкрило по суті новий, третій етап розвитку АСУ. Саме на цьому етапі вперше з'явилися технічні можливості для широкого розповсюдження АСУТП, побудованих на базі ЕОМ.

Подальший розвиток АСУТП відбувається в даний час під впливом вимог підвищення їх ефективності та якості (у тому числі надійності, ергономічності і точності). Важливу роль у цьому процесі відіграють нові технічні засоби - мікропроцесори і відеотермінали (дисплеї). У центральній частині систем відбувається децентралізація функцій шляхом розподілу обчислювальної роботи між автономними підсистемами, кожна з яких базується на своїй мікро-ЕОМ. В периферійних частинах відеотермінал успішно витиснив паралельне подання інформації за допомогою численних традиційних приладів. Дисплейна техніка дозволяє відображати стан складного об'єкта управління у вигляді візуального образу, який безпосередньо і легко сприймається оператором-технологом.

Однак успішний розвиток техніки дозволив швидко виявити нове «вузьке місце» в проблемі автоматизації управління виробництвом. Стало очевидно, що подальший прогрес в оснащенні промислових технологічних об'єктів розвиненими і ефективними АСУ неможливий без наявності відпрацьованих алгоритмів і програм,

необхідних для вироблення обґрунтованих рішень по управлінню з використанням ЕОМ.

Дійсно, важливими передумовами автоматизації управління будь-яким об'єктом служать змістовний опис та вивчення діяльності людей з наступною формалізацією їх функцій, допускають суворий математичний опис (алгоритмізацію) та передачу машинам. Перехід від змістовного словесного опису до формалізованого - один із проявів загальної закономірності наукового пізнання - є необхідною ланкою процесу передачі діяльних функцій людини технічним засобам. Стосовно до АСУТП це означає, що всі дії з контролю і керування технологічним об'єктом, які доручаємо ЕОМ, повинні бути повно та однозначно описані спочатку строгою мовою алгоритмів, тобто математичних правил і виразів, а потім у вигляді програм, тобто послідовностей команд, виконуваних обчислювальною машиною.

Роль алгоритмів і програм в сучасній АСУТП особливо велика, так як без них не можна ні використовувати для автоматизації управління величезні можливості обчислювальної техніки, ні організувати ефективну взаємодію людини та ЕОМ як його інструменту - засобу управління. Не випадково сукупність математичних методів, моделей та алгоритмів, що застосовуються в АСУТП для обробки інформації та отримання потрібних результатів, і сукупність всіх програм, які виконуються ЕОМ для цих цілей, отримали відповідно назви математичного та програмного забезпечення АСУТП. Іншими словами, математичне та програмне забезпечення є необхідною умовою для функціонування таких систем нарівні з технічним забезпеченням, що охоплює весь комплекс засобів автоматики та обчислювальної техніки. Математичне та програмне забезпечення АСУТП також перетерпіло за останні роки ряд змін. В результаті ускладнення технологічних об'єктів і завдань управління ними вартість розробки і налагодження повного комплексу відповідно алгоритмів та програм у багатьох АСУТП стала такою ж за ціною, як і витрати на придбання та монтаж всіх технічних засобів системи, включаючи ЕОМ.

Короткий розгляд етапів розвитку АСУТП дозволяє виділити декілька основних питань, без освітлення яких будь-який вивчення таких систем буде неповним:

1. Які основні різновиди та призначення сучасних АСУТП?
2. У чому полягають особливості застосування ЕОМ у АСУТП?
3. Як організується в АСУТП взаємодія людини і техніки?
4. Які основні компоненти входять до складу АСУТП?
5. Які стадії і основні етапи створення та експлуатації АСУТП? Від чого залежить ефективність таких систем?

## **1.2. Принципи побудови систем автоматизованого управління та їх функціональні елементи. Типова функціональна схема.**

Перш ніж перейти до розгляду основних понять, що використовуються в області автоматизованих систем управління, спробуємо визначити термін система, що останнім часом вживається дуже часто в самому широкому сенсі. Загальноприйнятого, єдиного визначення цього терміна до сих пі не існує. Тим не

менш автори більшості монографій, довідників та словників користуються тлумаченнями та визначеннями, близькими до наступного: система - це сукупність взаємодіючих елементів. Іншими словами, вважається, що будь-яка система являє собою не просто набір елементів (хоча б і мають загальні ознаки), а певну цілісність, казавбезпечується наявністю зв'язків і взаємодії між її елементами. Часто підкреслюються також важливі особливості, властиві багатьом технічних, соціальних і біологічних систем: наявність єдиної мети і, як наслідок, цілеспрямований характер взаємодії елементів.

Будь-яка система існує не сама по собі, а в оточенні зовнішнього середовища, що взаємодіє з нею в цілому або з окремими її елементами. Взаєморозуміння дії елементів системи як між собою, так і з зовнішнім середовищем вносить невизначеність в поняття про межі системи і ускладнює її локалізацію. Тому зазвичай доводиться обмежувати число облікових взаїмозв'язків, відкидаючи несуттєві, які мало впливають на функціонування системи і на точність одержуваних моделей. По мірі розширення і уточнення знань про систему, по мірі складання все більш точної її моделі необхідно знову вертатися до питання про межі системи, взаємозв'язок її з зовнішнім середовищем, корегуєчи початкове подання.

З необмеженої безлічі різних систем далі буде розглянуто докладно лише один їхній клас - системи управління процесами виробництва продукції на промислових підприємствах. Самі процеси матеріального виробництва (разом з обладнанням, в якому або за допомогою якого вони здійснюється) теж можна вважати системами. Однак далі вони будуть цікавити нас тільки як об'єкти управління.

Зауважимо, що практично всі сучасні процеси виробництва повинні виконуватися у відповідності з певними інструкціями, правилами, регламентними нормами. Їх вибором займаються технологи фахівці з технології, тобто способам здійснення різних перетворень предметів праці в ході виробництва. Відповідно процеси перетворення вихідних матеріалів (сировини, напівфабрикатів, заготовок і т.д.) в готову продукцію називають технологічними процесами.

Здійснення будь-якого технологічного процесу в матеріальному виробництві вимагає виконання, на перший погляд, допоміжних, але насправді дуже важливих дій по управлінню, тобто по зміні ходу процесу в бажаному напрямку. Саме тому технологічні процеси виробництва можуть і повинні розглядатися як керовані об'єкти.

Щоб отримати уявлення про особливості і характер функціонування сучасних систем управління технологічним об'єктом, розглянемо їх загальну структурну схему, представлену на рис. 1.4. Поточна інформація про стан технологічних процесів, що протікають в керованому об'єкті, поступає в керуючу систему, виконує ряд дій, починаючи зі збору інформації і закінчуючи впливом на об'єкт управління. Ця інформація порівнюється із завданням системі управління, яке формується поза її з урахуванням мети функціонування системи. Результати порівняння аналізуються, після чого готуються і приймаються рішення. На малюнку показана також можливість прийняття рішень на підставі результатів контролю та аналіза.

У розглянутому процесі збору і переробки інформації суттєву роль може грати людина як елемент даної системи управління. Наприклад, він може приймати

рішення і формувати впливу на об'єкт. Участь людини і та роль, яка йому відводиться в процесі управління, характеризують організацію цього процесу.

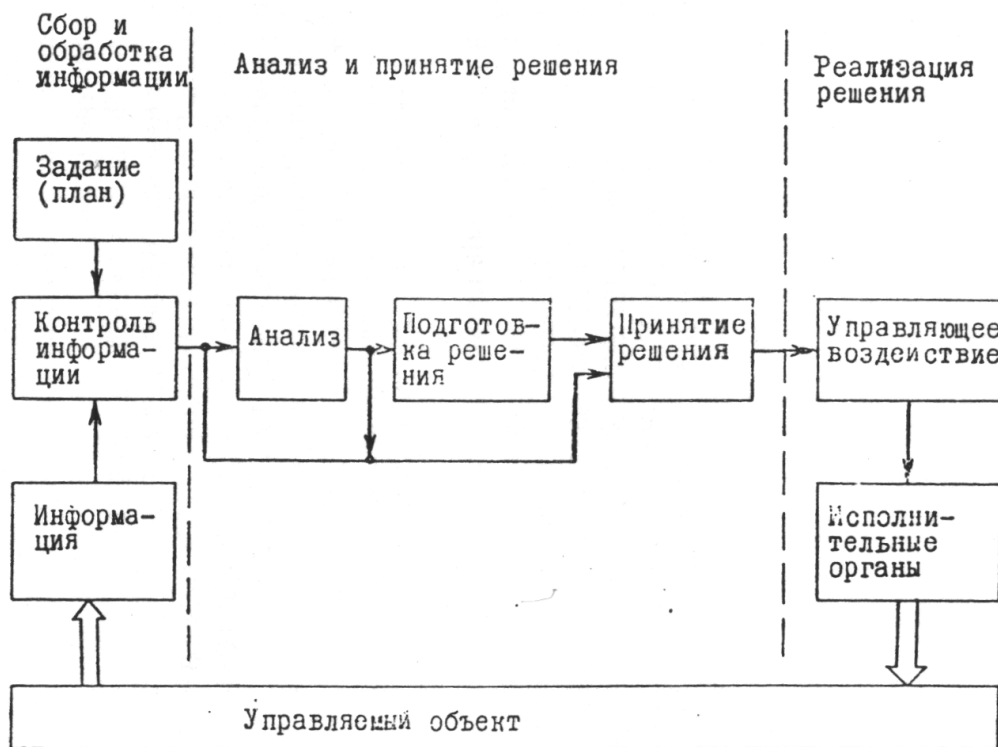


Рисунок 1.4 - Принцип побудови систем управління технологічним об'єктом.

У свою чергу співвідношення дій, виконуваних людиною і автоматичними пристроями, обумовлює апаратний склад системи управління. Найкращий варіант розподілу всієї сукупності дій між чоловіком і автоматикою заздалегідь невідомий: він залежить від конкретних умов на об'єкті, якості застосованих автоматичних пристроїв, рівня технічної підготовки персоналу, бере участь в управлінні процесом. Зазвичай ця проблема виникає ще при проектуванні системи і ставиться як задача оптимального розподілу функцій між людьми і технікою.

Кількість інформації, яку необхідно прийняти і оперативно перепрацювати для формування ефективних керуючих впливів, в сучасних системах управління виробництвом настільки зросла, що набагато перевищує можливості однієї людини. Управління складним об'єктом доводиться доручати колективу людей, кількісний ріст якого все одно не забезпечує належної якості управління. Наступає критичний момент, коли для узгодження та координації окремих керуючих дій, доведення до відома одних осіб про рішеннях, прийнятих іншими особами, необхідні інтенсивні потоки інформації всередині системи управління.

Крім того, постійно зростаюча кількість і потужності промислових об'єктів призводять до обігу у виробництві величезних ручній переробці великих обсягів інформації колективами людей, викликає абсолютні втрати в масштабах кожного промислового підприємства і всього народного господарства.

Як уже зазначалося, основним інструментом для вирішення сучасних проблем управління матеріальним виробництвом служать так звані АСУ, у яких центральна роль і творчі здібності людини поєднуються з широким застосуванням сучасних математичних методів і засобів автоматизації, включаючи обчислювальну техніку.

У відповідності з державним стандартом АСУ - це людино-машинна система, що забезпечує автоматизований збір та обробку інформації, необхідної для оптимізації управління в різних сферах людської діяльності. Процес оптимізації передбачає вибір такого варіанта управління, при якому досягається мінімальне або максимальне значення деякого критерію, який характеризує якість управління.

Оскільки термін «управління» розуміється тут в досить широкому сенсі, АСУ можуть сильно відрізнятися за типом об'єктів управління, характером та обсягом розв'язуваних завдань і по ряду інших ознак.

Розглянемо коротко три види автоматизованих систем управління, які зустрічаються на промислових підприємствах.

I. Автоматизована система управління підприємством (АСУП) призначена для вирішення основних задач управління виробничо-господарською діяльністю промислового підприємства в цілому і (або) його самостійних частин на основі застосування економіко-математичних методів і засобів обчислювальної техніки.

II. Проблема автоматизованого керування сучасним промисловим підприємством відноситься до числа досить складних і трудомістких. Відзначимо основні особливості АСУП, що визначають специфічні труднощі їх створення та використання:

а) домінуюче значення в АСУП мають економічні завдання управління: нормальне функціонування підприємства можливе лише при наявності безперервних зв'язків між виробництвом та постачанням, виробництвом і фінансовими коштами, виробництвом і реалізацією готової продукції;

б) визначальними в управлінні підприємством є не технологічні обмеження, а директивні вказівки у вигляді плану, що мають силу закону і обов'язкові до виконання;

в) істотний постійний взаємозв'язок з безліччю інших підприємств (організацій) і наявність внаслідок цього таких специфічних завдань, як управління постачанням, збутом, фінансовою діяльністю, складання статистичної звітності, облік вартісних показників, проблеми бухгалтерського обліку, економіко-статистичні розрахунки і т. д.;

г) важливу роль відіграють різноманітні завдання управління людьми і працівними ресурсами (підготовка наказів та розпоряджень, контроль за прийомом і звільненням, розрахунок заробітної плати, контроль за її плануванням і витративанієм і т.д.);

д) в АСУП використовуються специфічні форми зберігання та руху інформації - документообіг, пов'язаний з участю в рішенні загальної задачі керування великого колективу людей.

Внаслідок сильної взаємозв'язку різних показників роботи підприємства основним критерієм управління для АСУП є прибуток підприємства за планований період (наприклад, за 1 рік). Максимізація цього критерія при врахуванні інших показників у вигляді відповідних обмежень може часто вважатися формалізованою метою роботи підприємства.

III. Автоматизована система керування технологічним процесом - це АСУ для вироблення і реалізації керуючих впливів на технологічний об'єкт управління у

відповідності з прийнятим критерієм управління. Так як це один з різновидів АСУ, то їй притаманні такі ознаки, загальні для всіх АСУ:

а) АСУТП - це людино-машинна система, в якій людина відіграє важливу роль, приймаючи в більшості випадків змістовну участь у рішенні по керуванню;

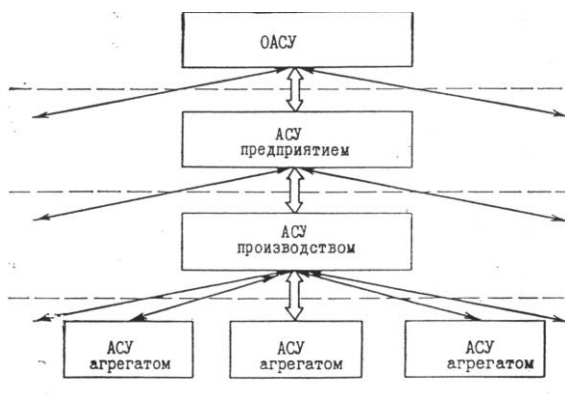
б) істотне місце в АСУТП займають автоматичні пристрої (в тому числі засоби обчислювальної техніки), які виконують трудомісткі операції зі збору, обробки та переробки інформації;

в) мета функціонування АСУТП - оптимізація роботи об'єкту шляхом з відповідних вибору керуючих впливів.

Крім того, слід мати на увазі, що АСУ може бути віднесена до класу АСУТП тільки в тому випадку, якщо вона здійснює вплив на об'єкт в тому ж темпі, що протікають у ньому технологічні процеси, забезпечує управління технологічним об'єктом в цілому, а її технічні засоби беруть участь у виробленні рішень з управління. Останніми двома обставинами АСУТП якісно відрізняється від традиційних систем автоматизації та різноманітних локальних систем автоматики, які по суті являють собою технічні засоби для автоматизації дій людини на той чи іншій ділянці процесу. На відміну від цього в АСУТП реалізується автоматизований процес прийняття рішень з управління технологічним об'єктом як єдиним цілим, для чого в АСУТП застосовуються різні «інтелектуальні» автоматичні пристрої переробки інформації, і перш за все - сучасні засоби обчислювальної техніки.

III. Інтегровані АСУ. За сучасним поглядом, відображених у з відповідних нормативних документах, АСУТП не входять безпосередньо до складу АСУ підприємствами. При розробці, впровадженні та експлуатації на одному підприємстві АСУТП и АСУП вони розглядаються як взаємопов'язані, але різні системи, між якими існують відносини ієрархічної підлеглості як молодшого до старшого, а не як частини до цілого. Аналогічно трактуються співвідношення між АСУП і галузевими АСУ (ГАСУ), АСУ агрегатами та АСУ виробництвами: усі вони не «вкладені» одна в іншу, а утворюють багаторівневу ієрархію автоматизованих систем управління промисловими об'єктами, схематично показану на рис 1.5.

При наявності на підприємстві автоматизованої системи управління, яка відноситься до класу АСУП, АСУТП отримує від відповідних підсистем АСУП завдання та обмеження (номенклатуру підлягають випуску продуктів або виробів, обсяг виробництва, задані значення техніко-економічних показників тощо), а також забезпечує підготовку і передачу цим системам необхідної техніко-економічної інформації, зокрема, про виконання завдань, основних показниках продукції, що випускається, стан обладнання, ході технологічного процесу та ін



Органічне об'єднання кількох АСУТП між собою або з АСУП, здійснюване з метою підвищення загальної технічної та економічної ефективності їх функціонування, призводить до появи на промислових

Рисунок 1.5 - Ієрархія автоматизованих систем управління.

підприємствах інтегрованих АСУ (ІАСУ). Слід підкреслити, що ІАСУ особливо ефективні в тих випадках, коли в них реалізується взаємопов'язане, злагоджене управління як технологією, так і організацією виробництва в масштабі всього підприємства. Однак можливі також ІАСУ меншого масштабу, які управляють цехом, окремим виробництвом і т. д.

### **1.3. Поняття ТОУ, АСУТП та АТК. Цілі та функції АСУТП**

Призначення будь-якої автоматизованої системи управління, її необхідні функціональні можливості, бажані технічні характеристики та інші особливості у вирішальній мірі визначаються тим об'єктом, для якого створюється ця система. Для АСУТП керованим об'єктом є так званий технологічний об'єкт керування (ТОУ), що представляє собою сукупність технологічного обладнання та реалізованого на ньому за відповідними інструкціями або регламентам технологічного процесу виробництва цільового продукту. Наведене визначення поняття ТОУ підкреслює, з одного боку, єдність процесу та устаткування і, з іншого - закінченість перетворення вхідних ресурсів у кінцевий продукт (метал, електрична або теплова енергія, хімічні речовини, вироби і т. п.).

Керуючи ТОУ, АСУТП впливає безпосередньо на ті чи інші елементи обладнання: дросельні і відсічні клапани, засувки, заслінки, дозуючі пристрої тощо. Інтенсивність цих керуючих впливів під час експлуатації вибирають так, щоб реалізується в технологічному устаткуванні процес переробки вхідних матеріальних і енергетичних потоків здійснювався найбільш доцільним чином.

При розробці АСУТП важливо правильно виділити об'єкт управління із загальної виробничо-технологічної структури підприємства. Для цього іраховується призначення і роль окремих апаратів, агрегатів і установок, ступінь залежності їх роботи від інших, сусідніх виробничих ділянок, наявність розділових (буферних) ємностей між ними, нарешті, прийняту на даному виробництві ступінь централізації управління. У відповідності з цим в якості ТОУ можуть розглядатися:

- технологічні агрегати і установки;
- окремі виробництва, що реалізують самостійний, закінчений технологічний цикл;
- виробничий процес всього промислового підприємства, якщо керування ним носить у першу чергу технологічний характер, тобто укладається у виборі та погодження раціональних режимів роботи взаємопов'язаних агрегатів, ділянок та виробництв.

Призначення АСУТП зазвичай можна визначити як цілеспрямоване ведіння технологічного процесу і забезпечення суміжних і вищестоящих систем управління необхідною інформацією. У ряді випадків, коли функціонування нових надпотужних об'єктів без сучасної АСУ виявляється практично не-можливим, призначенням такої системи є досягнення реалізовується і стійкості технологічного процесу при високоінтенсивних та економічних режимах використання обладнання.

Створення і функціонування кожної АСУТП повинно бути спрямоване на одержання цілком певних техніко-економічних результатів (зниження собівартості продукції, зменшення втрат, підвищення продуктивності праці, якості цільових

продуктів, поліпшення умов праці персоналу і т.п.). Тому після визначення призначення АСУТП необхідно чітко конкретизувати мету функціонування системи. Прикладами таких цілей для промислових технологічних об'єктів можуть служити: забезпечення безпеки його функціонування; стабілізація параметрів вхідних потоків; отримання заданих параметрів вихідних продуктів; оптимізація режиму роботи об'єкта; з-гласованіє режимів роботи обладнання.

Ступінь досягнення поставлених цілей прийнято характеризувати з допомогою так званого критерію управління, тобто показника, який досить повно характеризує якість ведення технологічного процесу і приймає числові значення в залежності від керуючих впливів, що виробляються системою. В суворій, звичайно математичній, формі критерій управління конкретизує мету створення даної системи. Одна із загальних постановок питання про критерії управління зводиться до прагнення отримати найбільший економічний ефект, який визначається різницею вартостей одержуваної готової продукції та сировини, енергії, робочої сили та інших витрат. Оптимальним буде таке управління процесом, що дозволить досягти максимального значення цієї різниці.

Не меншу роль, ніж критерій, грають обмеження, які повинні дотримуватися при виборі керуючих впливів. Обмеження бувають двох видів: фізичні, які не можуть бути порушені навіть при неправильному виборі керуючого впливу, й умовні, які можуть бути порушені, але порушення призводить до значного збитку, який не враховується критерієм. При управлінні часто найбільш істотні фактори враховуються саме обмеженнями, а не критерієм.

Як правило, загальний критерій економічної ефективності управління технологічним процесом неприменим з-за складності визначення необхідності між кількісних залежностей в конкретних умовах, у таких випадках фор-мірують приватні критерії оптимальності, що враховують специфіку керовано-го об'єкта і доповнені умовними обмеженнями. Такими приватними критеріями, наприклад, можуть бути:

- максимальна продуктивність агрегату при певних вимогах до якості продукції, умови експлуатації обладнання і т.д.;
- мінімальна собівартість при випуску продукції в заданому обсязі і заданій якості;
- мінімальний витрата деяких компонентів, наприклад дорогих присадок або каталізатора.

Щоб домогтися бажаного (у тому числі оптимального) ходу технологічного процесу, системі керування ним необхідно в потрібному темпі виконувати безліч різних взаємопов'язаних дій: збирати та аналізувати інформацію про стан процесу, реєструвати значення одних змінних і стабілізувати інші, приймати і реалізовувати відповідні рішення по управлінню і т.д. Саме ця «діяльність» системи управління була раніше названа функціонуванням, тобто виконанням нею встановлених функцій. Зараз дамо визначення й короткі роз'яснення цього поняття.

Функція АС ТП - це сукупність дій системи, спрямованих на досягнення приватної цілі управління. При цьому в якості дій розглядається заздалегідь існуючі та описані в експлуатаційної документації послідовність операцій і процедур, які виконуються частинами системи. У більшості випадків під терміном «функція



АСУТП» розуміють таку закінчену сукупність дій, виконуваних системою, яка проявляється поза її і по-цьому має певну споживчу цінність.

Функції АСУТП в цілому як людино-машинної системи варто відрізнити від функцій, які виконуються комплексом технічних засобів системи (у тому числі засобами обчислювальної техніки). Неправильно розглядати замість функцій всієї системи (включаючи людину) тільки сукупність дій, які виконуються автоматично її технічними засобами. Хоча значення подібних дій, які реалізуються без участі людини, дуже велика, однак вони не характеризують повністю поведінку та можливості всієї АСУТП. Як правило, в системі за людиною (оператором, диспетчером) зберігається головна, визначальна роль у виконанні найбільш складних і відповідальних функціональних завдань. Тому необхідно розглядати весь комплекс функцій АСУТП, включаючи ті з них, які здійснюються за участю персоналу.

Прийнято розрізняти інформаційні та керуючі функції АСУТП.

До інформаційних відносяться такі функції АСУТП, результатом виконання яких є представлення оператора системи або будь-яким зовнішнім одержувачу інформації про хід керованого процесу.

Характерними прикладами інформаційних функцій АСУТП є:

- контроль за основними параметрами, тобто безперервна перевірка відповідно параметрів процесу припустимим значенням і негайне інформування персоналу при виникненні невідповідностей;
- вимірювання або реєстрація за викликом оператора тих параметрів процесу, які його цікавлять в ході управління об'єктом;
- інформування оператора (за його запитом) про виробничу ситуації на тій чи іншій ділянці об'єкта управління в даний момент;
- фіксація часу відхилення деяких параметрів процесу за допустимі межі;
- обчислення за викликом оператора деяких комплексних показників, що не піддаються безпосередньому вимірюванню і характеризують якість продукції чи інші важливі показники технологічного процесу;
- обчислення досягнутих техніко-економічних показників роботи технологічного об'єкту;
- періодична реєстрація вимірюваних параметрів і обчислювання показників;
- виявлення та сигналізація настання небезпечних (предаварійних, аварійних) ситуацій.

Виконуючи ці основні інформаційні функції, АСУТП своєчасно забезпечує свого оператора (диспетчера) або вищу систему відомостями про стан і будь-які відхилення від нормального перебігу технологічного процесу.

Керуючі функції АСУТП включають в себе дії з вироблення і реалізації керуючих впливів на об'єкт управління. Тут під виробленням розуміється визначення (на підставі отриманої інформації) раціональних впливів, а під реалізацією - дії, що забезпечують здійснення прийнятих після вироблення рішень.

До основних керуючим функцій належать:

- стабілізація змінних технологічного процесу на деяких з постійно значеннях, визначених регламентом виробництва;
- програмне зміна режиму процесу за задалегідь заданими законами;

- захист обладнання від аварій;
- формування та реалізація керуючих впливів, що забезпечують досягнення чи дотримання режиму, оптимального по технологічному або техніко-економічного критерію;
- розподіл матеріальних потоків і навантажень між технологічними агрегатами;
- управління пуску і зупинили агрегатів та ін..

Перелік всіх функцій, які виконуються конкретної АСУТП (тобто її функціонального складу), характеризує зовнішні, споживчі можливості даної системи. Щоб розкрити її внутрішню будову, зазвичай користуються поняттями функціональної, технічної та організаційної структур АСУТП. Кожна з цих структур являє собою певний аспект системи, у якому проявляється та чи інша грань її внутрішньої будови, тобто один з можливих способів подання системи як сукупності її частин (елементів) та зв'язків між ними.

У функціональній структурі АСУТП елементами є розглянуті вище функції системи та їх частини (операції, процедури), а зв'язку між елементами відображають інформаційно-логічну послідовність та підпорядкованість їх реалізації. Значення такої структури для змістовного опису і поні-манія будови АСУТП дуже важливо: вона грає роль, аналогічну ролі принци-піальної схеми складного пристрою, з допомогою якої розкривається принцип його дії. Зазвичай тільки на відповідній схемі функціональної структури вдається показати, які саме сукупності дій, в якій послідовності виконує дана АСУТП і що робиться для досягнення прийнятих цілей і критерію управління.

Технічна та організаційна структури АСУ ТП будуть розглянуті так далі.

## 1.4 Різновиди АСУ ТП

Сучасні АСУТП дуже різноманітні і можуть відрізнятися один від одного по функціональному складу, ступеня автоматизації управління об'єктом, технічним засобам і багатьом іншим ознаками і характеристикам. Тим не менше, щоб отримати уявлення про те, якими бувають АСУТП, доцільно розглянути характерні різновиди таких систем, які розрізняються способами виконання основних інформаційних і керуючих функцій.

1.4.1. АСУ ТП, що функціонують без обчислювального комплексу. Подібні людино-машинні системи звичайно застосовуються для управління окремими простими технологічними агрегатами, установками або групами апаратів (ділянками). У загальній структурі управління виробництвом такі системи займають саму нижню ступінь ієрархії і тому характеризуються тісним зв'язком з об'єктом, деякої автономність «поведінки» (порівняно малою залежністю від інших ступенів ієрархії), найбільшою оперативністю контролю та управління.

Основні функції цих систем управління наступні:

- контроль параметрів технологічного процесу;
- стабілізація технологічного процесу на заданому постійному режимі, визначеному регламентом виробництва;
- програмне управління (включаючи пуск і зупинка процесу);

- захист обладнання від аварій;
- оперативний зв'язок зі старшими ступенями управління.

Більша частина перерахованих вище задач управління в тій чи іншій мірі притаманна і верхнім рівням управління, однак завдання управління на нижньому рівні мають свої специфічні особливості.

Такі системи управління історично були першими областю, в якій почали застосовуватися автоматичні пристрої. Якщо завдання координації (середній рівень управління) і планування (верхній рівень управління) ще до цього часу в більшості випадків вирішуються людьми без застосування безпосередньо пов'язаних з об'єктом технічних засобів автоматизації, то завдання автоматичного контролю та стабілізації температури, тиску та інших технологічних параметрів та в ряді випадків задачі оптимізації успішно вирішуються з допомогою автономних спеціалізованих технічних пристроїв.

Як уже зазначалося, системи розглянутого виду мають тісний, безпосередній зв'язок з технологічним об'єктом управління. Практично вся інформація про стан об'єкта вводиться в таку систему автоматично від датчиків (первинних перетворювачів), а керуючі впливи надходять від неї безпосередньо на регулюючі органи. При цьому збір інформації та формування керуючих впливів зазвичай виробляються або безперервно, або з досить високою частотою, що визначається темпом керованого технологічного процесу.

Внаслідок різноманіття форм зв'язку з об'єктом технічні засоби, що застосовуються на нижній ступені управління, значно більше різноманітних і дуже численні, ніж засоби, які використовуються на верхніх рівнях ієрархії. До складу навіть найпростіших систем нижнього рівня входять різноманітні вимірювальні, регулюючі, логічні та інші спеціалізовані аналогові та цифрові пристрої. Крім того, в розпорядженні оператора системи є різноманітні автоматичні пристрої контролю та управління, що дозволяють розгрузити його від виконання численних одноманітних дій зі спостереження за станом обладнання, управління ним і зосередити увагу на головних технологічних параметрах і операціях. Оператор і підпорядковані йому технічні засоби становлять єдину автоматизовану систему управління об'єктом. Один з варіантів таких систем управління зображений на рис. 1.6, де схематично показані їх основні функціонально-апаратних частини (підсистеми).

Призначення підсистеми дистанційного керування полягає в передачі впливів оператора на виконавчі механізми, віддалені від центрального пункту (посади) управління.

Підсистема автоматичного регулювання повинна підтримувати задану продуктивність (потужність) установок і стабілізувати технологічні параметри на заданому рівні. Пристрої підсистеми захисту покликані запобігати виникненню й розвитку аварій і захищати установки від аварій і руйнувань при виході з ладу окремих елементів обладнання, відмов або помилкових дій систем регулювання, а також при помилкових діях оператора. Підсистема захисту, як правило, виконується незалежною, тобто має власні первинні пристрої для вимірювання параметрів технологічних процесів, незалежні канали керуючих впливів, а часто також власні автоматичні джерела живлення.

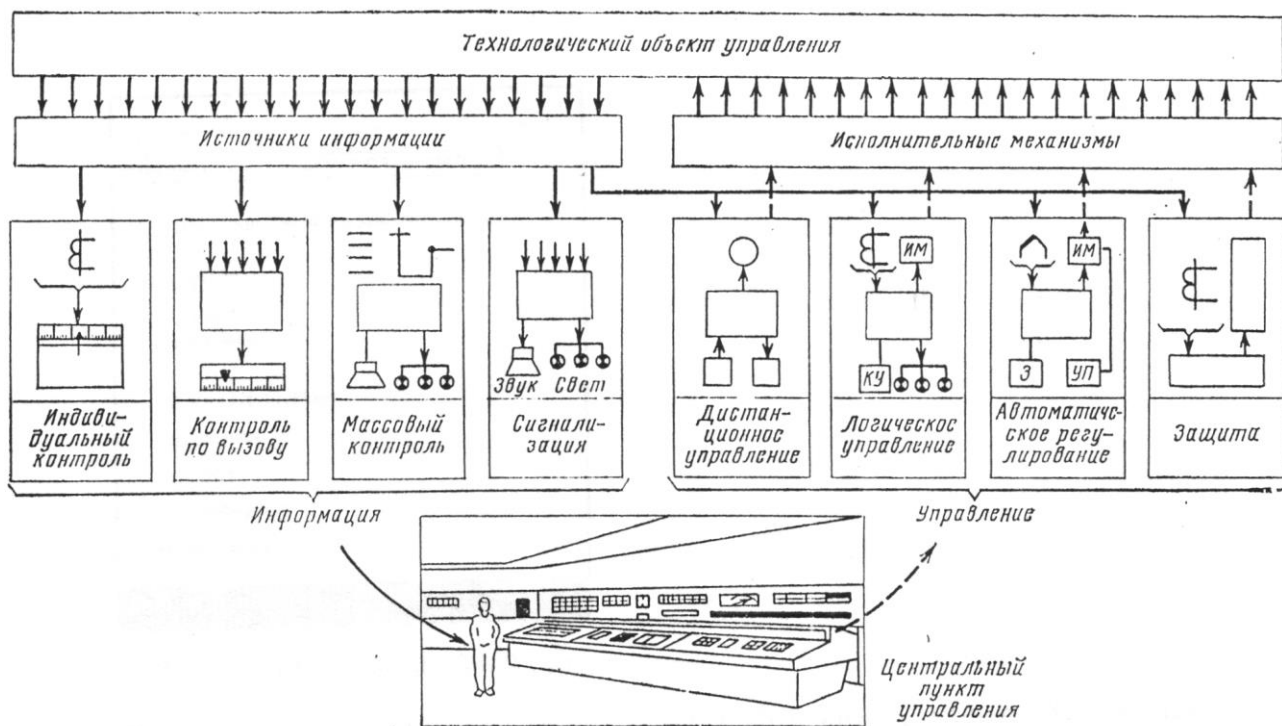


Рисунок 1.6 – АСУТП без використання обчислювального комплексу.

Призначення пристроїв сигналізації полягає в тому, щоб у момент перевищення параметром гранично допустимого значення чітко інформувати оператора про те, що трапилось. За допомогою приладів підсистеми індивідуального вимірювання-ня контролюються найбільш важливі технологічні параметри; деякі пристрої реєстрації допомагають спостерігати за тенденцією зміни (зменшенням або збільшенням) контрольованої величини і якістю роботи систем управління окремими ділянками. Крім того, за допомогою записуючих приборів можна аналізувати причини виникнення, хід і розвиток аварій і оцінювати економічність установки в протягом тривалих періодів часу.

Вимірювання за викликом необхідні для періодичного спостереження за менш відповідальними параметрами; вони виконуються оператором за допомогою одного показує приладу, до якого підведені через спеціальне комутуючий пристрій вимірювальні ланцюги від групи первинних перетворювачів (датчиків).

Масовий контроль застосовується при необхідності перевіряти поточні значення великої кількості однотипних допоміжних параметрів та малої ймовірності відхилення їх від заданого значення (наприклад, температуру підшипників, рівні рідини в буферних ємностях та ін). Для масових вимірювань застосовуються автоматичні багатоканальні вимірювальні системи, оснащені-менти об'єктами пристроями та пов'язані з підсистемою світлової сигналізації.

Використання централізованих систем вимірювання за викликом, систем масового контролю і первинних приладів з уніфікованим сигналом на виході (електричним або пневматичним), придатним для багаторазового використання ния в системах контролю і регулювання, дозволяє скоротити загальне число зміни рительних приладів, істотно зменшити габарити щитів управління і, са-моє головне,

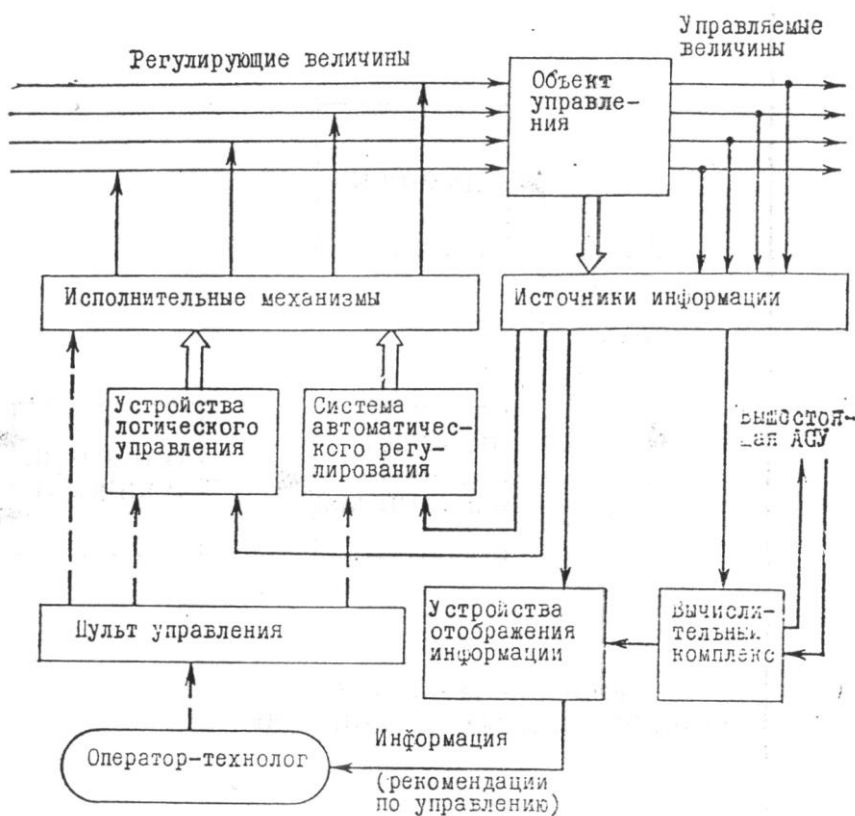
розвантажити оператора від виконання великого числа необхідних, але другорядних операцій.

Показуючі та реєструючі вимірювальні прилади, ключі та перемикачі управління, показчики положення регулюючих органів та інші технічні засоби всіх перерахованих вище підсистем розміщуються на центральних щитах і пультах управління, які встановлюються в спеціально відведених для них приміщеннях і обслуговуються оператором. При цьому частина другорядних технологічних параметрів контролюється за допомогою приладів, встановлених на так званих місцевих щитах керування, розташованих поблизу діючих агрегатів (на рис. 1.6 не показані). Безпосереднє спостереження за станом діючого обладнання та показань приладів на місцевих щитах керування, а при необхідності також ручне вплив на ряд регулюючих або запірних органів покладаються на чергових обхідних.

Описана система, хоча й не містить у своєму складі обчислювального комплексу, є людино-машинною системою, тобто найпростішим, але достатньо представницьким і поширеним видом АСУ ТП.

1.4.2. АСУ ТП з обчислювальним комплексом, що виконує інформаційні ні функції. Системи цього виду (рис. 1.7) містять усі функціональні і апаратні елементи, притаманні попередній системі, але відрізняються від неї наявністю обчислювального комплексу (ОК), який виконує функції централізованого контролю, обчислення комплексних технічних і техніко-економічних показників, а також контроль роботи та стану обладнання.

Обчислювальний комплекс отримує всю необхідну інформацію про стан об'єкта, в тому числі, про регульовані і керовані величини. Характерною особливістю даного виду системи є те, що завдання аналізу надходить інформації, прийняття рішень, а також здійснення керуючих впливів як і в системах



попереднього вигляду, покладаються на оператора.

Рис. 1.7 - АСУ ТП з обчислювальним комплексом, с вычислительным комплексом, який виконує інформаційно-обчислювальні функції.

Дані про об'єкт, отримані за допомогою ОК, крім виведення на централізовані засоби відображення інформації, можуть або передаватися у вищу АСУ для подальшої обробки безпосередньо, або

виводитися для цієї мети на зовнішні накопичувачі. Метою збору даних може бути також вивчення технологічного процесу при різних умовах. В результаті накопичується інформація, що дозволяє побудувати і (або) уточнити математичну модель процесу, яким потрібно керувати. Ясно, що збір даних не робить впливу на процес, проте навіть після впровадження найскладніших методів управління з використанням ВК збір даних для аналізу і уточнення моделі виявляється корисним і майже завжди передбачається як одне із завдань обчислювальної машини.

1.4.3. АСУ ТП з обчислювальним комплексом, що виконує керуючі функції в режимі «порадника». Структурна схема такої АСУ аналогічна приведена на рис. 1.7. Окрім функцій, які виконуються ОК в попередній системі, на нього покладають завдання аналізу надходить інформації та пошуку оптимальних рішень з видачею рекомендацій по управленню (рад) оператору-технологу. Остаточний вибір і здійснення керуючих впливів, як і раніше, залишаються за оператором. Така АСУ функціонує наступним чином. Через задані проміжки часу (в залежності від конкретних умов звичайно 1 раз на 10 - 15 хв) отримані в ОК дані про стан об'єкта і комплексні технічні та техніко-економічні показники аналізуються за допомогою математичної моделі керованого процесу. Шляхом обчислень по моделі опреділяється впливу, необхідні для наближення процесу до оптимуму; результати представляються оператору, який керує процесом, змінюючи уставки регуляторів або виконуючи інші дії у відповідності з рекомендаціями, що виробляються ОК. Регулятори в такій системі є засобами не тільки стабілізації, але і програмного зміни технологічних параметрів процесу, а оператор грає роль слідкуючого та координуючого ланки і вносить зміни по радам ОК, безперервно допомагає оператору в його зусиллях оптимізувати технологічний процес.

Число вхідних змінних параметрів в системі, що працює в режимі порадника оператора, зазвичай знаходиться в межах від 10 до 100, але ОК може, якщо це економічно доцільно, обробляти і більша кількість змінних. Число керованих змінних сигналів завдання контурам регулювання, для яких виконуються обчислення і видаються нові значення уставок, порівняно невелика, так як оператору самому доводиться змінювати ці завдання. Підлаштовувати 100 уставок кожні 10 хв в принципі можливо, але недоцільно. Якщо припустити, що оператор встигне вважати нове значення уставки, виставити його і перевірити правильність виставленого значення за час, що не перевищує 3 - 5 с, то варто врахувати, що йому доведеться робити все це за 10 разів на хвилину. Нерозумно припускати, що робота в такому темпі може безпомилково виконуватися всю робочу зміну. Таким чином, одним із серйозних недоліків розглянутого режиму управління є наявність обмежень, пов'язаних з участю в системі людини.

Однак управління цього типу має і переваги. Воно задовольняє вимогу обережного підходу до нових способів управління і тому все ще часто застосовується в АСУ ТП. Застосування ВК в режимі порадника забезпечує також хороші можливості для перевірки нових моделей процесу; як оператора при цьому може виступати інженер-технолог, який зазвичай тонко відчуває процес. Перебуваючи в контурі управління, він напевно виявить неправильну комбінацію уставок, яку може видати не остаточно вілагоджена програма ЕОМ. Крім того, ОК в такій системі може стежити за виникненням аварійних ситуацій, що дозволяє

оператору звільнитися від виконання цієї стомлюючої роботи, що займає часто більшу частину його часу. При цьому ОК легко стежить за значно більшою кількістю аварійних ситуацій, ніж оператор. Якщо припустити, що програми, що спрямовують роботу ОК, досить добре відображають закладену в них стратегію, то така ЕОМ здатна ефективно допомогти оператору в його пошуках шляху поступової пере-стройки процесу для досягнення оптимуму.

1.4.4. АСУ ТП з обчислювальним комплексом, що виконують функції центрального керуючого пристрою (супервізорное управління). Характерна особливість таких систем управління полягає в тому, що в них ОК включається в замкнений контур автоматичного управління і виробляє керуючі впливи, що надходять як сигнали завдань безпосередньо на вхід до системи автоматичного регулювання (рис. 1.8). Цей режим роботи ОК істотно відрізняється від режиму порадника, при якому всі зміни в управлінні вносить тільки оператор. Основна задача супервізорного управління - автоматичне підтримання технологічного процесу поблизу оптимальної робочої точки шляхом оперативного впливу на нього. У цьому одна з головних переваг даного виду систем.

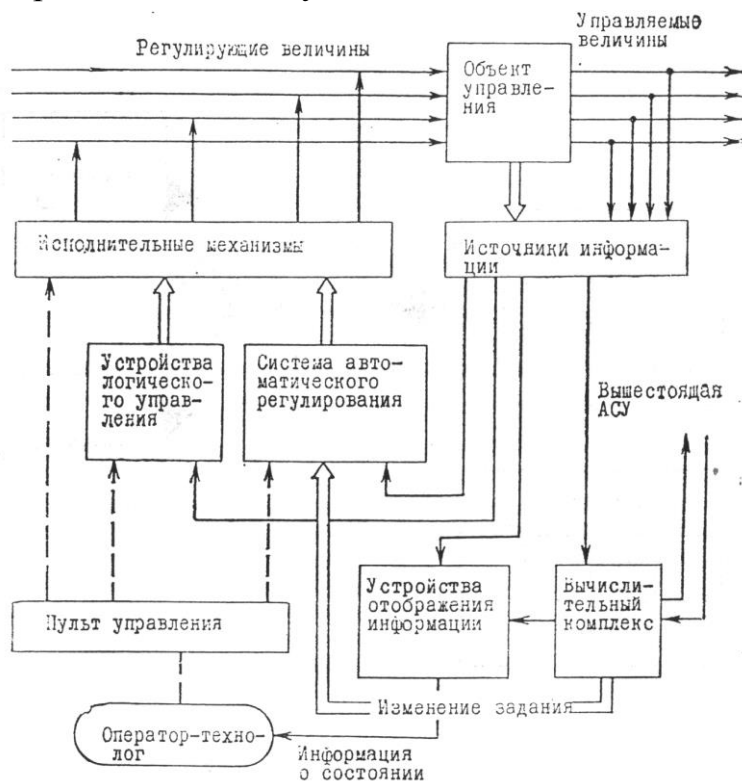


Рис. 1.8 - АСУ ТП з обчислювальним комплексом, який здійснює супервізорне управління.

Робота обчислювального комплексу по збору і переробки інформації в системі супервізорного управління мало відрізняється від описаної вище для режиму порадника оператора. Обчислення за визначенням керуючих впливів теж аналогічні. Однак після виконання розрахунків за моделлю здійснюються зовсім різні дії. Якщо в попередньому випадку знайдені нові значення уставок перетворюються в форму, зручну для сприйняття оператором, то тут

вони перетворюються у сигнали, які можна використовувати для зміни завдання і установки регуляторів. Так, наприклад, якщо регулятори відновлення приймають сигнали у формі напруги, то керуючі впливи, які вироблюються ОК, перетворюються на напругу відповідного рівня і знака.

Оскільки в таких системах контур управління замкнути через ОК, то функції оператора зводяться до загального спостереження за ходом процесу. Втручання людини вимагається лише при виникненні яких-то рідкісних, непередбачених (наприклад, аварійних) ситуацій. Залишається також необхідність вносити корективи в управління процесом при змінах, наприклад, сировини чи складу вироблюваної продукції. Це часто вимагає визначення нових значень коефіцієнтів

рівнянь, що описують технологічний об'єкт управління. Відповідні розрахунки можуть виконуватися зовнішньою обчислювальною машиною, яка ладна вирішувати задачі великої розмірності, або обчислювальним комплексом самої АСУ, якщо залишається достатня кількість машинного часу після розрахунку керуючих впливів. В останньому випадку необхідно забезпечити розподіл часу обчислювального комплексу АСУ між завданням управління процесом та додатковими обчисленнями з оптимізації процесу.

Якщо оптимізація виконується порівняно рідко (наприклад, 1 раз на добу) або при зміні якості матеріалів або складу виробляється продукції, то повинні бути введені нові коефіцієнти в рівняння контурів управління. Це здійснюється або оператором через клавіатуру, або шляхом зчитування з твердих носіїв результатів розрахунків оптимізації, виконаних зовнішній ЕОМ. В іншому АСУ здатна працювати без втручання ззовні протягом тривалого часу. При відповідному програмуванні ОК такої системи може бути використаний також для моделювання змін в процесі до їх здійснення.

Важливе гідність систем супервізорного управління полягає в тому, що в них ОК не тільки безперервно контролює процес, але й автоматично управляє їм поблизу оптимальної точки. Це, зокрема, дозволяє виключити флуктуації, пов'язані з якістю роботи різних операторів, почерк кожного з яких обов'язково позначається на регулюванні уставок.

Оскільки обчислення виконуються з величезними швидкостями, в моделі процесу можна відобразити значно більшу кількість змінних, у тому числі і таких, облік яких раніше не міг бути практично здійснено. Прикладом такої змінної є температура навколишнього повітря. Очевидно, що ця змінна дуже важлива в деяких процесах, але використовувати її в якості вхідної величини кожного регулятора недоцільно. Однак у ОК ця температура легко вводиться в якості однієї з змінних і може бути використовуватися з будь-якого призначення, у тому числі для зміни уставок кожному регулятору.

1.4.5. АСУ ТП з обчислювальним комплексом, що виконує функції безпосередственного (прямого) цифрового управління. Основна відмінність систем управління, розглянутих вище, полягає в принципах використання обчислювального комплексу. У системі, ОК якої виконує роль порадника оператора, не здійснюється пряме керування процесом від ЕОМ: завдання з управління вводяться оператором. Супервізорное управління теж ще не є прямим: уставки регуляторів задаються від ЕОМ, але команди на керуючі органи об'єкта надходять від регуляторів. У АСУТП (рис. 1.9), обчислювальний комплекс якій працює в режимі безпосереднього цифрового управління (БЦУ), сигнали, що використовуються для приведення в дію виконавчих механізмів, поступають безпосередньо від ОК і відповідні регулятори взагалі виключають із системи (або використовуються як резерв).

В принципі регулятори теж можна розглядати як малі аналогові або цифрові обчислювальні пристрої, які при відхиленні регулюємих величин від заданого значення розраховують і формують управляючий вплив на виконавчий механізм. Змінюючи параметри налаштування, а іноді і структуру, багато сучасних регуляторів можна пристосувати для рішення самих різноманітних задач управління окремими ділянками технологічного об'єкта. Однак більш складні задачі керування процесом в



цілому часто вимагають для свого рішення організації взаємозголосованого дії багатьох окремих регуляторів.

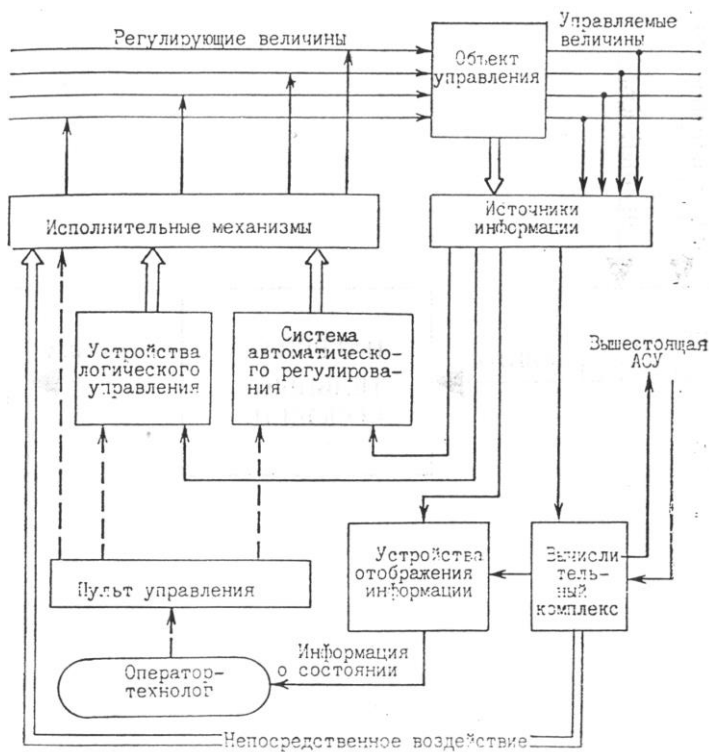


Рис. 1.9 - АСУТП з обчислювальним комплексом, який виконує функції безпосереднього цифрового управління.

Концепція БЦУ дозволяє замінити сукупність регуляторів з їх уставки на обчислювальний комплекс. Замість того, щоб розраховувати уставки, необхідні для оптимальної роботи, як при супервізорном управлінні, ОК розраховує необхідні значення керуючих впливів і передає відповідні сигнали безпосередньо на виконавчі механізми регулюючих органів. Це робиться для кожного контуру управління.

Число контурів може складати від одиниць до кількох сотень в залежності від типу процесу та потужності ОК.

Для більш глибокого розуміння принципу дії АСУТП з ОК, який працює в режимі БЦУ, розглянемо рис. 1.9, на якому показано один контур управління. Сигнал від датчика надходить у ОК, і після перетворення його в цифрову форму, зрозумілу арифметичному пристрою, обчислюється помилка (відхилення регульованої величини від її заданого значення), що використовується в алгоритмі управління даними контуром. Результати обчислень отримуються в цифровій формі і, в свою чергу, перетворюються вихідним пристроєм у сигнал, що впливає на виконавчий механізм регулюючого органу. Таким чином, контур управління контролюється і регулюється безпосередньо ОК, який звертається до контурів по черзі з частотою, що визначається характеристиками процесу. Уставки для контурів вводяться в ОК оператором або зовнішнім обчислювальним комплексом, які виконують розрахунки по оптимізації процесу.

При наявності системи БЦУ оператор повинен мати можливість змінювати уставки, контролювати деякі обрані змінні, варіювати діапазони допустимої зміни вимірюваних змінних, змінювати параметри настроювання і взагалі мати доступ до керуючої програмі. Для забезпечення всього цього необхідно мати повну і функціонально багате сполучення людини і машини (пульт оператора).

Одне з головних переваг застосування АСУТП з ОК в режимі БЦУ - у можливості зміни алгоритмів керування для контурів простим внесенням змін до збереженої програму. Однак такі зміни мають бути ретельно підготовлені, так як нова програма повинна бути повністю перевірена перед використанням її для реального управління. Хоча це досить серйозна вимога, тим не менш гнучкість

системи в принципі нічим не обмежена. Деякі впроваджені АСУ є комбінацією систем БЦУ та супервізорного управління.

Керуючі впливу, що формуються АСУ безперервними технологічними процесами в автоматичному режимі, повинні забезпечити підтримання заздалегідь заданих значень технологічних змінних або досягнення таких їхніх значень, які будуть обчислені як оптимальні. Якщо необхідні значення змінних задаються заздалегідь, то АСУТП виконує тільки функції регулювання. При побудові схем регулювання в АСУТП застосовують два принципи регулювання: за відхилення і за обуренням. Регулювання за відхиленням (рис. 1.10, а), тобто з використанням принципу зворотнього зв'язку, в супервізорному режимі, як вказувалося раніше, проводиться аналоговими регуляторами, які отримують уставки від ОК, а в режимі прямого цифрового керування - програмним шляхом. При регулюванні за обуренням модель об'єкту зберігається в ОК, і по ній обчислюється управляючий вплив, компенсує діюче на об'єкт обурення. У сучасних АСУ складними технологічними процесами найчастіше застосовують комбіноване регулювання, яке враховує відхилення та обурення (рис. 1.10, б). Застосування ОК дозволяє також зручно будувати програмним шляхом системи каскадного і многосвязного регулювання, які враховують взаємозв'язок між окремими ділянками об'єкта управління.

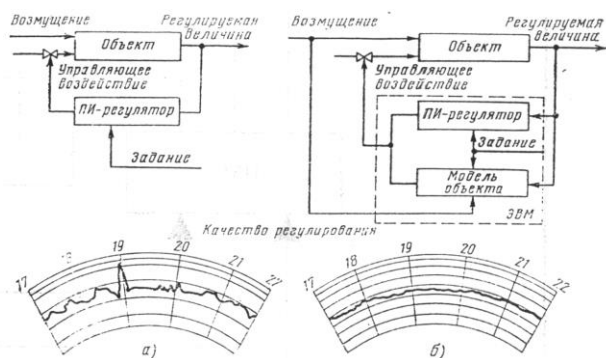


Рис. 1.10 - Приклад безпосереднього цифрового управління.

Пряме управління від ВК дозволяє реалізувати не тільки функції оптимізування, але й операції перемикання виконавчих механізмів основного та допоміжного обладнання, необхідні в режимах пуску-зупинки.

Найбільш очевидний недолік систем з БЦУ проявляється при відмові ОК. Незважаючи на те, що надійність всіх засобів системи може бути винятково високою, відмови ОК проте можливі, що в системі з БЦУ може привести до повної втрати керованості об'єкта. Тому при організації будь-якої системи БЦУ необхідно враховувати цю обставину.

1.4.6. Інші різновиди АСУ ТП. Чітких меж між розглянутими різновидами АСУ провести не можна; кожна з них має окремими ознаками, властивими іншим АСУ. На різних рівнях управління ці риси зустрічаються в різних модифікаціях або зовсім відсутні. Однак при плануванні, проведенні та узагальненні розробок АСУТП, звичайно, бажано мати чітку та обґрунтовану класифікацію АСУТП, тобто правила розподілення всієї безлічі цих систем на такі підмножини, в межах яких всі вхідні в них АСУТП близькі, схожі в тому чи іншому відношенні.

На жаль, загальноприйнятої класифікації АСУТП не існує. Тим не менше при виборі систем-аналогів на ранніх етапах розробки АСУТП доцільно враховувати наступні умовні ознаки їх розбиття:

- Рівень, займаний системою в організаційно-виробничій ієрархії;
- Характер протікання керованого технологічного процесу в часі;

- Показник умовної «інформаційної потужності» об'єкта управління;
- Ступінь функціональної розвиненості АСУ.

За рівнем, займаному в організаційно-виробничій ієрархії, розрізняють АСУТП нижнього (першого) і верхнього (другого) рівнів, а також багаторівневі системи. До систем нижнього (першого) рівня відносять АСУТП, які управляють агрегатами, установками, ділянками виробництва і не мають у своєму складі інших АСУТП. До АСУТП другого рівня відносять автоматизовані ванні системи, що керують групами установок, цехами, виробництвами, в яких окремі ділянки (агрегати, установки) оснащені своїми системами управління, в тому числі, можливо, АСУТП першого рівня, причому оперативний персонал останніх підпорядкований персоналу АСУТП друга рівня. Зауважимо, що АСУ з дворівневої організаційною структурою, що поєднують у своєму со-став АСУТП першого та другого рівнів та реалізують согласованное управ-ня як окремими технологічними установками, так і їх сукупністю (цехом, виробництвом), можна вважати інтегрованими АСУТП.

За характером протікання в часі керовані технологічні процеси можна розділити щонайменше на три групи: дискретні, безперервні і безперервно-дискретні, що різняться по відносному часу перебування їх в несталому (перехідному) і сталому станах.

Дискретний характер має, наприклад, більшість процесів в машинобудуванні та приладобудуванні. Їх характерною ознакою є велика кількість виробів і деталей (сотні і тисячі), інформація про яких формується в біль-шинству випадків вручну за допомогою документів (накладних, нарядів) або різних пристроїв ручного введення інформації, а також може вводитися від автоматичних датчиків; керуючі впливу звичайно передаються оперативно-виробничого персоналу у вигляді графіків запуску-остановки деталей, вузлів, виробів, а також у вигляді команд і розпоряджень.

До виробництв, що мають безперервний характер технологічних процесів, належать видобуток і транспортування нафти і газу, вироблення та розподілення енергії, виробництво хімічних і нафтохімічних продуктів і т.д. Для виробництв безперервного типу характерно отримання інформації про хід про процесу головним чином за допомогою автоматичних датчиків з безперервним або дискретним вихідним сигналом; управління технологічними процесами проводять шляхом впливу на різні види виконавчих механізмів (клапани, засувки і т. п.).

До процесів безперервно-дискретного типу відносять, наприклад, багато про-цесів в металургійної, електронної, цементній та інших галузях промисловості, в яких вони характеризуються наявністю циклів і поєднанням особливостей дискретного і безперервного процесів.

Умовну інформаційну потужність технологічного об'єкта управління і його АСУТП найчастіше характеризують числом технологічних змінних, вимірюваних або контрольованих даною системою. В залежності від значення цього показника всі технологічні об'єкти управління (ТОУ) та АСУТП поділяються на класи відповідно до табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Класифікація систем за кількістю технологічних змінних.

| Умовна інформаційна вага потужність АСУ ТП | Число вимірюваних або контрольованих технологічних змінних |             |
|--|--|-------------|
|  | Мінімальне   | максимальне |
| Мала                                       |  | 40          |
| Знижена                                    | 41   | 160         |
| Середня                                    | 161  | 650         |
| Підвищена                                  | 651  | 2500        |
| Велика                                     | 2501   | не обмежене |

Ступінь функціональної розвиненості АСУТП можна характеризувати двома найбільш складними функціями, що реалізуються в даній системі за допомогою засобів автоматичної переробки інформації, причому одна з цих функцій має відноситися до інформаційних, а інша - до керуючих. Наприклад, за ступенем розвиненості інформаційних функцій можна розрізнити:

- Паралельний контроль та вимірювання параметрів стану ТОУ (на приборному щиті);
- Централізований контроль та вимірювання параметрів стану ТОУ (з обеганієм або за викликом);
- Непряме вимір (обчислення) окремих комплексних показників технологічного процесу по його моделі;
- Розрахунок техніко-економічних показників функціонування ТОУ;
- Аналіз та узагальнена оцінка стану процесу в цілому по моделі (розпізнавання ситуацій, діагностика аварійних, пошук «вузького місця», прогноз ходу процесу).

За ступенем розвиненості керуючих функцій розрізняють наступні їх групи:

- Одноконтурне автоматичне регулювання;
- Каскадне і (або) програмне автоматичне регулювання;
- багатопов'язане автоматичне регулювання;
- Оптимальне управління сталими режимами (в статиці);
- Узгодження (координація) підсистем (у тому числі розподіл ресурсів);
- Оптимальне управління перехідними процесами (оптимізація в динаміці);
- Оптимальне управління з адаптацією (самонавчання і зміною алгоритмів і параметрів системи).

Природно, є ще необмежену безліч особливостей, притаманних АСУ технологічними процесами.

Ступінь важливості кожної з цих особливостей, міра її спільності і розрізнення, властива реальним АСУТП, і необхідність обліку даної особливості в процесі розробки і (або) експлуатації системи виявляються в процесі автоматизації і дослідження різних технологічних об'єктів управління.

## 1.5 Склад АСУТП. Поняття про оперативний персонал, організаційному, технічному, математичному, програмному та інформаційному забезпеченні АСУТП

Склад і будова будь-якої конкретної АСУТП вибираються так, щоб система відповідала загальним технічним вимогам, встановленим ГОСТ, і приватним вимогам, що містяться в Технічному завданні на її створення.

АСУТП повинна:

- Керувати технологічним об'єктом у відповідності з прийнятим критерієм функціонування;
- Виконувати всі покладені на неї функції у відповідності з призначенням і метою управління;
- Мати необхідними показниками і характеристиками точності, надійності і швидкодії;
- Відповідати ергономічним вимогам, що пред'являються до способів, форми представлення інформації оператору, розміщення технічних засобів і т. д.;
- Бути пристосована до взаємопов'язаного функціонування із системами керування суміжних рівнів ієрархії та іншими АСУТП, тобто мати властивості технічної та інформаційної сумісності;
- Допускати можливість подальшої модернізації та розвитку.

Крім того, до конкретної АСУТП за узгодженням розробника і замовника пред'являються й інші необхідні вимоги.

Прийнято вважати, що до складу будь-якої АСУТП входять наступні основні великі компоненти (частини системи): оперативний персонал, інформаційне, організаційне, програмне та технічне забезпечення. Відзначимо також, що розробка програмного забезпечення проводиться на основі математичного забезпечення, що до складу АСУТП не входить. Спрощена схема взаємодії цих основних компонентів системи показана на рис. 1.11.

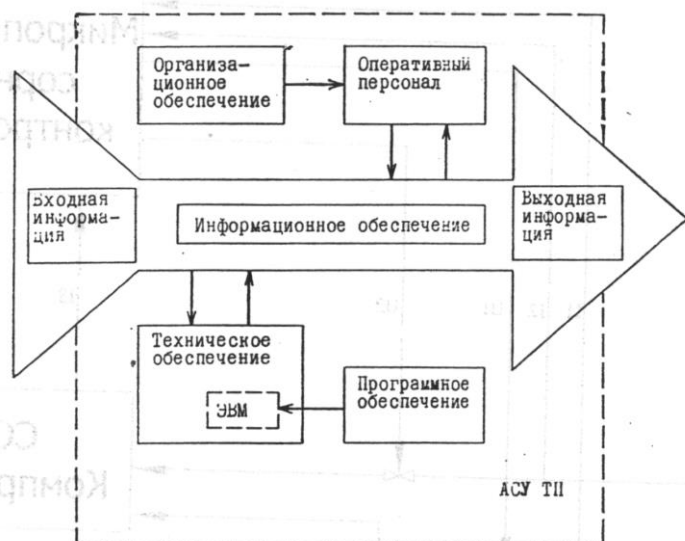


Рис. 1.11 - Спрощена схема взаємодії основних компонентів АСУТП.

Як зазначалося раніше, процес функціонування АСУТП (як і будь-якої іншої системи управління) по суті є процесом цілеспрямованого перетворення вхідної інформації у вихідну. У АСУТП це перетворення виконується спільно двома компонентами: оперативним персоналом і технічним забезпеченням (комплексом

технічних засобів); саме вони збирають вхідну інформацію від об'єкта та інших зовнішніх джерел, обробляють і аналізують її, а потім приймають рішення з

управління та реалізують їх, формуючи відповідні керуючі впливу на об'єкт і посилюючи інші сигнали, що несуть вихідну інформацію як своєрідну продукцію системи. Тому оперативний персонал та технічні засоби можна вважати головними компонентами АСУТП, повністю визначають її людино-машинний характер.

Щоб і люди і комплекс технічних засобів (КТС) могли функціонувати правильно, відповідно до прийнятих критеріїв, необхідно забезпечити їх відповідними правилами та інструкціями. Для оперативного персоналу це завдання виконують документи організаційного забезпечення АСУТП, а для основної частини КТС (цифрової ЕОМ) - програмне забезпечення, тобто сукупність її програм як машинно-популярних алгоритмів (решту КТС реалізують свої алгоритми апаратним способом, тобто самої конструкцією, і тому в додаткових інструкціях не потребують).

Між зазначеними компонентами АСУТП в процесі її функціонування існує інтенсивна взаємодія (рис. 1.11): організаційне та програмне забезпечення визначають поведінку оперативного персоналу і ЕОМ відповідно; крім того, персонал активно взаємодіє з технічним забезпеченням і при необхідності коректує програмне забезпечення. Всі ці взаємодії всередині системи, а також її взаємодію з зовнішнім середовищем носять в основному і насамперед інформаційний характер, оскільки зводяться до передачі і прийому інформації у вигляді різних сигналів, даних, повідомлень, текстів і т.д. Такий інформаційний обмін вимагає наявності певної угоди про прийняті форми і можливі значення (зміст, значенні) тих чи інших інформаційних елементів. Сукупність цих угод, тобто безліч прийнятих форм масивів даних документів, переліків та шкал сигналів, кодів та правил їх розшифровки, утворює ще один умовно виділяється основний компонент АСУТП, званий її інформаційним забезпеченням. Важлива роль цього компоненту полягає в тому, що саме через нього, а точніше - з його допомогою здійснюються всі процеси обміну інформацією як усередині АСУТП, так і з зовнішнім середовищем.

Технічне, інформаційне та програмне (а також математичне) забезпечення АСУТП докладно висвітлюються в наступних параграфах. Тут дається додаткові короткі пояснення до понять «оперативний персонал» і «організаційне забезпечення АСУТП».

Оперативний персонал АСУТП складається з технологів-операторів (диспетчерів), що здійснюють контроль та управління об'єктом, і експлуатаційного персоналу, що забезпечує правильність функціонування всіх технічних і програмних засобів системи. При сучасній ступеня автоматизації багатьох (особливо безперервних) технологічних процесів чисельність операторів (диспетчерів) буває невеликий (одна-дві людини). Однак при розробці й експлуатації АСУТП слід мати на увазі, що до складу оперативного персоналу, крім операторів (диспетчерів), входить також експлуатаційний персонал, котрий покликаний своєчасно виконувати всі роботи по обслуговуванню і оперативному відновленню даної системи (ремонтний персонал до складу оперативного включати не прийнято).

Склад оперативного персоналу конкретної АСУТП та встановлена взаємодія між його працівниками визначають організаційну структуру системи. Елементами такої структури є окремі посадові особи - виробничі або адміністративні працівники, які здійснюють в тій чи іншій мірі управління даними технологічним об'єктом, або їх

групи, сформовані за будь-якою змістовною ознакою. Основні зв'язки між елементами організаційної структури відповідають відносинам оперативної соподчиненості зазначених працівників, істотним для процесу управління. При необхідності на схемі організаційної структури відображають також територіальне розміщення оперативного персоналу АСУТП та його взаємодія з персоналом інших систем і (або) рівнів управління.

Організаційне забезпечення АСУТП являє собою сукупність документів, що встановлюють порядок та правила функціонування оперативного персоналу даної системи. Сюди входять технологічні інструкції та регламенти, що визначають ведення процесу, інструкція з експлуатації системи, опису її функціональної, організаційної та технічної структур, а при необхідності інші документи аналогічного змісту. Роль організаційного забезпечення в сучасних АСУТП часто недооцінюється, між тим вона дуже важлива: по суті організаційне забезпечення регламентує всю діяльність людини в системі, від найпростіших операцій з її поточним обслуговуванням до самих складних і відповідальних дій, наприклад, по оптимізації процесу або з виявлення та ліквідації предаварійних станів. Тому необхідно, щоб в організаційному забезпеченні чіткі, суворі правила та передписання, що підлягають неухильному виконанню, поєднувалися з положеннями, які не тільки залишають певний ступінь свободи в діяльності людини, але навіть стимулюють його творчі можливості для подальшого удосконалення процесу управління. З цією метою при розробці ряду документів організаційного забезпечення слід враховувати прийнятий на даному підприємстві порядок змагання, преміювання та економічного стимулювання. Інші загальні вимоги до організаційного забезпечення АСУТП досить прості:

- організаційне забезпечення повинно містити сукупність правил і приписів, що регламентують взаємодію оперативного персоналу з комплексу технічних засобів і між собою під час роботи системи;
- у документах організаційного забезпечення повинні бути приведені всі необхідні відомості про порядок експлуатації системи, у тому числі про заходи з підтримання її точності і надійності;
- інструкції з експлуатації АСУТП повинні містити вказівки про дії оперативного персоналу в нормальних, предаварійних та аварійних ситуаціях.

1.5.1. Технічне забезпечення АСУТП. Як зазначалося раніше, під технічним забезпеченням АСУТП прийнято розуміти комплекс технічних засобів, призначених для функціонування АСУТП. За своїми можливостями КТЗ конкретної АСУТП повинен бути достатнім для виконання всіх покладених на нього функцій системи. До його складу зазвичай входять засоби отримання, перетворення, передачі та відображення інформації, керуючі, обчислювальні й виконавчі пристрої. Таким чином, технічне забезпечення АСУТП включає в себе повний набір засобів автоматизації та обчислювальної техніки, що використовуються в системі. До складу технічного забезпечення АСУТП повинні також входити прилади та пристрої, необхідні для налагодження та перевірки роботи тоспроможність комплексу технічних засобів АСУТП, і запасні прилади. Технічні характеристики використовуваних засобів АСУТП повинні допускати взаємозмінність одноіменних

технічних засобів, бути вибрані з урахуванням можливості дій навколишнього середовища і забезпечувати безпечну експлуатацію системи.

Технічні засоби, найбільш характерні для АСУТП, і їх територіальне розміщення наведені як приклад на рис. 1.12.

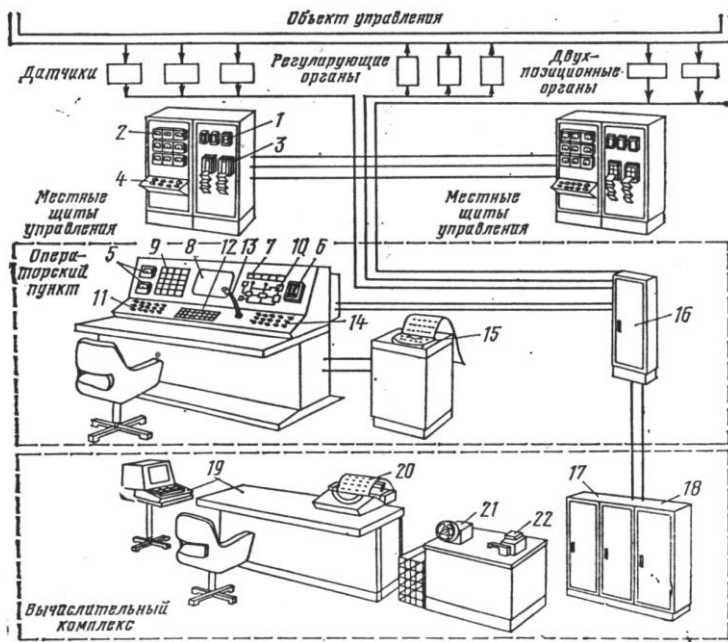


Рис. 1.12 - Приклад технічного забезпечення АСУТП.

Безпосередньо на об'єкті управління встановлюються:

- Первинні вимірювальні перетворювачі (датчики), сприймають значення параметрів процесу (тиск, витрата газів або рідин, температуру, електричну потужність, рівень рідини і т. д.);
- Сигнальні двопозиційні пристрої, що дають інформацію про вмикання або вимкання того чи іншого обладнання;

- Виконавчі двопозиційні або регулюючі органи, які здійснюють керуючі впливи шляхом відкриття вентилів і заслінок, зміну частоти обертання двигунів, режиму роботи насосів і т. п.

У безпосередній близькості від технологічних об'єктів встановлюються місцеві щити управління, на яких монтуються регулятори 1, вторинні вимірювальні прилади показують 2 і самописці 3, а також інші пристрої та вузли локальної автоматики 4. Іноді місцеві щити не є постійним робочим місцем персоналу, ними користуються обхідник, змінні мастера у міру потреби. Оператор, який веде технологічний процес всього об'єкта управління, постійно знаходиться в центральному пункті управління, який обладнаний щитами, пультами, а також принтером 15 для реєстрації параметрів за викликом оператора і кросовою шафою 16.

Запитання для самоперевірки



## Розділ 2. Короткі основи теорії автоматичного керування

### 2.1 Різновиди математичних моделей САУ. Математичний опис лінійних систем

2.1.1. Статичні характеристики лінійних САУ. Всі автоматичні системи регулювання і елементи, з яких вони складаються, є динамічними системами та елементами, тобто характеризуються протіканням процесів у часі і всі вхідні і вихідні величини в них - суть функції часу:  $X_{вх} = X_{вх}(\tau)$  и  $X_{вих} = X_{вих}(\tau)$ . Разом з тим системи автоматичного регулювання можуть перебувати в сталому стані, найбільш поширеним випадком якого є положення рівноваги (спокою), коли вхідні і вихідні величини не змінюються. У цьому положенні (в статиці) вихідні та вхідні величини не залежать від часу і співвідношення між ними описується алгебраїчеськіми рівняннями (рівняння статики)

$$X_{вих} = f(X_{вх}) \quad (2.1)$$

Графічне зображення залежності (2.1) називається статичною характеристикою (рис. 2.1). Для лінійних елементів і систем статична характеристика представляє пряму лінію (рис. 2.1, а), що описується рівнянням

$$X_{вих} = X_{вих}^0 + k \cdot X_{вх} \quad (2.2)$$

де  $k = \operatorname{tg}\alpha$ .

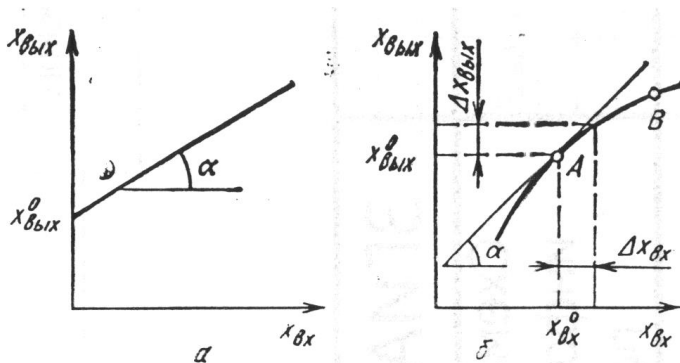


Рис. 2.1 – Статичні характеристики: а - лінійна; б - нелінійна.

Строго лінійних елементів і систем практично не зустрічається і в більшості випадків статичні характеристики мають нелінійний вигляд (рис. 2.1, б). Для приведення нелінійної системи до лінійної статичної характеристики такого типу прийнято надавати лінеаризації. Один з методів лінеаризації, називається методом малих відхилень, полягає в проведенні дотичної до статичної характеристики в точці А і заміні криволінійних залежностей цієї дотичної, рівняння якої

$$\Delta X_{вих} = k_A \cdot \Delta X_{вх} \quad (2.3)$$

де  $k_A = \operatorname{tg}\alpha$  - коефіцієнт пропорційності ( $\alpha$  - кут нахилу касательної в точці А до осі абсцис).

Особливістю такої лінеаризації є отримання лінеаризованої залежності у відхиленнях (не в абсолютних величинах)  $\Delta X_{вх} = X_{вх} - X_{вх}^0$  и  $\Delta X_{вих} = X_{вих} - X_{вих}^0$ , где  $X_{вх}^0$  и  $X_{вих}^0$  - значення вхідної та вихідної величин у точці лінеаризації А.

З рис. 2.1, б видно що заміна криволінійних залежностей прямолінійною тим точніше, чим менше відхилення  $\Delta X_{вих}$  і  $\Delta X_{вх}$  і що в разі роботи системи в

околицях точки В в рівняння (2.3) повинен бути інший коефіцієнт пропорційності рівний тангенс кута нахилу дотичній в точці В.

2.1.2. Диференціальні рівняння. Поведінка елементів і систем у часі переходу з одного стану рівноваги в інший (в перехідному режимі) описується диференціальними рівняннями (рівняннями динаміки). У лінійних систем рівняння динаміки - лінійні диференціальні рівняння, тобто такі рівняння, в яких вхідна та вихідна величини та їх похідні - у першого ступеня.

У теорії автоматичного регулювання прийнято вихідну величину та її похідні розташовувати в лівій частині рівняння, а вхідну величину та її похідні - в правій частині. Для елемента (системи) з однією вхідною і однією вихідною величинами лінійне диференціальне рівняння з постійними коефіцієнтами має вигляд:

$$a_n \frac{d^n x_{\text{вих}}(\tau)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x_{\text{вих}}(\tau)}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 x_{\text{вих}}(\tau) = b_m \frac{d^m x_{\text{вх}}(\tau)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x_{\text{вх}}(\tau)}{dt^{m-1}} + \dots + b_0 x_{\text{вх}}(\tau) \quad (2.4)$$

У скороченій формі запису, коли k-та похідна за часом позначається  $X^{(k)}$ , перша та друга похідні -  $\dot{X}$  і  $\ddot{X}$  і для спрощення опускається вказівка функціональної залежності вихідної та вхідної величин від часу ( $\tau$ ), рівняння (2.4) має вигляд:

$$a_n X_{\text{вих}}^{(n)} + a_{n-1} X_{\text{вих}}^{(n-1)} + a_2 \ddot{X}_{\text{вих}} + a_1 \dot{X}_{\text{вих}} + a_0 X_{\text{вих}} = b_m X_{\text{вх}}^{(m)} + b_{m-1} X_{\text{вх}}^{(m-1)} + b_2 \ddot{X}_{\text{вх}} + b_1 \dot{X}_{\text{вх}} + b_0 X_{\text{вх}} \quad (2.4.a)$$

Тут  $a_n \div a_{n-1}$  і  $b_m \div b_{m-1}$  - постійні коефіцієнти; n - порядок диференціального рівняння (зазвичай  $m < n$ ).

В рівняннях (2.4) і (2.4.a)  $X_{\text{вх}}$  і  $X_{\text{вих}}$  можуть біти виражені:

а) в абсолютних величинах;

б) у відхиленнях  $\Delta X_{\text{вх}} = X_{\text{вх}} - X_{\text{вх}}^0$  і  $\Delta X_{\text{вих}} = X_{\text{вих}} - X_{\text{вих}}^0$  (в лінеаризованих рівняннях);

в) у відносних величинах  $\hat{X}_{\text{вх}} = X_{\text{вх}} / X_{\text{вх}}^0$  і  $\hat{X}_{\text{вих}} = X_{\text{вих}} / X_{\text{вих}}^0$

г) у відносних значеннях відхилень  $\Delta \hat{X}_{\text{вх}} = \Delta X_{\text{вх}} / X_{\text{вх}}^0$  і  $\Delta \hat{X}_{\text{вих}} = \Delta X_{\text{вих}} / X_{\text{вих}}^0$ .

Форма запису вхідний і вихідний величин залежить від відсутності або наліччя лінеарізації та інших міркувань, що визначають зручність і правильність застосування рівнянь. Слід надалі пам'ятати, що  $X_{\text{вх}}$  і  $X_{\text{вих}}$  є функціями часу.

З рівняння динаміки легко може бути отримано рівняння статички, якщо взяти всі похідні вхідний і вихідний величин рівними нулю (в положення нии рівноваги вхідна та вихідна величини не змінюються):

$$a_0 X_{\text{вих}} = b_0 X_{\text{вх}} \quad (2.5)$$

Прикладом диференціального рівняння елемента САР може служити рівняння кристалізатора МНЛЗ, який розглядається як об'єкт автоматичного регулювання (рис. 2.2,а) при постійній швидкості витягування злитку  $G_{\text{ст}}$

$$\frac{dH}{d\tau} = \frac{1}{\rho F} \Delta G_{np} \quad (2.6)$$

де  $H$  – рівень метала у кристаллизаторі;  $\Delta G_{np}$  – зміна витрати метала, який розливається з проміжного ковша;  $\rho$  - щільність металу;  $F$  – площа поперечного перетину кристаллизатора.

Якщо обозначити  $H=X_{вих}$ ,  $\Delta G_{np} = X_{вх}$  и  $\frac{1}{\rho F} = k_1$  то рівняння (2.6) перепишеться у загальному вигляді  $X_{вих} = k_1 X_{вх}$  (2.7)

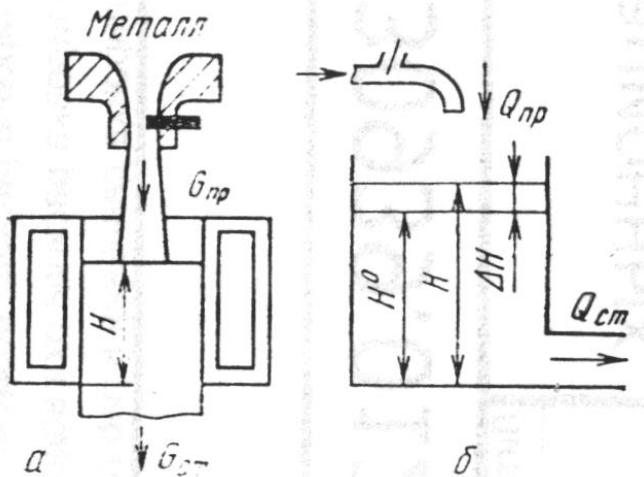


Рис. 2.2 – Схеми об’єктів регулювання: а - кристаллизатор МНЛЗ; б – ємність з вільним стоком рідини.

Другим прикладом може бути рівняння гідравлічної ємності (рис. 2.2,б) з вільним стоком рідини

$$\frac{2F\sqrt{H^0}}{b} \cdot \frac{d(\Delta H)}{d\tau} + \Delta H = \frac{2\sqrt{H^0}}{b} \Delta Q^0 \quad (2.8)$$

де  $\Delta H$  – відхилення рівня рідини від начального значення  $H^0$ ;  $\Delta Q^0 = Q_{np}^0 - Q_{ст}^0$  - різниця приходу та стоку рідини у початковий момент часу;  $F$  - площа поперечного перетину ємності;  $b$  – коефіцієнт, який характеризує умови витікання рідини з отвору.

Якщо в рівнянні (2.8) обозначити  $\Delta H = X_{вих}$ ,  $\Delta Q^0 = X_{вх}$ ,  $\frac{2F\sqrt{H^0}}{b} = T$  і  $\frac{2\sqrt{H^0}}{b} = k$ , то получимо рівняння в загальному вигляді:

$$T \dot{X}_{вих} + X_{вих} = k \cdot X_{вх} \quad (2.9)$$

При виведенні рівняння (2.8) використалася лінеаризація нелінійної залежності  $Q_{ст} = b \cdot \sqrt{H}$  і тому вихідна величина – рівень рідини виражений у відхиленнях  $\Delta H = H - H^0$ .

Слід відмітити, що теоретично диференціальні рівняння можна получить тільки для відносно простих елементів САР.

2.1.3. Рішення диференціальних рівнянь. Якщо на вхід САР надійшов підбурюючий вплив  $X_{вх}(\tau)$ , то система почне працювати і переходити з одного стану рівноваги до іншого. Зміна вихідної величини під час цього переходу  $X_{вих}(\tau)$

називається перехідним процесом. Перехідний процес може бути отриманий як рішення диференціального рівняння при відомому  $X_{вх}(\tau)$  і заданих початкових умовах. Під початковими умовами розуміється значення вихідної величини та всіх її похідних до  $(n-1)$ -ої в нульовий момент часу  $X_{вих}(0)$ ,  $\dot{X}_{вих}(0)$ ,  $\ddot{X}_{вих}(0) \dots X_{вих}^{(n-1)}(0)$ . При дослідженні САР найбільш розповсюджені початкові умови, коли вихідна величина та всі її похідні, включаючи  $(n-1)$ -у, дорівнюють нулю:  $X_{вих}(0) = 0$ ,  $\dot{X}_{вих}(0) = 0$ ,  $\ddot{X}_{вих}(0) = 0 \dots X_{вих}^{(n-1)}(0) = 0$ .

Методи рішення диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами відомі з курсу вищої математики. Так рішення рівняння (2.4) знаходиться як сума двох складових – вільної та примусової:

$$X_{вих}(\tau) = X_{вих}^{св}(\tau) + X_{вих}^{пр}(\tau). \quad (2.10)$$

Вільна складова  $X_{вих}^{св}(\tau)$  є загальним рішенням однорідного диференціального рівняння  $a_n X_{вих}^{(n)} + a_{n-1} X_{вих}^{(n-1)} + a_2 \ddot{X}_{вих} + a_1 \dot{X}_{вих} + a_0 X_{вих} = 0$ . (2.11)

Та визначається

$$X_{вих}^{св} = \sum_{k=1}^n C_k e^{p_k t}, \quad (2.12)$$

де  $C_k$  – постійна інтегрування;  $p_k$  – речовинні корені характеристичного рівняння

$$a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0 = 0. \quad (2.13)$$

Кожна пара комплексних коренів  $\alpha_k \pm i$  характеристичного рівняння (2.13) дає в рішенні (2.11) вкладову виду

$$e^{\alpha_k \tau} \cdot (C_k \cos \omega_k \tau + D_k \sin \omega_k \tau). \quad (2.14)$$

Значення постійних інтегрування визначається з початкових умов.

**2.1.4. Передавальна функція.** Якщо обозначити  $d/dt$  через  $p$ , то рівняння (2.4) можна записати в символічному так званому операторному вигляді

$$\begin{aligned} a_n p^n x_{вих}(p) + a_{n-1} p^{n-1} x_{вих}(p) + \dots + a_2 p^2 x_{вих}(p) + a_1 p^1 x_{вих}(p) + a_0 x_{вих}(p) = \\ = b_m p^m x_{вх}(p) + b_{m-1} p^{m-1} x_{вх}(p) + \dots + b_2 p^2 x_{вх}(p) + b_1 p^1 x_{вх}(p) + b_0 x_{вх}(p) \end{aligned} \quad (2.15)$$

або

$$x_{вих}(p) [a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0] = x_{вх}(p) [b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_0] \quad (2.15a)$$

де  $p$  — деяке комплексне число, оператор.

Відношення полінома  $B(p)$ , який характеризує вхідну величину, до полінома  $A(p)$ , який характеризує вихідну величину, є передавальною функцією

$$W(p) = \frac{B(p)}{A(p)};$$

$$W(p) = \frac{x_{вих}(p)}{x_{вх}(p)} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0}$$

У знаменнику передаточної функції завжди стоїть ліва частина характеристичного рівняння - характеристичній поліну.

Строго кажучи, передавальна функція виходить з диференціального рівняння після здійснення над ним прямого перетворення Лапласа (одна з операцій розділу вищої математики «Операційне числення») при нульових початкових умовах. При цьому вхідна та вихідна величини перетворюються у функції  $p$ :  $X_{вх}(p)$  і  $X_{вих}(p)$ , які називаються зображеннями вхідної і вихідної величини. Передавальною функцією  $W(p)$  називається відношення зображення вихідної величини до зображення вхідної величини при нульових початкових умовах:

Передавальна функція так само, як і диференціальне рівняння, повністю характеризує динаміку елемента і системи автоматичного регулювання, але оскільки вона не містить похідних, а є алгебраїчним виразом, то істотно спрощує операції з отримання динамічних характеристик складних систем, складаються з різноманітних елементів.

Приклад. Отримати передавальну функцію системи, яка описується диференціальним рівнянням  $5\ddot{X}_{вих} + 2\dot{X}_{вих} + X_{вих} = 4\dot{X}_{вх} + 2X_{вх}$

Записуємо рівняння в операторному вигляді:  $(5p^3 + 2p^2 + 1)X_{вих} = (4p - 2)X_{вх}$ . Поліном, який характеризує вихідну величину,  $A(p) = 5p^3 + 2p^2 + 1$ , поліном, який характеризує вхідну величину  $B(p) = 4p + 2$ , звідки

$$W(p) = \frac{4p + 2}{5p^3 + 2p^2 + 1}$$

2.1.5. Перехідна функція. При порівнянні динамічних властивостей елементів і систем зручно розглядати їх реакції на деякі типові вхідні впливи. Одним з таких типових впливів є одинична ступінчаста функція  $1(\tau)$  (рис. 2.3):

$$1(\tau) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \tau \leq 0 \\ 1, & \text{якщо } \tau > 0 \end{cases}$$

Перехідний процес в елементі або системі після надходження одиничного ступінчастого впливу  $X_{вх}(\tau) = 1(\tau)$  називається перехідною функцією та позначається  $h(\tau)$ .

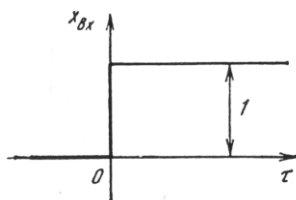


Рис. 2.3 – Одинична ступінчаста функція

Перехідна функція  $h(\tau)$  є рішенням диференціального рівняння при нульових початкових умовах та  $X_{вх} = 1$ , а також може бути знайдена за формулою Хевісайда з використанням передавальної функції

$$h(\tau) = W(0) + \sum_{k=1}^n \frac{B(p_k)}{p_k A'(p_k)} e^{p_k \tau} \quad (2.18)$$

де  $p_k$  – корені характеристичного полінома  $A(p)$ , який стоїть у знаменнику передавальної функції (корені характеристичного рівняння);  $B(p_k)$  – значення чисельника передавальної функції при  $p = p_k$ ;  $A'(p_k)$  – значення похідної знаменника

передавальної функції при  $p = p_k$ ;  $W(0)$  – значення передавальної функції при  $p=0$ ;  $n$  – порядок диференціального рівняння.

Приклад. Знайти перехідну функцію, якщо диференціальне рівняння елемента

$$5\ddot{X}_{\text{вих}} + 6\dot{X}_{\text{вих}} + X_{\text{вих}} = 5X_{\text{вх}}$$

Запишемо рівняння в операторній формі (2.15а):

$$(5p^2 + 6p + 1)X_{\text{вих}} = 10X_{\text{вх}}$$

$$\text{Поліном } A(p) = (5p^2 + 6p + 1)$$

$$\text{Поліном } B(p) = 10 \text{ та передавальна функція } W(p) = \frac{10}{5p^2 + 6p + 1}.$$

Характеристичне рівняння (знаменник передавальної функції):  $5p^2 + 6p + 1$  і його корені  $p_1 = -0,2$ ;  $p_2 = -1$ .

Похідна знаменника передавальної функції  $A(p) = 10p + 6$ , та її значення при  $p_1 = -0,2$   $A(p_1) = 4$  і при  $p_2 = -1$   $A(p_2) = -4$ . значення передавальної функції при  $p = 0$   $W(0) = 10$ .

По формулі (11.18) маємо

$$h(\tau) = 10 + \frac{10}{(-0,2)4} e^{-0,2\tau} + \frac{10}{(-1)(-4)} e^{-\tau} = 10 - 12,5e^{-0,2\tau} + 2,5e^{-\tau}.$$

## 2.2 Типові динамічні ланки

При аналізі та синтезі САР зручно представляти їх складаються з простих елементів, які називаються типовими динамічними ланками. Динамічні ланки підрозділяються тільки за динамічним властивостям (виду диференціального рівняння), які можуть бути однакові при різній фізичній сутності процесу в ланці, тобто одним і тим же типом динамічного ланки охоплюються елементи, в яких протікають різні фізичні процеси (електричні, теплові, гідравлічні та ін.) Типове ланка не обов'язково представляє собою окремих конструкційний елемент системи, а може бути частиною такого елементів. Тоді елемент системи (об'єкт регулювання, регулятор, чутливий елемент тощо) буде представлятися певним з'єднанням типових ланок. Типові ланки мають такі загальні властивості:

- 1) одну вхідну і одну вихідну величини;
- 2) диференціальні рівняння не вище 2-го порядку;
- 3) пропускають сигнал тільки в одному напрямку (властивість детектуємості).

Всі типові ланки підрозділяються на статичні, астатическіе (інтегруючіе), диференціюються і ланка чистого запізнювання.

2.2.1. Статичні ланки. До статичним відносяться такі ланки, які при ступінчастою вхідному впливі переходять з початкового положення рівноваги в нове.

Пропорційна ланка. Цю ланку називають підсилювальною і безінерційною. Ланка описується: алгебраїчні рівнянням:

$$x_{\text{вих}} = k \cdot x_{\text{вх}}$$

$W(p) = k$  - передавальна функція ланки, (2.19, 2.20)

$$x_{\text{вих}}(p) = k \cdot x_{\text{вх}}(p)$$

де  $k$  – коефіцієнт передавання посилювальної ланки

Перехідна функція  $h(\tau) = k \cdot 1(\tau)$  є ступінчатою функцією висотою  $k$  (рис. 2.4,а).

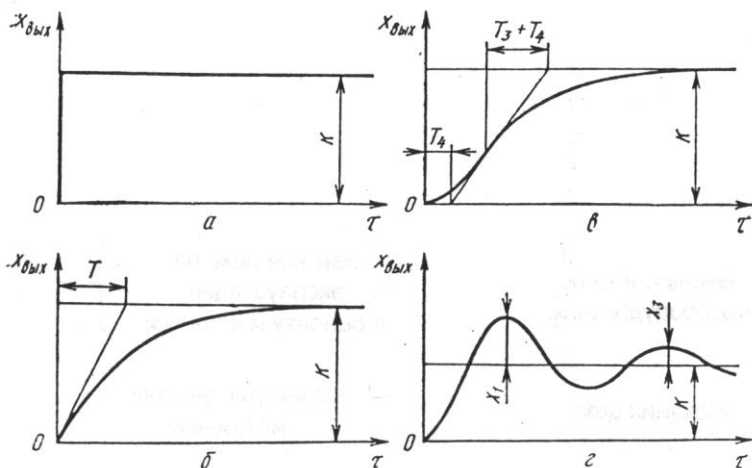


Рис. 2.4 – Перехідні функції позиційних ланок: а – пропорційної; б – аперіодичної 1-го порядку; в - аперіодичної 2-го порядку; г - коливальної.

Прикладами пропорційної ланки можуть служити: важіль (рис. 2.5, а), якщо вхідна величина - переміщення (зусилля) на одному кінці важеля, а вихідна величина -

переміщення (зусилля) на другому кінці; зубчата передача (редуктор), якщо  $X_{\text{вх}} = \varphi_{\text{вх}}$  - кут повороту малої шестірні, а  $X_{\text{вих}} = \varphi_{\text{вих}}$  - те ж, великої шестерні (рис. 2.5, б); тепловіддача конвекцією від рухомого газу до стіни, якщо  $X_{\text{вх}}$  - різниця температур газу і стінки  $\Delta t = t_{\text{г}} - t_{\text{ст}}$ , а,  $X_{\text{вих}}$  - кількість тепла, що віддається,  $Q$  (рис. 2.5, в); потенціометричний датчик вимірювального приладу, якщо  $X_{\text{вх}}$  - переміщення движка  $l$ , а  $X_{\text{вих}}$  - напруга  $U_{\text{вих}}$  (рис 2.5, г)

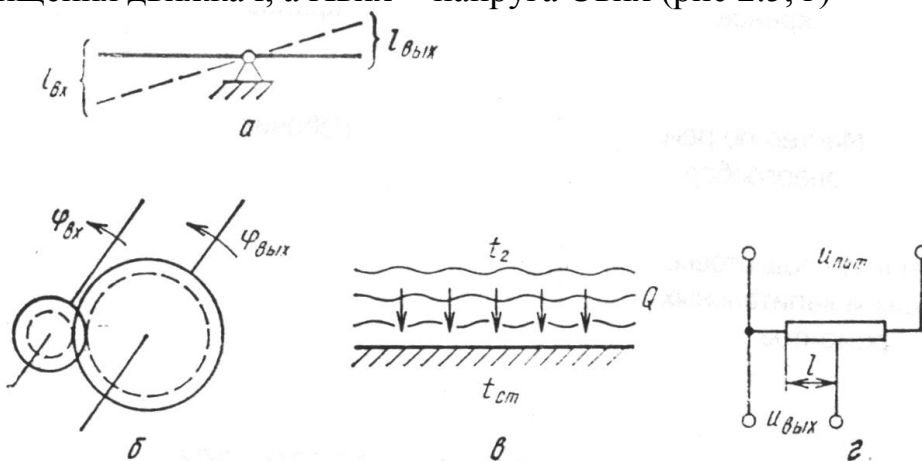


Рис. 2.5 – Приклади пропорційних ланок

Зазвичай пропорційна (безинерційна) ланка є певною ідеалізацією реальних ланок і до нього зводяться позиційні ланки, які розглянуті нижче, якщо можна

знехтувати перехідними процесами в них. У цих умовах, наприклад, більшість датчиків різних фізичних величин відноситься до пропорційної ланки.

Аперіодична (інерційна) ланка першого порядку описується диференціальним рівнянням

$$T \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}} \quad (2.21)$$

де  $k$  — коефіцієнт передачі;  $T$  — постійна часу, с.

$$\text{Передавальна функція ланки } W(p) = \frac{k}{T \cdot p + 1} \quad (2.22)$$

$$\text{Перехідна функція ланки } h(\tau) = k(1 - e^{-\frac{\tau}{T}}) \quad (2.23)$$

Перехідна функція  $h(\tau)$  являє собою експоненту (мал. 2.4, б). Відрізок, який відтинає дотична, проведена в початковій точці, при сталому значенні вихідної величини дорівнює постійній часу  $T$ . Постійна часу — це час, за який вихідна величина досягла б свого сталого значення, якщо б змінювалася з постійною початковою швидкістю. Чим більше  $T$ , тим тривалий перехідний процес. Строго кажучи, встановилось значення  $X_{\text{вих}} = k$  досягається при  $\tau \rightarrow \infty$ , але практично перехідний процес вважається закінчиться через час  $\sim 3T$

Постійна часу характеризує «інерційність» аперіодичної ланки. Якщо вона мала, то аперіодична ланка по суті стає безінерційною.

Прикладами аперіодических ланок можуть служити: електропривод постійного струму, якщо вхідна величина подводимое  $X_{\text{вх}} = U_{\text{вх}}$ , а вихідна величина  $X_{\text{вих}} = \omega$  — швидкість обертання (рис. 2.6, а); проміжний ківш МБЛЗ, якщо  $X_{\text{вх}} = G_{\text{пр}} - G_{\text{ст}}$  — різниця надходження і витрати рідкого металу, а  $X_{\text{вих}} = H$  — рівень металу (мал. 2.6, б); нагрів тіла, міститься у середу з температурою  $t_c$  (тепловіддача оцінюється за  $(t_c - t_m)$ , де  $q$  — щільність теплового потоку на законі Ньютона  $q = -\alpha(t_c - t_m)$ , якщо  $t_c$  — вхідна величина, а нагрівається тіло; середня температура тіла  $t_m$  — вихідна величина (рис. 2.6, в); ланцюжок RC (рис. 2.6, г).

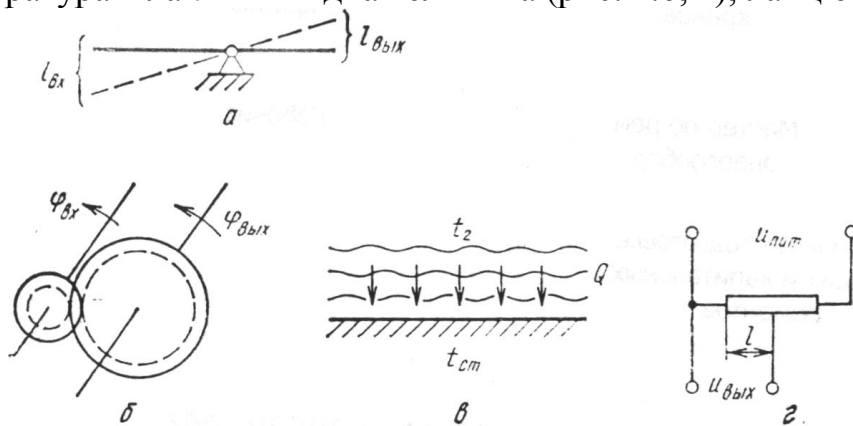


Рис 2.6 – Приклади аперіодичних ланок першого порядку.

Аперіодична (інерційна) ланка другого порядку описується рівнянням



$$T_2^2 \frac{d^2 x_{\text{вых}}}{dt^2} + T_1 \frac{dx_{\text{вых}}}{dt} + x_{\text{вых}} = kx_{\text{вх}} \quad (2.24)$$

Для цієї ланки корені характеристичного рівняння  $T_2 p^2 + T_1 p + 1 = 0$  повинні бути дійсними, що виконується при  $T_1 > 2T_2$ .

Передавальна функція ланки

$$W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} \quad (2.25)$$

Знаменник передавальної функції може бути розкладений на складові і тоді передавальна функція буде мати вигляд

$$W(p) = \frac{k}{(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)} \quad (2.26)$$

Перехідна функція (рис. 2.4,в) може бути отримана за формулою Хевисайда (2.18)

$$h(\tau) = k \left( 1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} e^{-\tau/T_3} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} e^{-\tau/T_4} \right) \quad (2.27)$$

Приклади аперіодического ланки другого порядку: послідовне з'єднання двох пневматичних ємностей, якщо вхідна величина  $X_{\text{вх}} = P_{\text{віт}}$ , а вихідна величина - тиск у другій ємності  $X_{\text{вих}} = p$  (мал. 2.7, а); ланцюжок RC (мал. 2.7, б).

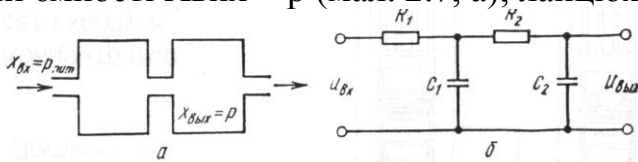


Рис. 2.7 Приклади аперіодичних ланок другого порядку

**Коливальна ланка.** Диференційне рівняння ланки зазвичай представляється у вигляді  $T^2 \ddot{X}_{\text{вих}} + 2T\xi \dot{X}_{\text{вих}} + X_{\text{вих}} = kX_{\text{вх}}$  (2.28)

где  $\xi$  - коефіцієнт затухання,  $0 < \xi < 1$ .

Корені хараткрстичного рівняння  $T^2 p^2 + 2T\xi p + 1 = 0$  дорівнюютья  $p_{1,2} = -\alpha \pm i\omega = (-\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1})/T$  і у коливальної ланки повинні бути комплексними. Комплексні корені отримуються при  $\xi < 1$ .

Передавальна функція ланки

$$W = \frac{k}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1} \quad (2.29)$$

Перехідна функція ланки

$$h(t) = k \left[ 1 - e^{-\alpha t} \left( \cos \omega t + \frac{\alpha}{\omega} \sin \omega t \right) \right] \quad (2.30)$$

де  $\alpha = \xi/T$ , а  $\omega = \sqrt{1 - \xi^2} / T$  носить згасаючий коливальний характер близько значення  $X_{вих}(\infty) = k$ . Її затухання визначається дійсною частиною коренів, а частота - уявної частиною  $\omega$ . Існує характеристика перехідного процесу, що називається ступенем коливальності  $m = \alpha/\omega$ , яка для коливальної ланки знаходиться в межах  $0 < m < \infty$ . Коливальність перехідного процесу може також характеризуватися ступенем загасання

$$\psi = (X_1 - X_3) / X_1 \quad (2.31)$$

де  $X_1$  і  $X_3$  - величини першої та третьої амплітуд вихідних коливань (см. рис. 2.4, г).

Значення ступеня затухання пов'язано з дійсною та мнімою частинами коренів характеристичного рівняння коливальної ланки

$$\psi = 1 - e^{-2\pi\alpha/\omega} = 1 - e^{-2\pi m} \quad (2.32)$$

2.2.2. Астатичні (інтегруючі) ланки. Це такі ланки, у яких після надходження на вхід ступеневої впливу вихідна величина не приходиться до встановити значення (як у статичних), а безперервно змінюється.

Ідеальне інтегруюча ланка. Диференціальне рівняння ланки

$$\dot{X}_{вих} = k_1 X_{вх} \quad (2.33)$$

де  $k_1$  - коефіцієнт передачі, який має розмірність одиниці швидкості зміни вихідної величини, поділені на одиниці вхідної величини.

Передавальна функція ланки

$$W(p) = \frac{k_1}{p} \quad (2.34)$$

Перехідна функція ланки (рис. 2.9, а)

$$h(\tau) = k_1 \cdot \tau \quad (2.35)$$

представляє собою пряму лінію з кутом нахилу  $\arctg k_1$ .

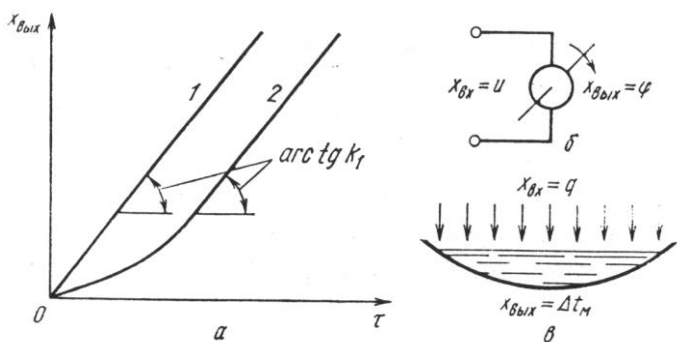


Рис. 2.9 - Перехідні функції ідеальної (а,1) та реальної (а,2) ланок та приклади інтегруючих ланок

Приклади інтегруючих ланок: електродвигун, якщо вхідна величина - напруга живлення, а вихідна величина - кут повороту якоря (мал. 2.9, б); кристалізатор МБЛЗ, якщо вхідна величина - витрата металу з проміжної-

го ковша (при постійній швидкості витягування злитка), а вихідна величина - рівень металу в кристалізатора (див. рис. 2.2, а); ванна рідкого металу в ста-леплавильній печі, якщо вхідна величина - тепловий потік через  $t_m$  (Δ поверхню ванни  $q$ , а вихідна величина - зміна середньої температури металу рис. 2.9, в).

Реальна інтегруюча ланка (інтегруюча ланка з уповільненням). Ланка описується диференціальних рівнянням

$$T^2 \ddot{X}_{вих} + \dot{X}_{вих} = k_1 X_{вх} \quad (2.36)$$

Передавальна функція ланки

$$W = \frac{k_1}{p(Tp + 1)} \quad (2.37)$$

Перехідна функція реальної інтегруючої ланки

$$h(\tau) = k_1[\tau - T(1 - e^{-\tau/T})] \quad (2.38)$$

відрізняється від перехідної функції ідеальної ланки в початковий момент часу, а потім переходить в пряму лінію з тим же кутом нахилу.

Прикладами реальних інтегруючих ланок можуть служити ті ж ланки, що показано на рис. 2.9, якщо більш точно, без припущень розглядати їх рівняння руху. Наприклад, електродвигун з постійною швидкістю буде ідеальною інтегруючою ланкою. Однак у момент пуску стала швидкість встановиться не відразу, а з деяким уповільненням, і електродвигун слід розглядати як реальну інтегруючу ланку.

### 2.2.3. Диференціююча ланки.

Ідеальна диференціююча ланка. Диференціальне рівняння ланки

$$X_{вых} = k_2 \dot{X}_{вх} \quad (2.39)$$

де  $k_2$  - коефіцієнт передачі диференціюючої ланки, який має розмірність одиниці вихідної величини, поділені на одиниці швидкості зміни вхідної величини.

Передавальна функція ланки  $W(p) = k_2 p$ . (2.40)

Перехідна функція ланки  $h(\tau) = k_2 \delta(\tau)$  (2.41)

де  $\delta(\tau)$  - так звана дельта-функція, яка дорівнює нулю всюди, крім нульового моменту часу, де її значення прагне до нескінченності.

Перехідна функція ідеальної ланки (рис. 2.10, а) являє собою миттєвий кидок вихідної величини в бесконечність в момент нанесення ступеневої вхідного впливу і таке ж швидке повернення до нуля.

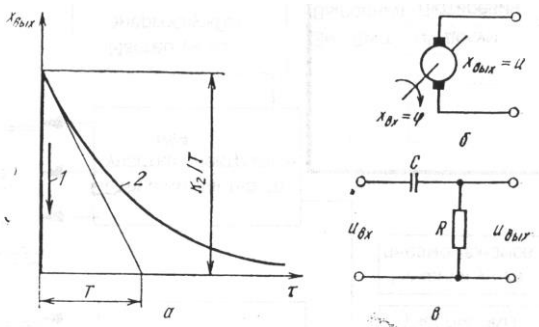


Рис. 2.10 – Перехідні функції ідеальної (а, 1) і реальної (а, 2) ланок та приклади диференціюючих ланок

Найбільш близько до ідеальної ланки наближається тахогенератор постійного струму (рис. 2.10, б), якщо вхідний величиною вважати кут повороту якоря, а вихідний - ЕДС якоря, а також операційний підсилювач в режимі диференціювання, що застосовується в аналогових ЕОМ.

Реальна диференціююча ланка (диференціююча ланка з уповільненням). Ланка описується диференціальними рівняннями

Реальна диференціююча ланка (диференціююча ланка з уповільненням). Ланка описується диференціальними рівняннями

$$T \dot{X}_{вых} + X_{вых} = k_2 \dot{X}_{вх} \quad (2.42)$$

Передавальна функція ланки  $W = \frac{k_1 p}{(Tp + 1)}$  (2.43)

Перехідна функція ланки  $h(\tau) = (k_2/T)e^{-\tau/T}$  (2.44)

являє собою експоненту, відносно до якої в точці найбільшої крутизни відсікає на нульовому значенні вихідної величини постійну часу  $T$  (рис. 2.10, а).

Прикладом реального диференціального ланки може служити ланцюжок RC (рис. 2.10, в).

2.2.4. Ланка чистого запізнювання. На відміну від інших ланок це ланка описується рівнянням з запізнюється аргументом

$$X_{\text{вих}}(\tau) = X_{\text{вх}}(\tau - \tau_0), \quad (2.45)$$

де  $\tau_0$  – час запізнювання.

Вихідна величина ланки точно дорівнює вхідній в момент часу на  $\tau_0$  раніше.

Передавальна функція ланки (отримується з використанням методів операційного обчислення)

$$W(p) = e^{-p\tau_0}. \quad (2.46)$$

$$\text{Перехідна функція ланки чистого запізнювання } h(\tau) = 1(\tau - \tau_0), \quad (2.47)$$

тобто являє собою одиничну ступінчасту зміну вихідної величини з відставанням на  $\tau_0$  від такої ж ступінчастої зміни вхідної величини (рис. 2.11, а).

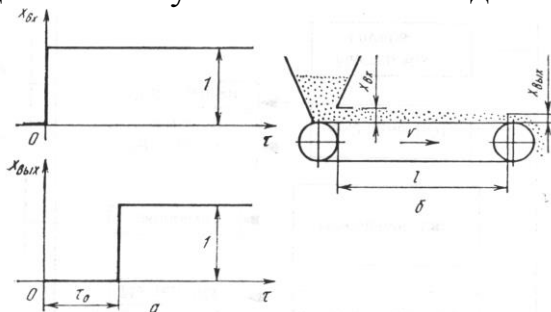


Рис. 2.11 - Перехідна функція (а) і приклад (б) ланки чистого запізнювання

### 2.3 Алгоритмічні схеми САУ та правила їх перетворення.

Існує три типи з'єднання ланок між собою (рис. 2.12): послідовне, паралельне і зустрічно-паралельне (зі зворотним зв'язком). Для математичного опису систем з різному з'єднаних ланок найбільш зручно користуватися не диференціальними рівняннями, а передаточних функціями.

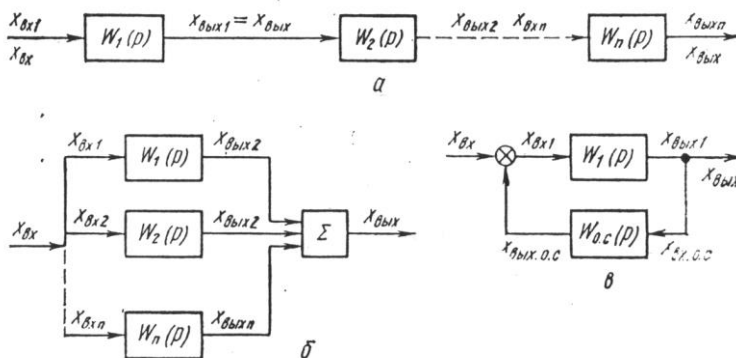


Рис. 2.12 – Структурні схеми з'єднання ланок: а - послідовне; б - паралельне; в – зі зворотнім зв'язком

2.3.1. Послідовне з'єднання. Це таке з'єднання, при якому вихідна величина попереднього ланки є вхідною величиною подальшого ланки (рис. 2.12, а).

$$x_{\text{вих}}(p) = x_{\text{вх}}(p) \cdot W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p)$$

Таким чином, можна зробити висновок, що передавальна функція ланцюга : (2.48)

$$W_{\text{ц}}(p) = \sum_{k=1}^n W_k(p)$$

2.3.2. Паралельне з'єднання. При паралельному з'єднанні (рис. 2.12, б) на вхід всіх ланок надходить одна й та сама вхідна величина

$$x_{\text{вх}}(p) = x_{\text{вх1}}(p) = x_{\text{вх2}}(p) = \dots = x_{\text{вхn}}(p)$$

а вихідна величина системи дорівнює сумі вихідних величин окремих ланок.

Передатний функція системи паралельно з'єднаних ланок дорівнює сумі передавальних функцій окремих ланок:

$$W(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = W_1(p) + W_2(p) + W_n(p) = \sum_{k=1}^{k=n} W_k(p) \quad (2.49)$$

2.3.3. З'єднання зі зворотним зв'язком. Таким чином може бути з'єднана лише дві ланки: ланка з передаточної функцією  $W_1(p)$  охоплено зворотним зв'язком - ланкою з передаточної функцією  $W_{oc}(p)$  (рис. 2.12, в). При цьому дотримуються співвідношення:

$$\begin{aligned} X_{\text{вих1}} &= X_{\text{вхoc}} = X_{\text{вих}} \\ X_{\text{вх1}} &= X_{\text{вх}} \pm X_{\text{вихoc}} \end{aligned} \quad (2.50)$$

Знак «плюс» відповідає позитивній зворотнього зв'язку, знак «мінус» - негативної зворотнього зв'язку.

Передатний функція системи при охопленні ланки зворотним зв'язком дорівнює дробу, чисельник якої - передатний функція ланки, а знаменник - одиниця плюс (мінус) твір передаточної функції ланки і передаточної функції ланки зворотнього зв'язку ( «плюс» відповідає негативним, «мінус» - позитивною зворотнього зв'язку ):

$$W_c(p) = \frac{W_1(p)}{1 \mp W_{oc}(p) \cdot W_1(p)} \quad (2.51)$$

Приклад. Знайти передавальну функцію системи, яка складається з аперіодичної ланки першого порядку  $W_1(p) = k/(Tp+1)$ , яка охопена негативним зворотнім зв'язком у вигляді інтегруючої ланки  $W_{oc}(p) = k_{oc}/p$ .

По формулі (2.51) знаходимо  $W(p) = \frac{kp}{Tp^2 + p + kk_{oc}}$

Як видно з прикладу, введення зворотних зв'язків суттєво змінює властивості основного ланки: замість аперіодического ланки першого порядку отримано складне диференціює ланка (р в чисельнику передаточної функції - ознака диференціювання).

## 2.4 Об'єкти регулювання з зосередженими параметрами

Об'єкт є основним елементом у будь-якої системи автоматичного регулювання й управління. Для створення і розрахунку системи, що забезпечує потрібну якість регулювання, обов'язково потрібно мати математичне опис об'єкта у вигляді рівнянь, передавальних функцій і пр.

Практично всі металургійні агрегати являють собою складні об'єкти управління, які описуються рівняннями високих порядків і мають нелінійні залежності між вхідними та вихідними-величинами. Складність і взаємозв'язок фізико-хімічних процесів призводить до того, що металургійні агрегати є багатозв'язними об'єктами управління.

Більшість металургійних агрегатів є нестационарними об'єктами, що виражається зміною в часі параметрів, що визначають їх статичні та динамічні характеристики. Зазначені параметри змінюються як в агрегатах періодичної дії по ходу процесу, так і в агрегатах безперервної дії по мірі зносу і старіння агрегатів у процесі експлуатації.

Разом з тим, за певних спрощення і дослідженнях роботи об'єкта у відносно вузьких межах зміни вхідних і вихідних величин багато об'єкти можна розглядати як лінійні з зосередженими параметрами

Розглянемо характеристики таких об'єктів, що мають одну вхідну величину - положення регулюючого органу  $u$  і одну вихідну величину - регульовану величину  $x$ . Об'єкти, які можуть бути представлені аперіодическім ланкою 1-го порядку або ланцюжком послідовно з'єднаних аперіодическіх ланок, називають статичним об'єктами. У цих об'єктах вихідна величина після появи підбурює впливу сама, без регулювання, через деякий час приходиться до нового положення рівноваги.

Статичні об'єкти описуються передаточних функціями:

$$W_{об}(p) = \frac{k_{об}}{(T_1p + 1)(T_2p + 1)\dots(T_np + 1)} = \frac{k_{об}}{\prod_{i=1}^n (T_i p + 1)} \quad (2.52)$$

де  $k_{об}$  - коефіцієнт передачі об'єкта, що має розмірність: одиниця вихідний величини, поділена на одиницю вхідної величини.

Оскільки вхідний величиною в цьому випадку буде регулюючий вплив, то його доцільно виражати в одиницях переміщення регулюючого органу і тоді розмірність  $k_{об}$  - одиниця регульованої величини, поділена на величину ходу регулюючого органу у відсотках. Управляюче вплив може бути виражено і в інших одиницях, пов'язаних з положенням регулюючого органу, наприклад, в одиницях подається потужності, в одиницях витрати середовища і т.д.

В залежності від ступеня  $n$  (числа дужок) в знаменнику формули (2.52) об'єкти регулювання називаються об'єктами 1-го, 2-го, ...  $n$ -ного порядку.

Прикладами металургійних статичних об'єктів регулювання різного порядку можуть служити: проміжний ківш МБЛЗ (першого порядку) (див. рис: 2.6, б); плавильних або нагрівальні печі як об'єкти регулювання тиску (1-го чи 2-го порядку); ці ж печі як об'єкти регулювання температури. (2-го, 3-го і більш високого порядку).

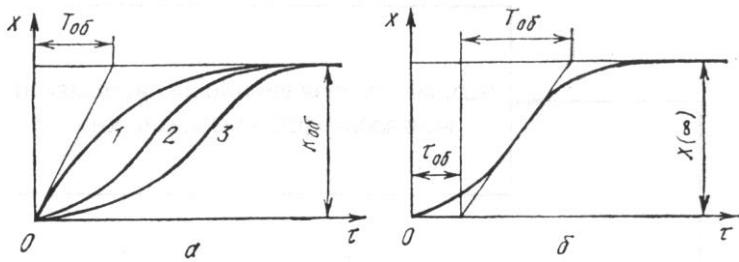


Рис. 2.13 - Перехідні характеристики статичних об'єктів: а - перехідні функції об'єктів 1-го (1), 2-го (2) і 3-го (3) порядків; б - визначення параметрів об'єкта по кривій розгону.

Перехідні функції статичних об'єктів показано на рис. 2.13. Найпростіший статичний об'єкт - об'єкт 1-го порядку з динамічними властивостями являє собою аперіодическое ланка 1-го порядку. Чим вище порядок об'єкта, тим він більш інерційно, тобто повільніше зростає вихідна величина на початку перехідного процесу (див. криві 1-3 на рис. 2.13, а).

Деякі металургійні об'єкти включають в себе елементи з чистим запізнювання, наприклад транспортер. Передатний функція такого об'єкту є твором передаточної функції об'єкта без запізнювання на передаточних функцію ланки про (як послідовне з'єднання чистого запізнювання з часом запізнювання ланок):

$$W_{ob}(p) = \frac{k_{ob}}{n \prod_{i=1}^n (T_i p + 1)} \exp(-p \tau_{ob}) \quad (2.53)$$

У ряді випадків зручно представляти (апроксимувати) складні статичні об'єкти (зазвичай вище 2-го порядку) послідовним з'єднанням об'єкта 1-го порядку і ланки чистого запізнювання і тоді передатний функція має вигляд:

$$W_{ob}(p) = \frac{k_{ob}}{(T_{ob} p + 1)} \exp(-p \tau_{ob}) \quad (2.54)$$

Параметри об'єкта - коефіцієнт передачі  $k_{ob}$ , постійна  $T_{ob}$  про визначаються за експериментально знятим часом  $T_{ob}$  і час запізнювання  $\tau_{ob}$  тимчасовим характеристикам (кривим розгону), як показано на рис. 2.13, б. Кривими розгону називаються перехідні процеси в об'єкті регулювання після подачі на вхід ступеневої впливу висотою  $u_v$ , не рівною 1. Така апроксимація справедлива встановити значення  $x$ . При цьому  $k_{ob} = X$  (для статичних об'єктів 3-го і більше порядку).

Об'єкти управління, що включають астатическіе (інтегруючих) ланки, називають астатическіми об'єктами. У цих об'єктів вихідна величина після появи ступеневої підбурює впливу не приходить до стану рівноваги, а безперервно змінюється. Астатическіе об'єкти можна представити ланцюжком з послідовно з'єднаних ідеальних інтегруючих ланок і аперіодическіх ланок 1-го порядку.

Астатическіе об'єкти мають передаточні функції

$$W_{ob}(p) = \frac{k_{ob1}}{p^m \prod_{i=1}^n (T_i p + 1)} \quad (2.55)$$

де  $k_{ob1}$  - коефіцієнт передачі астатического об'єкта з розмірністю: швидкість зміни регульованої величини, поділена на величину ходу ходу регулюючого органу, %;  $m$  і  $n$  - цілі речові додатні числа,  $m$  - характеризує порядок астатизма об'єкта (об'єкти з астатизмом 1-го, 2 -- го і т. д. порядку), а сума  $m + n$  - характеризує порядок об'єкта.

Прикладами астатических металургійних об'єктів можуть служити різні ємності з рідиною, якщо вихідний величиною є рівень рідини, а вхідний - різниця між припливом і стоком рідини (за умови, що рівень рідини не впливає на її сток), наприклад кристалізатора МБЛЗ (див. рис. 2.2 , а). Астатическими об'єктами є також об'єкти регулювання рівня сипучих матеріалів у бункерах або рівня засипі в доменній або іншій шахтної печі.

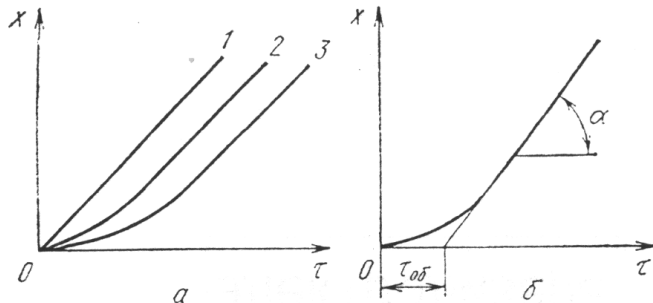


Рис. 2.14 - Перехідні характеристики астатических об'єктів: а - перехідні функції об'єктів 1-го (1), 2-го (2) і 3-го (3) порядків; б - визначення параметрів об'єкта по кривій розгону.

Перехідні функції астатических об'єктів з астатизмом першого порядку показано на рис. 2.14, а. Астатическій об'єкт 1-го порядку являють собою ідеальне інтегруючих ланка. Так само, як у статичних об'єктів, чим вище порядок об'єкта, тим більше інерційно об'єкт.

У ряді випадків складні астатическі об'єкти з астатизмом 1-го порядку зручно представити (апроксимувати) послідовним з'єднанням астатического об'єкта 1-го порядку (ідеального інтегруючих ланки) і ланки чистого запізнювання. Передатний функція при такому поданні об'єкта має вигляд:

$$W_{об}(p) = (k_{об}/p)e^{-p\sigma} \quad (2.56)$$

## 2.5 Закони регулювання та особливості їх функціонування.

Автоматичні регулятори призначені для надання керуючого (регулюючого) впливу на об'єкт відповідно до закону регулювання (алгоритмом управління). Під законом регулювання мається на увазі залежність регулюючого впливу  $y$  (вихідна величина регулятора та вхідна величина об'єкта) (вхідна величина від відхилення регульованих величини від її заданого значення регулятора).

$$y = f(\varepsilon) \quad (2.57)$$

Величина регулюючого впливу оцінюється у відсотках ходу вала виконавчого механізму (по відношенню до повного переміщення) або у відсотках ходу регулюючого органу (зазвичай вони рівні між собою).

Якщо залежність (2.57) є лінійним диференціальних рівнянням, то закон регулювання також називають лінійним. Закон регулювання вважається безперервним, якщо відповідає безперервне зміна регулюючого безперервному зміни вхідної величини впливу  $y$ . У серійно випускається: апаратурі звичайно реалізують п'ять лінійних безперервних законів регулювання: пропорційний (П), інтегральний (І), пропорційно-інтегральний (ПІ), пропорційно-диференційний (ПД) і пропорційно-інтегрально-диференційний (під). Технічні пристрої, що забезпечують вказані закони регулювання, називають відповідно до П-, І-, ПІ-, ПД-, під-регуляторами. Такі ж закони регулювання застосовуються і при безпосередньому



цифровому управлінню (НЦУ) за допомогою ЕОМ. У цьому випадку ЕОМ розраховує управляючий вплив за відповідним алгоритмом, використовуючи дані про фактичне значення відхилення

Всі закони регулювання є різними комбінаціями трьох складових: пропорційній (П), інтегральній (І) та диференційованій (Д). Рівняння цих складових

$$\begin{aligned} y_n &= k_n \varepsilon; \\ y_u &= k_u \int \varepsilon dt; \\ y_d &= k_d \frac{d\varepsilon}{dt} \end{aligned} \quad (2.58)$$

де  $k_n$ ,  $k_u$ ,  $k_d$  — коефіцієнти передачі пропорційної, інтегральної та диференціальної складових.

Передавальні функції складових:

$$\begin{aligned} W_n(p) &= k_n; \\ W_u(p) &= k_u / p; \\ W_d(p) &= k_d p. \end{aligned} \quad (2.59)$$

В динамічному відношенні вказані складові представляють собою пропорційну, ідеальну інтегруючу та ідеальну диференціюючу ланки.

*Пропорційний регулятор* включає тільки одну пропорційну складову та його рівняння при  $k_p = k_n$ :  $y = k_p \varepsilon$  (2.60)

де  $k_p$  — коефіцієнт передачі, що має розмірність: відсоток ходу вала виконавчого механізму, поділені на одиницю регульованої величини.

Регулюючий вплив формується пропорційно відхиленню регульованої величини від заданого значення.

Передавальна функція П-регулятора

$$W_n(p) = k_n; \quad (2.61)$$

У динамічному відношенні П-регулятор являє собою пропорційну ланку, що видно з перехідною функцією, зображеної на рис. 2.15, а.

Інтегральний регулятор включає тільки одну інтегральну складову і тому його рівняння

$$y_u = k_u \int \varepsilon dt = \frac{k}{T_i} \int \varepsilon dt, \quad (2.62)$$

де  $k_i$  - коефіцієнт передачі інтегрального регулятора,  $k_i = k_p / T_i$ ;  $k_p$ -коефіцієнт передачі П-регулятора.  $T_i$  - постійна часу інтегрування, с.

Регулюючий вплив формується пропорційно інтегралу відхилення регульованої величини від заданого значення.

Передавальна функція І-регулятора

$$W_u(p) = k_u / p = \frac{k}{T_i p}. \quad (2.63)$$

У динамічному відношенні І-регулятор аналогічний ідеальному інтегруючій ланці. Перехідна функція регулятора показана на рис. 2.15, б.

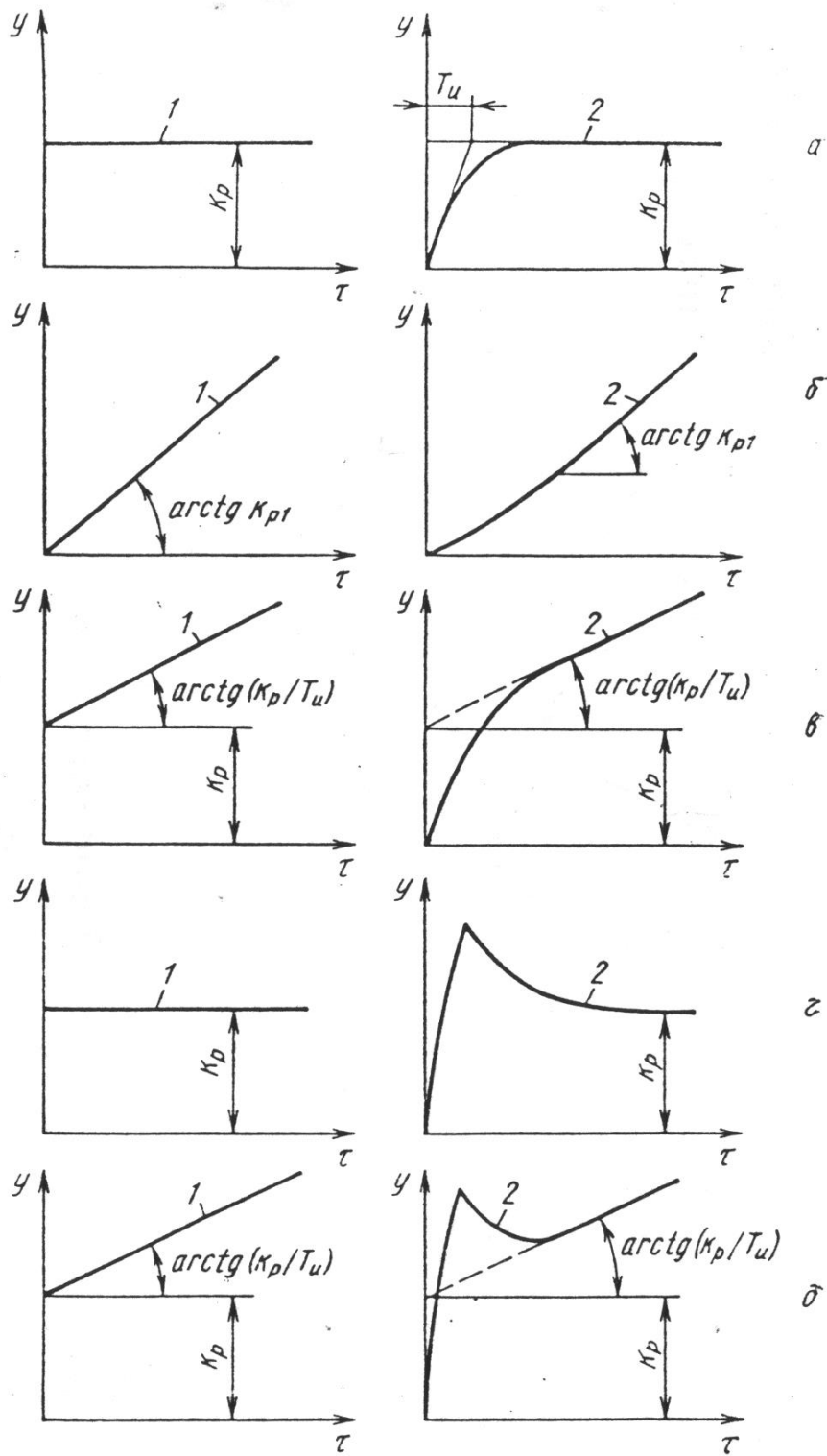


Рис. 2.15 – Перехідні функції ідеальних (1) і реальних (2) регуляторів: а – П; б – І; в – Д; г – ПД; д – ПІД.

Пропорційно-інтегральний регулятор включає пропорційну і інтегральну складові. Рівняння регулятора

$$y = k_n \varepsilon + \frac{P}{T_u} \int \varepsilon d\tau. \quad (2.64)$$

Регулюючий вплив ПІ-регулятора формується як сума двох складових:

пропорційної  $y = k_p \varepsilon$  та інтегральної  $y_u = \frac{k_p}{T_u} \int \varepsilon dt$

Перехідна функція (рис. 2.16, в) є сумою перехідних функцій пропорційного і інтегрує ланок. Постійна часу інтегрування  $T_u$  характеризує частку участі інтегральної складової у формуванні регулюючого впливу. Чим більше  $T_u$ , тим менше участь інтегральної складової; при  $T_u \rightarrow \infty$  регулятор перетворюється на пропорційний

Передавальна функція ПІ-регулятора

$$W_{PI}(p) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_u p} \right); \quad (2.65)$$

є сумою передавальних функцій пропорційної і інтегральної складових. Структурно ПІ-регулятора представляє собою паралельне з'єднання пропорційного і ідеального інтегруючих ланок.

Пропорційно-диференціальний регулятор включає пропорційну і диференціальну складові. Рівняння регулятора

$$y = k_p \varepsilon + k_p T_d \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (2.66)$$

де  $T_d$  - постійна часу диференціювання, с.

Регулюючий вплив ПД-регулятора формується як сума двох складових: пропорційної  $y = k_p \varepsilon$  та диференційованої

$$y_d = k_p T_d \frac{d\varepsilon}{dt},$$

Перехідна функція регулятора (рис. 2.15, г) є сумою перехідних функцій пропорційного і ідеального диференціуює ланок.

Передавальна функція ПД-регулятора

$$W_{PD}(p) = k_p (1 + T_d p); \quad (2.67)$$

є сумою передавальних функцій пропорційної та диференційованої складових. Структурно ПД-регулятор представляє собою паралельне з'єднання пропорційного і ідеального диференціуює ланок.

Пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор включає всі три складових і його рівняння

$$y_n = k_p \varepsilon + \frac{k_p}{T_u} \int \varepsilon dt + k_p T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \dots \quad (2.68)$$

Регулюючий вплив під-регулятора формується як сума трьох складових: пропорційній, інтегральної та диференційованої. Перехідна функція (рис. 2.15, д) є сумою перехідних функцій пропорційній ідеальних інтегруючих і диференціуює ланок.

Передавальна функція ПІД-регулятора

$$W_{PID}(p) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_u p} + T_d p \right); \quad (2.69)$$

є сумою передавальних функцій всіх трьох складових (2.59).

Структурно ПІД-регулятор представляє собою паралельне з'єднання пропорційного, ідеального інтегруючих і ідеального диференціального ланок.

Всі розглянуті закони регулювання і, відповідно, регулятори є ідеальними, не враховують дійсних можливостей реальних пристроїв. Так, в реальному П-регуляторі при ступінчастою зміні вхідної величини положення вихідного вала виконавчого механізму (наприклад, електродвигуна) не може миттєво змінитися на величину  $k_p$  у відповідності з перехідною функцією ідеального регулятора, а вихідний вал переміщується з деякою кінцевою швидкістю і поступово приходить до положення  $k_p$  (рис. 2.15, а). Можна сказати, що реальний регулятор відрізняється від ідеального деякою інерційністю. Структурно реальний регулятор можна представити як послідовне з'єднання ланки з передаточною функцією ідеального регулятора і інерційно (аперіодического) ланки 1-го порядку з передаточною функцією

$W(p) = \frac{1}{T_{ин}p + 1}$ , характеризується постійної часу інерційно ланки  $T_{ин}$ . Передатний функція реального регулятора:

$$W_p^*(p) = W_p(p)W_{ин}(p) = \frac{W_p(p)}{T_{ин}p + 1}, \quad (2.70)$$

де  $W_p(p)$  - передатний функція відповідного ідеального регулятора.

Перехідні функції реальних регуляторів показано на рис. 2.15 (криві 2) і добре характеризують відміну процесів в реальних пристроях від ідеальних законів.

## 2.6 передаточні функції замкнутих САУ по керуючому і порушувач впливів.

Як було розглянуто в розділі 1, замкнуті САУ (системи з регулюванням щодо відхилення) це такі системи, які в своїй роботі використовують поточну інформацію про значення регульованої величини  $X$  і за допомогою регулятора, що здійснює негативну зворотний зв'язок, вживають заходів до усунення відхилення є цієї величини від заданого значення  $x_0$ . Якщо розірвати зворотний зв'язок, то вийде система в неробочому стані, звана розімкнутих системою (не плутати з розімкнутих системами з жорсткою програмою або з регулюванням по возмущенню), структурно представляється послідовним з'єднанням ланок (рис. 2.16, а).

Передавальна функція розімкнутих системи (число ланок дорівнює чотирьом прийнято умовно, їх може бути будь-яку кількість)

$$W_{раз} = W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p). \quad (2.71)$$

Якщо знову замкнути систему, поставивши, наприклад, ланка 4 в негативний зворотний зв'язок (рис. 2.16, б), то, використовуючи правила з'єднання ланок, можна отримати передаточних функцію замкнутої автоматичної системи регулювання (система в робочому стані)

$$W_3(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)W_3(p)}{1 + W_{раз}(p)}. \quad (2.72)$$

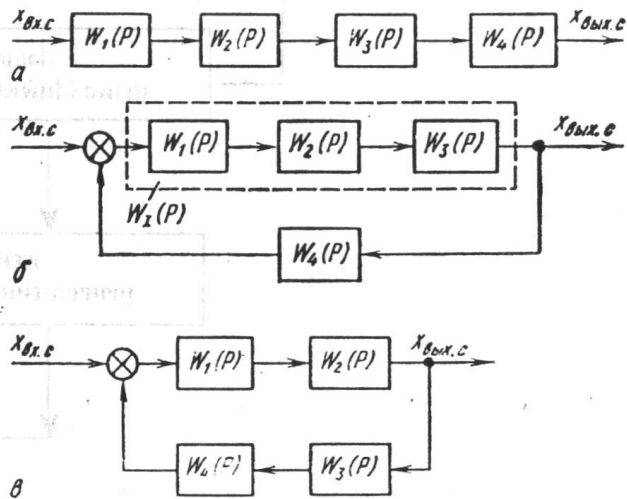


Рис. 2.16 - Структурні схеми розімкннутих (а) і замкнутих (б, в) систем регулювання

У цьому випадку вихідний величиною системи  $X_{вих.с}$  є вихідна величина 3-го ланки. При виведенні формули (2.72) вводилося допоміжне збільшене ланка (пунктиром на рис. 2.16, б), Передаточне функція якого  $W1(p) = W1(p) W2(p) W3(p)$  за правилом (2.49) послідовного з'єднання ланок. Потім ланка з передаточної функцією  $W1(p)$

охоплює негативної зворотнім зв'язком із передаточної функцією  $W4(p)$  і по правилу (11.52) знаходили передаточних функцію замкнутої системи

У загальному випадку, при будь-якій кількості ланок у системі, Передаточне функція замкнутої системи дорівнює дробу, у чисельнику якої стоїть твір передавальних функцій ланок, розташованих між вхідний і вихідний величинами системи (по ходу сигналу), а знаменник дорівнює сумі одиниці і передаточної функції розімкннутих системи.

З даної формулювання, передаточні функції замкнутої системи, що складається з однакових ланок, будуть неоднаково та залежні від вибору вхідний і вихідний величин. Ясно, що якщо розглядати як вихідний величини системи  $X_{вих.с}$  вихідну величину 2-го ланки (рис. 2.16, в), то передатний функція замкнутої системи буде мати вигляд відмінний від вираження (2.72).

Приклад. Отримати передаточних функцію замкнутої системи (див. рис. 1.4, б, якщо вхідна величина - обурення ув надходить на вхід регулюючого органу і відомі передаточні функції всіх функціональних елементів:  $W_{p.o}(p)$ ,  $W_{p.y}(p)$ ,  $W_{ч.е}(p)$ ,  $W_{1п.е}(p)$ ,  $W_{с.е}(p)$ ,  $W_{2п.е}(p)$ ,  $W_{и.м}(p)$ ).

За наведеним вище правилом в чисельнику передаточної функції замкнутої системи буде стояти твір передавальних функцій чотирьох ланок:  $W_{p.o}(p)$ ,  $W_{p.y}(p)$ ,  $W_{ч.е}(p)$ ,  $W_{1п.е}(p)$ , а в знаменнику одиниця плюс твір передаточних функцій всіх ланок:

$$W_3(p) = \frac{W_{p.o}(p)W_{p.y}(p)W_{ч.е}(p)W_{1п.е}(p)}{1 + W_{p.o}(p)W_{p.y}(p)W_{ч.е}(p)W_{1п.е}(p)W_{с.е}(p)W_{2п.е}(p)W_{и.м}(p)}$$

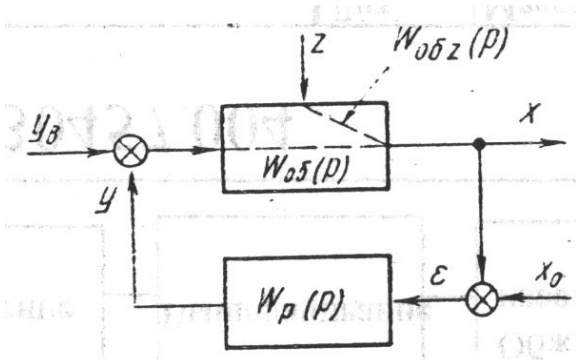


Рис. 2.17 - Структурна схема замкнутої САР

Дуже часто замкнуту систему автоматичного регулювання представляють укрупнити складається з двох основних елементів: об'єкта та регулятора (рис. 2.17). В якості вихідної величини системи

розглядають регульовану величину  $X$ . В якості вхідної величини розглядають: а) задаються вплив  $x_0$ ; б) підбурює вплив  $Z$ . За правилом отримання передаточної функції замкнутої системи перебувають передаточні функції при відповідному вхідному впливі при рівності нулю іншого впливу:

а) задаються вплив.  $X_{вх.с} = X_0$

$$W_3^{X_0}(p) = W_{об}(p)W_p(p)/[1 + W_{об}(p)W_p(p)], \quad (2.73)$$

де  $W_{об}(p)$  и  $W_p(p)$  - передавальні функції об'єкта і регулятора. Цю передаточну функцію часто називають основною передаточною функцією замкнутої САР;

б) обурюючий вплив  $X_{вх.с} = Z$

$$W_3^Z(p) = W_{обZ}(p)/[1 + W_{об}(p)W_p(p)], \quad (2.74)$$

где  $W_{обZ}(p)$  - передавальна функція об'єкта по каналу обурення.

В окремому випадку підбурює вплив може надходити по каналу керування з боку регулюючого органу (зміна положення регулюючого органу). Тоді  $X_{вх.с} = y_в$ ,

$W_{обZ}(p) = W_{об}(p)$  и передавальна функція замкнутої системи має вигляд

$$W_3^{y_в}(p) = W_{об}(p)/[1 + W_{об}(p)W_p(p)]. \quad (2.75)$$

## 2.7 Стійкість систем автоматичного регулювання

Одна з основних вимог, які висуваються до замкнутих САР, це забезпечення стійких умов роботи. Система автоматичного регулювання називається стійкою, якщо вона, будучи виведений зі стану рівноваги в результаті дії обурення, після зняття підбурює впливу повертається до стану рівноваги або в кінцеву область, що примикають до нього. Стійкість - це внутрішня властивість системи, що не залежить від зовнішніх впливів.

Найпростішою аналогією стійкої і нестійкої систем можуть служити системи з увігнутою або опуклою поверхні і кульки. Вихідний величиною є відхилення кульки від положення рівноваги. На увігнутий поверхні (рис. 2.18, а) кульку, зміщений у бік якоюсь силою, після усунення цієї сили мимоволі повертається в нижню точку, до попереднього стану рівноваги. Якщо тертя невелика, то кулька здійснює кілька коливань близько положення рівноваги (крива 1); при більшому терті кульку переміститься в положення рівноваги без вагань - аперіодическій процес (крива 2); при дуже великому терті кулька може трохи не дійти до нижньої точки (крива 3) - повернеться в кінцеву область, що примикають до положення рівноваги. У всіх трьох випадках наявності стійка система. На опуклій поверхні (рис. 2.18, б) кульку, зміщений в бік, не повертається до положення рівноваги (крива 4) - система стійка.

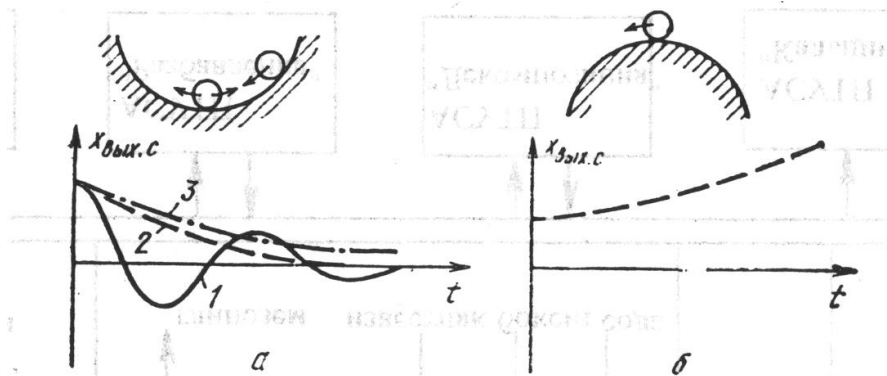


Рис. 2.18 - Модель устойчивой (а) і нестійкої (б) систем

У загальному випадку в системах автоматичного регулювання виникають коливальні перехідні процеси (аперіодичні, тобто. неколивальні процеси - окремий випадок). У стійких системах колювання носить загасає, а в нестійких системах - расходящийся характер. Перехід від стійкої системи до нестійкої характеризується незатухаючими колюваннями вихідний величини - система знаходиться на межі стійкості. Знаходження на кордоні стійкості - чисто теоретична ситуація і реальні лінійні системи автоматичного регулювання в такому режимі працювати не можуть (робота нелінійних систем в автоколебательном режимі тут не розглядається).

Як впливає з визначення, стійкість системи розглядається при рівності нулю вхідних, обурювалися впливів, тобто у випадку, коли рух системи визначається однорідним диференціальних рівнянням замкнутої системи (права частина дорівнює нулю)

$$a_n p^n x_{вых}(p) + a_{n-1} p^{n-1} x_{вых}(p) + \dots + a_2 p^2 x_{вых}(p) + a_1 p^1 x_{вых}(p) + a_0 x_{вых}(p) = 0$$

$$\cdot a_n X_{вых}^{(n)} + a_{n-1} X_{вых}^{(n-1)} + a_2 \ddot{X}_{вых} + a_1 \dot{X}_{вых} + a_0 X_{вых} = 0$$

Система автоматичного регулювання буде стійка, якщо у характеристического рівняння замкнутої системи всі дійсні корені будуть негативними, а всі комплексні корені будуть мати негативну дійсну частину, тобто для визначення стійкості системи слід вирішити характеристическое рівняння замкнутої системи і подивитися на значення його коріння.

Можливо визначення стійкості за коефіцієнтами рівняння, не вирішуючи його. Існують так звані алгебраїчних критерій стійкості Гурвіца, який для систем, описуваних диференціальними рівняннями 3-го порядку

$$a_3 \dddot{X}_{вых} + a_2 \ddot{X}_{вых} + a_1 \dot{X}_{вых} + a_0 X_{вых} = 0$$

показує, що система стійка, коли всі коефіцієнти рівняння є позитивними і виконується співвідношення  $a_2 a_1 - a_3 a_0 > 0$ .

Критерій Гурвіца застосовується для систем, описуваних лінійними диференціальними рівняннями будь-якого порядку. Існує ще декілька критеріїв стійкості, заснованих, зокрема, на частотних властивостях систем, які розглядаються в підручниках по теорії автоматичного регулювання.

## 2.8 Поняття про якість роботи САУ

Стійкість є необхідною, але недостатньою властивістю системи автоматичного регулювання, оскільки в стійких системах можуть виникати дуже повільно загасає, тривалі перехідні процеси. Тому виникає необхідність кількісно оцінювати якість перехідного процесу в стійкої системі регулювання.

Однією з основних характеристик якості є точність регулювання. Точність регулювання характеризується статичної помилкою  $X_{ст}$ , яка з'являється в статичних системах і являє собою відхилення регульованої величини від заданого значення в установи стані після закінчення перехідного процесу (рис. 2.19). При зміні завдання, коли система повинна перейти в нове положення, що відповідає

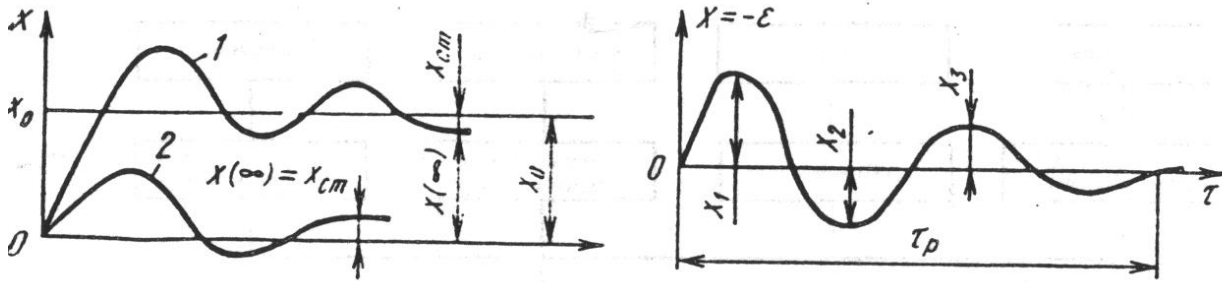


Рис. 2.19 - Перехідні процеси в статичних системах

Рис. 2.20 - Перехідний процес до визначення показників якості

значенню регульованої величини  $X = x_0$ , статична помилка  $X_{ст} = X_0 - X(\infty)$ , где  $X(\infty)$  - встановилось значення регульованої величини при  $\tau \rightarrow \infty$  (крива 1, рис. 2.19). При інших обумовленні, коли система повинна повернутися до свого попереднього, прийняте за нульове, положення рівноваги,  $X_{ст} = X(\infty)$  (крива 2, рис. 2.19.) при одиничній ступінчастою дії (наприклад  $x_0 = 1$ ) встановилось значення  $X(\infty)$  може бути знайдено за формулою

$$X(\infty) = \lim_{p \rightarrow \infty} W_3(p) \quad (2.76)$$

где  $W_3(p)$  - передатний функція замкнутої системи при відповідному вплив.

Існують показники якості, що характеризують роботу системи в перехідних режимах (в динаміці). Більшість з них визначається за графіком перехідного процесу (рис. 2.20) (на малюнку задане значення регульованої величини прийнято за нуль  $x_0 = 0$ , при цьому величина  $X$ , відраховується від заданого значення, дорівнює відхилення з зворотнім знаком  $X = -\epsilon$ ):  $X_1$  - динамічне відхилення (в одиницях регульованої величини), тобто найбільше відхилення регульованої величини від заданого значення в процесі регулювання;  $\tau_p$  - час регулювання (характеризує швидкодію системи), тобто тривалість перехідного процесу до моменту, коли відхилення увійде у наперед задані невеликі межі:  $\psi = (X_1 - X_3)/X_1$  - степеь затухання, доли одиниці;  $\eta = (X_2/X_1) \cdot 100$  - перерегулювання, %;

$$I^2 \int_0^{\infty} X^2(\tau) d\tau - \quad (2.77)$$

інтегральний квадратичного критерій якості, що дає сумарну оцінку перехідного процесу з урахуванням тривалості процесу і відхилення регульованої величини від заданого значення.

Існують показники якості перехідного процесу, що характеризують його коливального і визначаються за іншими параметрами системи. Наприклад,  $t$  - ступінь коливального (див. опис коливального ланки), що визначається за корінню характеристического рівняння замкнутої системи

$t = \alpha/\omega$ , где  $\alpha$  и  $\omega$  - інтегральний квадратичного критерій якості, що дає сумарну оцінку перехідного процесу з урахуванням тривалості процесу і відхилення регульованої величини від заданого значення.

Існують показники якості перехідного процесу, що характеризують його коливального і визначаються за іншими параметрами системи. Наприклад,  $t$  - ступінь коливального (див. опис коливального ланки), що визначається за корінню



характеристического рівняння замкнутої системи  $p_{k-k+1} = \alpha \pm i\omega$ . Якщо рівняння має кілька пар комплексних сполучених коренів, то  $\tau$  береться по меншій значенням відносини  $\alpha/\omega$

Показники якості перехідного процесу залежать від характеристик об'єкта, типу і параметрів застосовуваних регуляторів. Найпростішим законом регулювання є П-закон, за яким регулюючий вплив. П-регулятори забезпечують достатнює виробляється пропорційно відхилення  $P$ ), але обов'язково дають статичну швидкодію системи (мале час регулювання помилку  $X_{ст}$ . Для покращення перехідного процесу (зменшення динамічного  $p$ ) можна застосувати ПД-регулятор, в якому відхилення  $X1$  і часу регулювання та швидкості його зміни, є регулюючий вплив формується пропорційно відхилення. У цьому випадку регулює вплив з'являється,  $\tau / d$  є тобто похідної за часом  $d$  коли відхилення  $e$  ще дуже мало, але є швидкість його зміни, тобто регулює вплив як би випереджає появу відхилення, що і дозволяє поліпшити перехідний процес. ПД-регулятори також дають статичний регулювання з помилкою  $X_{ст}$ . При використанні П-і ПД-регуляторів зменшення статичної помилки можливо за рахунок збільшення коефіцієнта передачі регулятора  $k_p$ , але це збільшення обмежено небезпекою отримати нестійких роботу системи.

Якщо за технологічним вимогам статична помилка недопустима, то застосовують І-регулятор, який забезпечує астатическое регулювання. Однак І-регулятор дає повільно загасаючі перехідні процеси і тому може встановлюватися тільки на відносно простих статичних об'єктах (на астатическіх об'єктах І-регулятори працювати не можуть). Найбільш часто застосовують ІІ-регулятори, в яких управляючий вплив формується  $\int$  і тому вонит  $d \in \int$  і інтегралу цього відхилення при  $e$  пропорційно відхилення мають переваги і П-, і І-регуляторів, тобто досить гарним швидкодією і регулюванням без статичної помилки (астатическое регулювання).

У випадку більш жорстких вимог до процесу регулювання або при більш складних об'єктах (вище порядок об'єкта, більше час запізнювання) застосовують під-регулятори з складовою регулюючого впливу, пропорційної похідної відхилення, яка, як і в ПД-регулятори, як би випереджає появу відхилення та в цілому поліпшує перехідний процес.

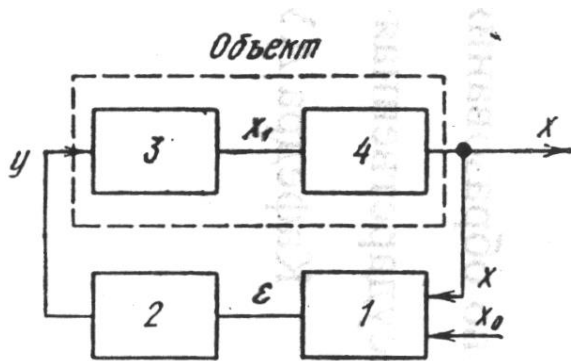
Потрібне якість перехідного процесу визначається технологічними твимогами. Наприклад, при швидкодіючих технологічних процесах час регулювання  $p$ . повинно бути якомога менше, в інших технологічних процесах не допустимо значне відхилення регульованої величини від заданого значення (обмежено динамічне відхилення  $X1$ ), в деяких процесах неприпустимо відхилення регульованої величини в бік зменшення (має бути неколебательний, аперіодическій перехідний процес) і т. д

При заданих з технологічних міркувань або потрібних  $p$ ,  $X_{ст}$ , потрібні показники якості перехідних процесів (допустимі значення  $X1$ ) вибирається тип регулятора і розраховуються його параметри  $\eta$ ,  $\psi$  значення (коефіцієнти рівняння), що забезпечують заданий якість перехідного процесу. При цьому прагнуть отримати мінімальне значення інтегрального критерію

$$\text{якості } I^2 \int_0^{\infty} X^2(\tau) d\tau \rightarrow \min.$$

Існує багато методик розрахунку систем регулювання (вибір типу регулятора і розрахунок його настройок) на заданий якість перехідного процесу, викладав в спеціальній літературі (див. Г. М. Глінка, В. А. Маковський, С. Л. Лотмана, М. Р. Шапіровській. Проектування систем контролю та автоматичного регулювання металургійних процесов.-М.: Металургія, 1986). Відзначимо, що в даний час найбільш доцільний розрахунок за допомогою ЕОМ оптимальних настройок регуляторів, що забезпечують, наприклад, отримання перехідного процесу з мінімумом інтегрального квадратичного критерію якості. (2.77).

Для перевірки правильності вибору регулятора та розрахунку його параметрів (установки) слід розрахувати перехідний процес. Перехідний процес може бути отриманий як рішення диференціального рівняння замкнутої системи автоматичного регулювання при відповідних умовах (зазвичай нульових) та заданому вимірі вихідний величини. Проте цей шлях отримання перехідного процесу зустрічає великі труднощі, пов'язані з досить високим порядком диференціального рівняння і, отже, складністю його рішення. Тому простіше вирішувати систему рівнянь, що описують поведінку окремих елементів системи регулювання.



Розглянемо отримання такої системи рівнянь у відповідності зі структурною схемою САР (рис. 2.21).

Рис. 11.22 - Структурна схема до розрахунку перехідного процесу на ЕОМ

Елемент порівняння 1 має рівняння  $\varepsilon(\tau) = X_0(\tau) - X(\tau)$  (2.78)

Регулятор 2 (розглядається ПІД-регулятор) має рівняння

$$y_n = k_p \varepsilon + \frac{k_p}{T_i} \int \varepsilon dt + k_p T_d \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (2.79)$$

Об'єкт регулювання представлений як послідовне з'єднання статичного об'єкта 1-го порядку 3 і ланки чистого запізнювання 4. Рівняння статичного об'єкта 1-го порядку

$$T_{об} \dot{X}_1(\tau) + X_1(\tau) = k_{об} y(\tau), \quad (2.80)$$

Де  $X_1$  - допоміжна вихідна величина. Рівняння ланки чистого запізнювання

$$X(\tau) = X_1(\tau - \tau_{об}) \quad (2.81)$$

Система рівнянь (2.78) - (2.81) може бути вирішена щодо регульованої величини  $X$  при нульових початкових умовах  $X(\tau)$ , наприклад  $X(0) = 0$  и  $\dot{X}(0) = 0$  и заданом изменении входной величины  $X_0(\tau)$ , например,  $X_0(\tau) = 1(\tau)$  -одиничне ступенчатое вплив. Отримана зміна регульованої величини в часі  $X_0(\tau)$  і буде шуканий перехідним процесом.

Для використання ЕОМ рівняння (2.78) - (2.81) записуються в дискретної формі для дискретних моментів часу  $n\theta$ , де  $\theta$  - інтервал розрахунку (квантования):

$$\varepsilon(n\theta) = X_0(n\theta) - X(n\theta); \quad (2.78a)$$

$$y(n\theta) = k_p \varepsilon(n\theta) + \frac{k_p \theta}{T_u} \sum_{i=1}^n \varepsilon(i\theta) + k_p T_D \frac{\varepsilon(n\theta) - \varepsilon[(n-1)\theta]}{\theta}. \quad (2.79a)$$

$$T_{об} \frac{X_1(n\theta) - X_1[(n-1)\theta]}{\theta} + X_1(n\theta) = k_{об} y(n\theta); \quad (2.80a)$$

$$X(n\theta) - X_1[(n-\tau_{об}/\theta)\theta]. \quad (2.81a)$$

В цих рівняннях величини  $(n\theta)$ ,  $[(n-1)\theta]$ ,  $[(n-\tau_{об}/\theta)\theta]$  беруться у відповідні дискретні моменти часу.

## 2.9 Поліпшення якості процесів регулювання

У загальному випадку якість перехідного процесу може бути покращено за рахунок правильного розрахунку параметрів (налаштувань) регулятора. Однак у деяких випадках ускладненням закону регулювання та розрахунком налаштувань регулятора неможливо домогтися потрібної якості перехідного процесу. Тоді застосовують додаткові заходи поліпшення процесу регулювання, з яких: розглянемо три: коректуючі, ланки, додаткові контури регулювання та компенсацію збурень.

Корегуючі ланки. Такі ланки можуть включатися в систему автоматичного регулювання різним чином: послідовно, паралельно і у вигляді зворотнього зв'язку.

Якщо передавальна функція коригуючої ланки  $W_{пос}(p)$ , то передатний передавальна функція скоригованої системи за правилом послідовного з'єднання ланок (2.48) має вигляд

$$W^*(p) = W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_{пос}(p). \quad (2.82)$$

Місце включення послідовної коригуючої ланки не впливає на передавальну функцію скоригованої системи.

При паралельному включенні коригуючої ланки (рис. 2.23, б) передавальна функція скоригованої системи з урахуванням правил паралельного (2.49) і послідовного (2.48) включення ланок має вигляд.

$$W^*(p) = W_1(p)[W_2(p) + W_{п}(p)]W_3(p). \quad (2.83)$$

де  $W_{п}(p)$  - передавальна функція паралельно включеної коригуючої ланки.

У цьому випадку передавальна функція  $W^*(p)$  залежить від місця включення коригуючої ланки.

На рис. (2.23, в) показана корекція за допомогою місцевого зворотнього зв'язку. Передатний функція скоригованої системи з урахуванням правила охоплення ланки зворотним зв'язком (2.51) має вигляд

$$W^*(p) = W_1(p)W_2(p)W_3(p)/[1+W_2(p)W_{ос}(p)]. \quad (2.84)$$

де  $W_{ос}(p)$  - передавальна функція ланки зворотнього зв'язку.

передавальна функція скоригованої системи також залежить від місця введення зворотнього зв'язку. Знак «плюс» в знаменнику відповідає негативному, знак «мінус» - позитивному зворотньому зв'язку.

Додаткові контури регулювання. Розглянемо систему регулювання температури в печі (рис. 2.24, а) за умови сильних змін тиску газоподібного

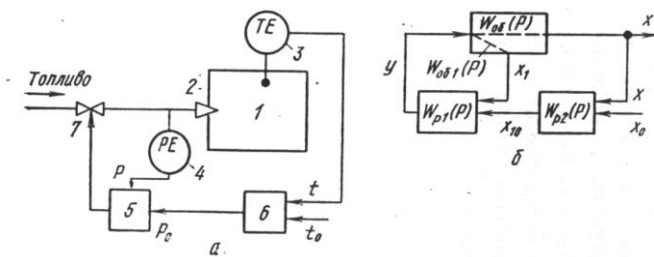


Рис. 2.24 - каскадна система регулювання температури в печі (а) і її структурна схема (б):

1 - піч, 2 - пальник; 3 - датчик температури; 4 - датчик тиску; 5 - стабілізуючий регулятор; 6 - коригувальний регулятор; 7 - регулюючий орган.

палива в цехових газопроводі. Зміна тиску в газопроводі (обурення з боку регулюючого органу) призводить до швидкого зміни витрат палива та подальшого більш повільного, внаслідок інерційності об'єкта, зміни температури в печі. Як відомо, якість перехідного процесу (наприклад, динамічне відхилення) при інших рівних умовах залежить від величини обурення. При великих обурення поліпшення якості регулювання можливо при створенні додаткового контура регулювання, стабілізуючого тиск палива перед пальником. Регулятор 5, стабілізує тиск палива перед пальником на рівні  $p_0$ , називається стабілізуючим регулятором. Регулятор 6, що виробляє задане значення тиску  $p_0$  в залежності від відхилення температури в печі від заданого її значення  $i$ , називається коректуючих регулятором.

Двоконтурна система автоматичного регулювання (рис. 2.24) називається системою зі стабілізацією проміжної величини, або каскадної системою (один регулятор виробляє завдання іншого). На структурній схемі цієї системи (рис. 2.24, б)  $W_{об}(p)$  - передавальна функція об'єкта регулювання по основному каналу;  $W_{об1}(p)$  (р) - те ж, за допомогою проміжної величини;  $W_{р1}(p)$  (р) - передатний функція стабілізуючого регулятора;  $W_{р2}(p)$  (р) - те ж, коригуючого регулятора. Стабілізуючий регулятор підтримує проміжну величину  $X_1$  на заданому значенні  $x_{10}$ , а коригувальний регулятор встановлює це значення в залежності від відхилення основної регульованої величини від заданого значення  $x_0$ . У каскадній системі два замкнутих контура регулювання: контур стабілізації проміжної величини (тиск перед пальником) і контур регулювання основної регульованої величини (температури в печі), замикаючі через контур стабілізації проміжної величини.

Головною вимогою при створенні каскадних систем є суттєво більшу швидкодію за допомогою проміжної величини, ніж за основним каналу (у прикладі тиск палива перед пальником змінюється багато швидше, ніж температура печі). Ясно, що якщо регулятор-стабілізатор буде швидко відновлювати значення змінилася проміжної величини, то основна регульована величина практично змінюватися не буде.

Існують і інші принципи створення таких систем, званих многоконтурними, наприклад введення в регулятор похідної проміжної величини  $\dot{X}_1$ . Тоді регулятор буде надавати регулюючий вплив при зміні проміжної величини, хоча основна величина ще не змінюється, що призведе до значного поліпшення якості регулювання, зокрема зменшення динамічного відхилення.

Компенсація обурень. Автоматичні системи з регулюванням по возмущенню відносяться до розімкнутих системам і розглянуті в розділі 1. Тут розглянемо застосування принципу компенсації обурення для поліпшення якості перехідних процесів в комбінованій автоматичній системи регулювання.

Розглянемо систему регулювання температури в печі (рис. 2.25, а) за умови сильних коливань тиску газоподібного палива в цехових газопроводі, тобто що працює в тих же умовах, що і система, що зображені на рис. 2.24. Замість контура стабілізації тиск перед пальником можна застосувати розімкнутих контур компенсації обурення (зміни тиску в цехових газопроводі), який через пристрій введення обурення 6 і основний регулятор 4 буде змінювати положення регулюючого органу 7 так, щоб тиск перед пальником не змінювалися.

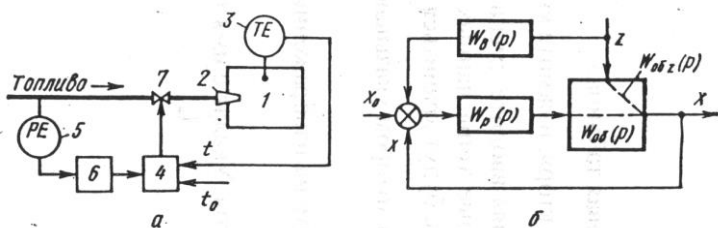


Рис. 2.25 - Комбінована система автоматичного регулювання температури в печі (а) і її структурна схема (б):

1 - піч, 2 - пальник; 3 - датчик

температури; 4 - регулятор температури; 5 - датчик тиску палива в газопроводі; 6 - пристрій введення обурення; 7 - регулюючий орган

Пристрій введення обурення працює за законом, виробленої на основі попередніх досліджень залежності положення регулюючого органу від тиску палива в газопроводі. Система з компенсацією обурення (див. мал. 2.25) вирішує приблизно ту ж задачу, що і система зі стабілізацією проміжної величини (див. рис. 2.24), і дає приблизно такий же ефект у поліпшенні перехідного процесу. Перевагою системи з компенсацією збурень є можливість при правильному виборі закону роботи пристрою введення обурення (рис. 2.25, б) отримати повну незалежність (інваріантність) вихідний величини від підбурює впливу. Інваріантність досягається при передаточній функції пристрої введення обурення

$$W_b(p) = W_{obz}(p) / [W_p(p) + W_{ob}(p)] \quad (2.85)$$

де  $W_{obz}(p)$  - передавальна функція об'єкта регулювання по каналу обурення  $z$ .

Питання для самоперевірки

1. Що називається об'єктом управління?
2. Чим характеризується об'єкт управління?
3. Достоїнства принципу управління за обуренням.
4. При використуванні якого принципу управління виникає зворотний зв'язок?
5. У чому полягає суть комбінованого управління?
6. По яких ознаках здійснюється класифікація систем управління?
7. Що називається елементарною ланкою?
8. Що називається статичною характеристикою?
9. Як діляться ланки по вигляду статичної характеристики?
10. Яка ланка називається астатичною?

11. Що називається динамічною характеристикою?
12. Які бувають види вхідних дій на ланку?
13. Що називається кривою розгону? Які характеристики ланки вона відображає?
14. Що називається передавальною функцією ланки?
15. Як теоретично одержати частотну характеристику ланки?
16. Перерахуйте види частотних характеристик ланки.
17. Перерахуйте і охарактеризуйте типові ланки.
18. Яким чином з'єднуються типові ланки? Які зв'язані між собою передавальні функції і частотні характеристики ланцюжка і вхідних в неї ланок?
19. Що називається регулятором?
20. Що називається алгоритмом (законом) регулювання? Перерахуйте стандартні закони регулювання.
21. Охарактеризуйте типові об'єкти управління.
22. Що розуміється під стійкістю САУ?
23. Як підрозділяються САУ з погляду стійкості?
24. Як визначити стійкість замкнутої системи по її передавальній функції?
25. У яких випадках використовують критерії стійкості?
26. У чому полягає суть алгебраїчного критерію Гурвіца-Раussa?
27. Сформулюйте частотний критерій стійкості.
28. Дайте формулювання критерію стійкості Найквіста і його основних переваг.
29. Як виглядають перехідні процеси, що виникають в системі, що стежить, і системі стабілізації?
30. Перерахуйте і дайте визначення прямих показників якості.
31. З якою метою робиться інженерний розрахунок регулятора, що є початковими даними для розрахунку.
32. Яку інформацію одержує дослідник в результаті розрахунку регулятора?

### **Розділ 3. Методи отримання інформації про параметри технологічних процесів та технічні засоби АСУТП в металургії**

#### **3.1 Засоби одержання, перетворення, переробки, передачі та зберігання технологічної інформації**

У сучасних вимірювальних системах комплексів технічних засобів (КТЗ) АСУТП досить суттєву роль відіграють перетворювачі, призначені для перетворення вимірюваної величини в сигнал іншої фізичної величини (частіше всього в електричний сигнал), зручний для дистанційної передачі по лінії зв'язку до вторинних вимірювальним приладам, засобів регулювання, аналого-цифрові перетворювачі, які використовуються в обчислювальному комплексі АСУТП. Первинний перетворювач встановлюється близько об'єкта вимірювання; він (або його частина) безпосередньо контактує з контрольованою середовищем.

Перетворювачі входять в структуру Державної системи промислових приладів та засобів автоматизації (ДСП). Важливою особливістю сучасних перетворювачів і приладів є уніфікація їх вихідних сигналів, напруги харчування та ін, що забезпечує взаємозамінність засобів вимірювання, зручність централізованого контролю та дозволяє скоротити номенклатуру вторинних вимірювальних приладів. Найбільш перспективним є нормуючі перетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом постійного струму (0 - 5 мА або 4 - 20 мА).

Принцип дії нормуються перетворювачів заснований на компенсації вхідного сигналу негативної зворотним зв'язком, що одержується з виходу підсилювача. В залежності від характеру вхідного сигналу (зусилля, переміщення, електричний або пневматичний сигнал) змінюються лише способи реалізації зворотного зв'язку, однак у всіх випадках вихідний сигнал перетворювача однозначно визначається зворотним зв'язком.

На рис. 3.1 показана структурна схема нормуються перетворювача. Вхідний сигнал  $X_{вх}$  в суматорі 1 алгебраїчних складається з сигналом негативної зворотнього зв'язку; результуючий сигнал суматори 1 посилюється в підсилювачі 2 до величини  $X_u$ . Цей сигнал подається на вхід блоку зворотного зв'язку 3, вихідний сигнал якого  $X_{ос}$  в значній мірі компенсує вхідний сигнал  $X_{вх}$ .

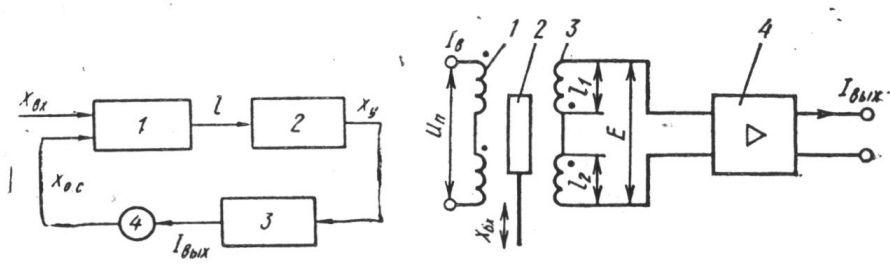


Рис. 3.1 - Структурна схема нормуються перетворювача

Рис. 3.2 - Схема диференціально-трансформаторного перетворювача з

струмових виходом

На рис. 3.2. показана схема вхідного пристрою: диференціально-трансформаторного перетворювача. Перетворювач призначений для перетворення лінійного переміщення сердечника, пов'язаного з чутливим елементом первинного вимірювального приладу, у вихідний електричний сигнал постійного струму. Принцип дії його заснований на залежності взаємної індуктивності обмоток збудження 1 і вторинних обмоток 3 від положення сердечника 2. Обмотки збудження з'єднані між собою послідовно і на них подається напруга живлення змінного струму. Вторинні обмотки включені між собою зустрічній. Створюваний струмом збудження  $I_b$  магнітний потік пронизує обидві секції вторинної обмотки і в останніх наводиться е.д.с.  $E_1$  і  $E_2$ , значення яких залежать від положення сердечника.

У середньому положенні сердечника  $E_1 = E_2$ , тобто результату е.д.с., що дорівнює  $E = E_1 - E_2$ , в цей момент дорівнює нулю. При зміщенні сердечника від середнього положення в ту чи іншу сторону будуть змінюватися значення е.д.с.  $E_1$  і  $E_2$  і на вхід підсилювача 4 буде надходити е.д.с.  $E = E_1 - E_2$ , яка в підсилювачі

посилується і перетворюється в уніфікований сигнал постійного струму  $I_{вих}$ , як показано на схемі рис. 3. 1.

На рис. 3.3 показана схема нормуючого перетворювача для вимірювання зусиль і механічних переміщень.

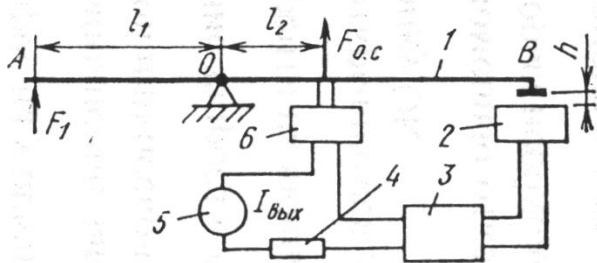


Рис. 3.3 - Схема нормуючого перетворювача для вимірювання зусиль або переміщень

На важіль 1, який може повертатися навколо осі 0, діють моменти зовнішньої сили  $F$  (вхідний сигнал) і компенсує сили  $F_{oc}$ , створюваної вихідним струмом перетворювача  $I_{вих}$ . Важіль 1 в момент появи вхідного сигналу  $F$ , докладені наприкінці А важеля, повертається навколо осі 0. При цьому кінець В важеля 1 наближається до індикатором 2, підключеному на вхід підсилювача 3. На виході підсилювача з'являється струм  $I_{вих}$ , величина якого пропорційна зазор  $h$ . Вихідний струм протікає через резистор навантаження 4, вимірювальний прилад 5 і пристрій зворотнього зв'язку 6, розвиваюче зусилля  $F_{o.c}$ . Рівновагу в системі настане за умови  $Fl_1 = F_{o.c}l_2$ , отсюда  $F_{o.c} = (l_1/l_2)F$ .

Розглянуті перетворювачі володіють тим перевагою, що при їх використанні нелінійність характеристик чутливих елементів практично не впливає на похибка перетворення. Разом з тим, основна похибка перетворення досить велика (0,25 - 1,0%), а кінематичних схеми перетворювачів обумовлюють їх низьку віброустойчивість і експлуатаційну надійність.

Зазначених недоліків позбавлені тензометричні перетворювачі, принцип дії яких ґрунтується на зміні електричного опору проводить матеріалу при його механічної деформації.

Відомо, що опір провідника пов'язано з питомим електричним опором матеріалу, довжиною  $l$  та площею поперечного перерізу  $S$  цього провідника залежністю  $R = (\rho l)/S$ .

При виготовленні та монтажі тензометричні перетворювачі мають такі форму і спосіб кріплення на чутливим елементом, при яких зміна опору  $R$  визначалося б в основному зміною довжини  $l$ .

Тензопреобразователи виконують з металевого дроту, фольги або напівпровідників. В якості матеріалів для виготовлення дротяних і фольгових перетворювачів найчастіше використовують константан, напівпровідникових - кремній чи германій.

Основною характеристикою тензопреобразователей є коефіцієнт тензочувствительності, який визначається як відношення відносної зміни опору до відносному зміни довжини провідника  $K = (\Delta R / R) / (\Delta l / l)$ .

Для дротяних і фольгових перетворювачів цей коефіцієнт лежить в межах 0,5 - 5 для напівпровідникових 50 - 100.

Перетворювач з так званої плоскою ґратами має підкладку 3 (мал. 3.4, а) з тонкої папери, на яку наклеєна плоская решітка 2 з тензочувствительной дроту.



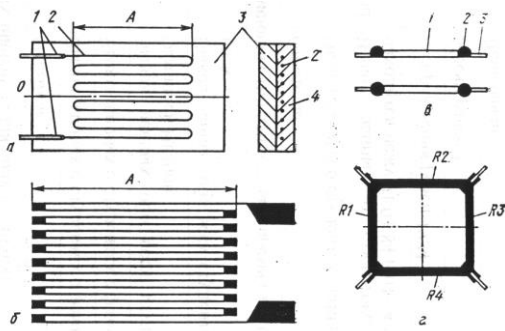


Рис. 3.4 - Тензорезистивні перетворювачі

До кінців дроту приєднані висновки 1 з мідного дроту. Зверху преобразователь покритий шаром лаку 4. Такі перетворювачі мають вимірювальну довжину (базу А) 3 -20 мм, а їх початкове опір 20 -500 Ом.

Фольгові тензоперетворювачі (рис. 3.4, б) представляють собою наклеєні на підкладку тензочуттєву решітку, витравлену з константової фольги товщиною 0,01 - 0,02 мм.

Напівпровідникові тензоперетворювачі виготовляються у вигляді гантелеобразной пластини кремнію 1 (рис. 3.4, в). На кінці пластини наносять контактний шар 2 і приєднують висновки 3.

До переваг таких перетворювачів відносяться висока чутливість і мініатюрність. До недоліків - складність монтажу, сильний вплив температури.

У сучасній вимірювальній техніці одержали поширення напівпровідникові мостові тензорезисторні структури, які представляють собою монолітно з'єднані в схему одинарному мосту напівпровідникові тензорезистори R1, R2, R3 и R4 (рис. 3.4, г). Розміри таких перетворювачів 2 - 6 мм при товщині 20 - 25 мкм. Тротуар тензорезисторная структура у вигляді квадрата є універсальною для пружних елементів, які використовуються в мембранних приладах тиску (прилади типу «Сапфір», «Кристал» і т. п.). Перетворювачі, виконані на основі мостових тензорезисторних структур, є найбільш точними (їх похибка не перевищує 0,1%). Тензопреобразователі наклеюється на деформуючий чутливий елемент (наприклад мембрану) при деформації якого змінюються розміри, а отже, і електричний опір перетворювача. У мостових тензорезисторних структурах вихідний сигнал отримують у вигляді напруги, яке в подальшому посилюється і перетворюється в сигнал постійного струму, пропорційний вимірювання параметрів. Таким чином, у системах автоматики використовуються перетворювачі, що дозволяють перетворювати різні фізичні величини в нормовані сигнали постійного струму: переміщення - струм, зусилля - струм, тиск - струм, е.д.с. - Струм, опір - ток. У пневматичних системах також застосовуються перетворювачі різних фізичних величин в нормованої тиск стисненого повітря (20 -100 кПа). Дистанційна передача сигналів на відстань (наприклад від первинного до вторинного приладу) ґрунтується на використанні двох однакових перетворювачів, що включаються зустрічній. На рис. 3.5 показано використання для дистанційної передачі показань диференціально-трансформаторних перетворювачів, хоча можуть застосовуватися будь-які інші перетворювачі, в тому числі і з струмових сигналом. У первинний прилад 1 вбудований перетворювач 2, положення сердечника якого і, отже, що виробляється е.д.с. E1 залежить від значення вимірюваної величини Xвх. Під вторинний прилад 3 встроєн преобразователь 4, що виробляє е.д.с. E2, що залежить від положення сердечника, переміщуваного електродвигуном 5. При зустрічному  $E = E1 - E2$  надходить наΔувімкненні перетворювачів 2 і 4 різниця е.д.с. підсилювач 6 і після посилення на електродвигун 5, який переміщує сердечник

перетворювача 4 до тих пір, поки е.д.с.  $E_2$  не стане рівною  $E_1$ . Одночасно електродвигун 5 переміщує стрілку покажчика, яка дозволяє при зупинці електродвигуна 5 виробляти відлік за шкалою 7 вторинного приладу, проградуїрованої в одиницях вимірюваної величини.

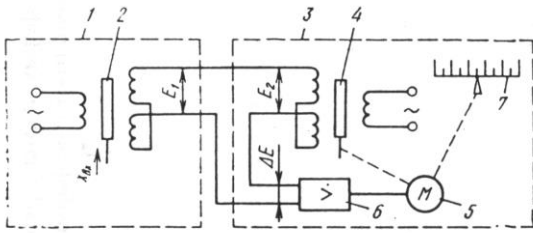


Рис. 3.5 - Схема дистанційної передачі сигналів

### 3.2 Засоби вимірювання тиску газу, рідини і пара

Контроль за перебігом більшості технологічних процесів у металургійному виробництві пов'язаний з вимірюванням тиску або різниці тисків газових і рідких середовищ.

Тиск вимірюють в паскалях (Па), він характеризує нормально розподілену силу (Н), що діє на одиницю поверхні тіла (м<sup>2</sup>). При вимірах розрізняють абсолютний  $p_a$ , надлишковий  $p_r$  і барометричної  $P_b$  тиск. У виробничих умовах зазвичай вимірюють надлишковий тиск, який визначається як різниця між абсолютним і барометричної тиску.

Прилади для вимірювання тиску називаються манометрами. Останні поділяються на барометри, манометри надлишкового тиску, вакуумметри і манометри абсолютного тиску в залежності від вимірюється ними відповідно атмосферного, надлишкового, вакуумметричного або абсолютного тиску. Манометри для вимірювання тиску або розрідження до 40 кПа називаються напоромірами і тягомірами відповідно.

Прилади для вимірювання різниці тисків називають диференціальними манометрами (діфманометрами). За принципом дії розрізняють манометри рідинні, пружинні, мембранні, сільфонні та ін

В простіших рідинних манометра надлишковий тиск або різницю тисків врівноважується силою важкості стовпа рідини. По висоті цього стовпа при відомій щільності рідини можна визначити тиск. Рідинні манометри найчастіше застосовуються як лабораторні прилади при виконанні дослідних робіт. Їх можна використовувати для вимірювання тиску до  $\pm 10$  кПа.

В пружинних манометрах сила вимірюється тиску врівноважується силою пружної деформації чуттєвого елемента (пружини).

Для передачі сигналу, пропорційного вимірюваному тиску, на відстань (іншим технічним засобам) манометри снабжаються електричними або пневматичними перетворювачами. На рис. 3.6 показана схема мембранного манометра. Мембрана 1 закріплена в корпусі 2 манометра і ділить його внутрішню порожнину на дві камери, в одну з яких подається вимірюваний тиск  $p_a$  ( $P_1$ ), а іншу - барометричної  $P_b$  ( $P_2$ ). Під дією різниці тисків мембрана зміщується і через важелі 3 передає зусилля  $F$  важільній системі струмового перетворювача, з підсилювача якого знімається електричний сигнал у вигляді постійного струму  $I_{вих}$ . Цей сигнал пропорційний вимірюваному тиску (або різниці тиску) і може бути поданий на вторинний вимірювальний прилад або інший пристрій.

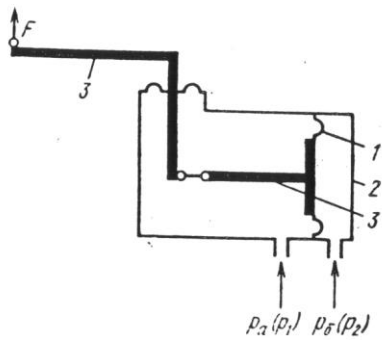


Рис. 3.6 - Схема мембранного манометра

На рис. 3.7 а наведена конструктивна схема мембранного манометра типу «Сапфір» або «Кристал», виконаного на основі напівпровідникових тензометричних структур «кремній на сапфір».

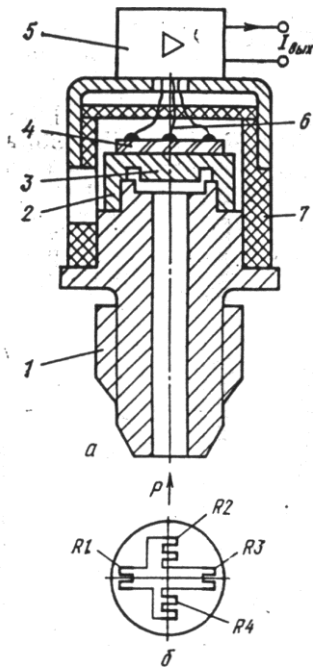


Рис. 3.7 - Манометр з тензорезисторним перетворювачем.

Манометр містить мембрану 2 з титанового сплаву, що має жорсткий центр 3. Підстава мембрани приварені до корпусу 1, який має штуцер для подачі вимірюється тиску  $p$ . До мембрани по всій поверхні приєднано чутливий елемент 4, який представляє собою сапфірову платівку з напиленням кремнієвих резисторів. Топологія тензочувствительного елемента показано на рис. 3.7, б. Тензорезистори з опором  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  і  $R_4$  з'єднані між собою в бруківку схему і з допомогою висновків 6 (мал. 3.7, а) приєднуються до підсилювачі 5, виконаному на інтегральній мікросхемі. Чутливий елемент закритий кришкою 7. Під дією вимірюється тиску відбувається деформація мембрани, а отже, зміна опору тензорезисторів. Оскільки резистори  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  і  $R_4$  з'єднані між собою за мостовий схемою, на виході цієї схеми в результаті деформації мембрани з'являється напруга розбаланса, що надходить на підсилювач. Після посилення напруження розбаланса перетвориться в підсилювачі в постійний струм, пропорційний вимірюваному тиску.

Манометри з тензорезистивними перетворювачами вигідно відрізняються від інших раніше розглянутих приладів тиску швидкодією, віброустойчивістю, високим класом точності не нижче  $(0,10 \div 25)$  і тому знаходять саме широке застосування в схемах АСУГП металургії. Вони можуть бути використані для вимірювання тиску в діапазоні  $5 \text{ Па} \div 100 \text{ МПа}$  по верхньому межі вимірювання.

### 3.3 Засоби вимірювання витрат газоподібних, рідких і сипучих матеріалів.

Витрата - це кількість речовини, що протікає через поперечне перетин трубопроводу в одиницю часу. Масовий витрата вимірюється в  $\text{кг} / \text{с}$  або  $\text{кг} / \text{год}$ , об'ємний в  $\text{м}^3 / \text{с}$  або  $\text{м}^3 / \text{год}$ .

Вимірювальний прилад, котрий використовується для вимірювання витрат речовини, називається витратомірив.

Існує велика розмаїтість методів вимірювання витрат речовини. Для вимірювання витрат газу, рідини і пара знайшли застосування наступні методи:

змінного перепаду, постійного перепаду, динамічного тиску, об'ємний і швидкісний. Найбільше поширення отримав метод змінного перепаду, вимірювання витрати по якому базується на визначенні зміни тиску речовини, що протікає через місцеве звуження в трубопроводі. Місцеве звуження створюється спеціальним звужувальним пристроєм - діафрагма (рідше соплами або трубами Вентурі).

На рис. 3.8 показані стандартні звужувальні пристрої: діафрагма (а) і сопло (б). Діафрагма являє собою тонкий диск 1, встановлений між фланцями 2 в трубопроводі 3 так, щоб його отвір було концентрично внутрішньому контуру трубопроводу. Передня (вхідна) частина отвори має циліндричну форму, а вихідна частина - розширюється конус. Сопло 1 має профільований вхідну частину, яка потім переходить у циліндричний ділянку. Створюваний в звужувальних пристроях перепад тиску  $P_1 - P_2$  вимірюється дифманометром.

Принцип вимірювання полягає в тому, що при протіканні потоку через отвір звужувальних пристроїв підвищується швидкість потоку у порівнянні зі швидкістю до звуження. Збільшення швидкості, а отже, і динамічного тиску викликає зменшення статичного тиску (тобто  $P_2 < P_1$ , рис. 3.8). Різниця тисків  $P_1 - P_2$ , звана перепадом тиску на звужувальних пристроях, залежить від витрати речовини, що протікає через трубопровід.

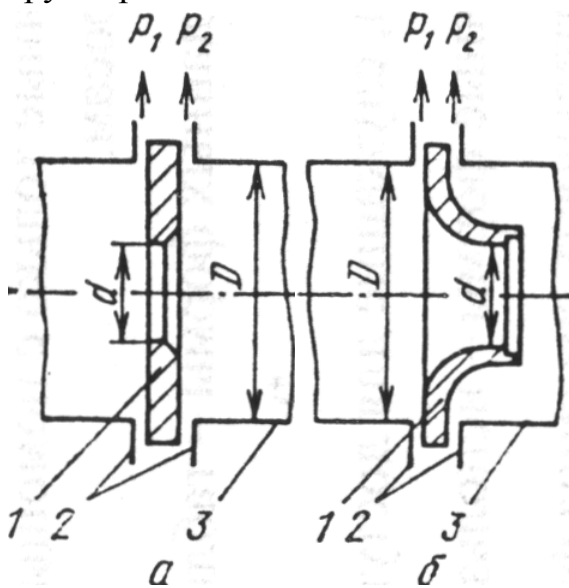


Рис. 3.8 - Стандартні звужувальні пристрої

На рис. 3.9 показаний характер потоку в трубопроводі і наведено графік зміни статичного тиску по його довжині. Витрата речовини є функцією перепаду тиску  $\Delta p' = p'_1 - p'_2$ .

Однак зручніше вимірювати тиск безпосередньо до (P1) і після (P2) звужувальних пристроїв і тому об'ємна витрата речовини визначають за формулою:

$$V_0 = \alpha F_0 \sqrt{2(p_1 - p_2) / \rho}, \quad (3.1)$$

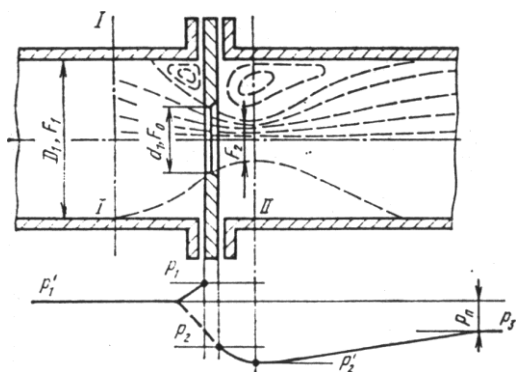


Рис. 3.9 - Характер потоку і розподіл статичного тиску в звужувальних пристроях

где  $\alpha$  - коефіцієнт витрат, що враховує перехід від використання перепаду  $\Delta p' = p'_1 - p'_2$ , до перепаду  $\Delta p = p_1 - p_2$ , нерівномірність розподілу швидкостей в перерізах потоку, коефіцієнт звуження потоку  $\mu = F_2/F_0$  і залежить від модуля звужує пристрої  $m = \mu/F_1$ ;  $\varepsilon$  - і коефіцієнт, що враховує розширення потоку після звужує пристрої;  $\rho$  - щільність речовини.

Якщо витрата вимірюють в масових одиницях (кг / с або кг / год), то вираз (3.1) приймає вигляд

$$V_m = \alpha \varepsilon F_0 \sqrt{2(p_1 - p_2) \rho} \quad (3.2)$$

З характеру розподілу статичного тиску (див. рис. 3.9) видно, що встановлення звужуючого пристрою викликає так звані неповоротні втрати тиску  $p_p$ , які можуть досягати значних значень. Причому, чим більше ці втрати, тим вище похибка вимірювання витрат методом змінного перепаду. Менші втрати і, отже, більшу точність вимірювання забезпечують сопла та сопла Вентурі.

При практичних вимірах величини  $\alpha$ ,  $\varepsilon$  і  $\rho$  не залежать від витрат і формули витрат беруть досить простий вигляд

$$V_0 = K_0 \sqrt{\Delta p}; \quad V_m = K_m \sqrt{\Delta p} \quad (3.3)$$

де  $K_0$  і  $K_m$  - постійні коефіцієнти.

Таким чином, для вимірювання витрат речовини (газу, рідини або пари) досить виміряти перепад тиску на звужуючій пристрої, а витрати обчислюються по формулі (3.3).

У датчика витрати (діфманометрах) розрахунок за формулами (3.3) проводиться автоматично і вихідний сигнал пропорційний витраті речовини (а не перепаду тиску). Датчиком витрати (діфманометром) може бути мембранний прилад з перетворювачем, в якому передбачено вилучення квадратного кореня з значення перепаду тиску, а вихідний сигнал  $I_{вих}$  пропорційний витраті.

У ряді випадків датчик перепаду тиску працює в комплекті з вторинним приладом (без нормують перетворювача) і операція добування квадратного кореня здійснюється в цьому приладі. Сигнал про витрати речовини для системи регулювання може бути отриманий в цьому випадку зі спеціального вторинного нормують перетворювача, вбудованого у вторинний прилад.

На рис. 3.10 показана схема вимірювання витрат за допомогою мембранного діфманометра-витратоміра в комплекті з вторинним приладом. Перепад тиску  $\Delta p$ , знімається з звужуючій пристрої 1, сприймається діфманометром 2 і врівноважується силою пружної деформації мембрани 3.

При рівності сили, створюваної різницею тисків  $P_1 - P_2$ , силі пружної деформації мембрани сердечник диференціально - трансформаторного перетворювача 4, встановлюється в певний стан, при якому е.д.с.  $E_1$  змінного струму на його виході буде пропорційна виміром перепаду тиску.

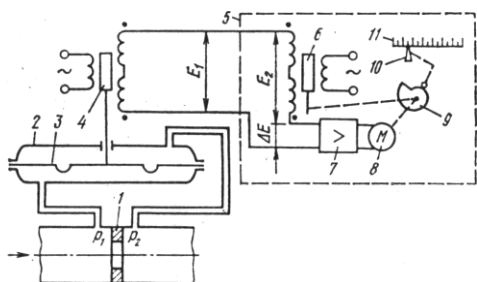


Рис. 3.10 - Схема вимірювального витратомірного комплексу

Ця е.д.с. знімається з е.д.с. E2 перетворювача 6. Е наводить на підсилювач 7, який керує вторинного приладу 5 та їх різниця реверсивним двигуном 8. Електродвигун через профільний кулачок 9 переміщує Е не стане рівним нулю тобто Δсердечник перетворювача 6 до тих пір, поки сигнал до моменту, коли  $E1 = E2$ . Одночасно через кулачок рух від двигуна передається покажчики 10. Завдяки кулачки 9 проводиться вилучення квадратного кореня з значення перепаду тиску, отже, переміщення вказівника 10 пропорційно витраті речовини та шкалу 11 вторинного приладу можна отградуировать в одиницях витрати V.

У формули для визначення витрати речовини входить його щільність, тому підсумкові формули (3.3) дають досить точний результат, коли щільність речовини дорівнює розрахункової. Для газів даного хімічного складу щільність залежить від тиску та температури і, якщо вони відрізняються від розрахункових значень, то для отримання точного результату необхідно вводити відповідні поправки. Існують дифманометри-витратоміри, в яких корекція (поправка) на відхилення температури і тиск газів від розрахункових значень вводиться автоматично. Вимірювання витрат газу з корекцією по його температурі і тиску застосовується в тих випадках, коли до точності пред'являються підвищені вимоги, наприклад, при визначенні витрат кисню в конвертері.

Розглянута схема вимірювання витрат знаходить широке застосування для контролю витрат неагресивних газів і рідин (природного газу, повітря, технічної води).

Схеми вимірювання витрат кисню відрізняються від наведеної на рис. 3.10 тільки тим, що в лінії зв'язку між звужують пристроєм і первинним вимірювальним приладом включаються так звані розділові судини, або мембрани, що запобігають попадання кисню (агресивного по відношенню до більшості металів) до металевих вузлів дифманометра.

На рис. 3.11 наведена схема вимірювання витрат в'язких середовищ. Основним вузлом схеми є спеціальне вимірювальне сопло 2, що дозволяє вимірювати витрата в'язких рідин (зокрема, мазуту). Сопло об'єднано в одному корпусі 1 з двухсілфонним компенсаційним дифманометром. Перепад тиску на звужує пристрої 2, викликаний протікає рідиною, передається через канали 3 та 4, перетворюється двома сілфонами 5 і 6 в зусилля, яке сприймається важелем 7.

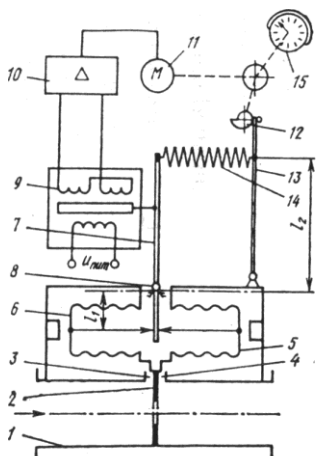


Рис. 3.11 - Схема вимірювання витрат в'язких рідин

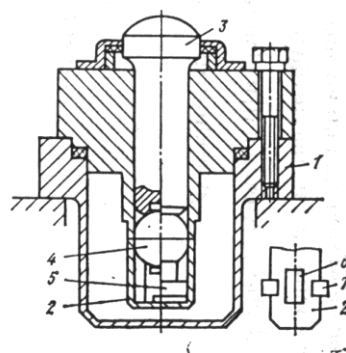


Рис. 3.12 - Конструкція месдозы ваговимірювального пристрою (а) положення тензодатчиків на стакані (б)

При повороті важеля на деякий кут щодо осі 5 плунжер диференціально-трансформаторного перетворювача 9 зміщується від нейтрального положення і на вхід підсилювача 10 надходить сигнал, пропорційний перепаду тиску  $P_1 - P_2$ . Посилена напруга приводить в обертання двигун 11, який переміщує лекала 12, відхилять важіль 13 і розтягуючи пружину 14. При цьому плунжер повертається у вихідне (нейтральне) положення. На загальній осі з лекалами знаходиться покажчик отсчетного пристрою 15, повертатися одночасно з лекалами. Профіль лекала вибрано таким, щоб його кут повороту, відображений на шкалою, був пропорційний витраті.

Для визначення кількості газу або рідини під вторинні прилади вбудовуються лічильники (суматори, інтегратори), які показують сумарну кількість речовини, що пройшло через перетин трубопроводу за час від початку відліку до даного моменту. Суматори можуть бути виконані й у вигляді окремих приладів.

Для вимірювання кількості (маси) твердих та рідких речовин в ємностях застосовуються Ваговимірювальні пристрою (ваги). Найпростішими ваговимірювальних пристроями є важільні ваги.

Для зважування великих кількостей речовини, наприклад вагонів з вантажем, ковшів з рідким металом на стендах або на мостових кранах, проміжних ковшів машин безперервного лиття заготовок застосовуються Ваговимірювальні пристрої з тензорезистивними або магнітоупругіми чутливими елементами.

На рис. 3.12 зображена конструкція чутливого тензорезистивного елемента - месдози. У корпусі 1, який спирається на плиту ваговимірювального пристрою, встановлений стакан 2 з опорними стрижнем 3. Зважується ємність, наприклад, проміжний ківш МБЛЗ, спирається на куль поверхню стрижня і зусилля від його ваги через шар 4 та вкладиш 5 передається на дно склянки (в ваговимірювальної пристрої може використовуватися кілька месдоз). Нижня частина склянки збільшується пропорційно докладаємо максимум зусиль (сила важкості ковша). На зовнішній бічній поверхні нижній частині стакана 2 приклеєні дві пари фольгових тензодатчиків - одна з них 6 (робоча) наклеєна з двох сторін склянки паралельно осі і при наявності зусилля (розтягування склянки) електричний опір цієї пари змінюється. Інша пара тензодатчиків 7 (компенсаційна) розташована перпендикулярно осі склянки та її опір практично не залежить від розтягування склянки. Пари тензодатчиків включаються в протилежні плечі вимірювального моста, показання якого будуть пропорційні докладені зусилля (силі важкості ковша), а наявність компенсаційних тензодатчиків 7 забезпечує незалежність цих свідчень від температури навколишнього середовища.

У магнітоупругих чутливих елементах є магнітопроводи, магнітна проникність яких залежить від доданого зусилля (вимірюється ваги). Струм в обмотці елемента служить мірою вимірюється зусилля (сили тяжіння матеріалу). Застосування тензорезистивних і магнітоупругих чутливих елементів дозволяє одержувати електричний сигнал, пропорційний силі важкості матеріалу і тому здійснювати дистанційну передачу показань на вторинний прилад або до іншого елемента системи автоматичного управління.

У системах дозування сипучих матеріалів застосовуються весоізмєрителі безперервної дії. Схеми таких важільні весоізмєрителєй показано на рис. 3.13.

Вісовимірювачі таріруються на певний вага (силу важкості) матеріалу, з допомогою врівноважують вантажу  $G$ . Для передачі показів на відстань використовуються диференціально-трансформаторні перетворювачі (рис. 3.13, а, б) або магнітоупругий датчик (рис. 3.13, в). Похибка зважування на описаних вісовимірювачах становить  $\pm 1,0\%$ .

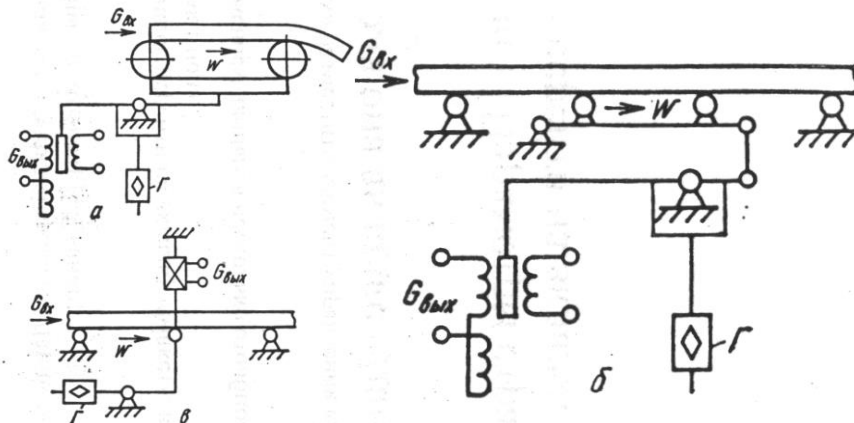


Рис. 3.13 - Вісовимірювачі безперервної дії:  
а - стрічковий; б - ЛТМ; в - з магнітоупругім датчиком.

Первинні вимірювальні прилади тиску і витрати речовини випускаються бесшкальними. Для отримання інформації про вимірюваних параметрів вони снабжаються перетворювачами. Сучасні первинні прилади тиску (МП, МС-Е, МП-Е, «Сапфір» та ін) і витрати (ДМ-ЕР, ДС-ЕР, «Сапфір» та ін) в залежності від використовуваного в них перетворювача мають на виході уніфікований сигнал у вигляді постійного струму (0 - 5 мА або 4 - 20 мА) або напруги постійного струму (0 - 10 мВ; 0 - 100 мВ або 0 - 10 В). У зв'язку з уніфікацією вихідного сигналу в комплекті з приладами тиску і витрати застосовуються уніфіковані вторинні вимірювальні прилади типу КСУ, КПУ, КВУ, серії А (А502, А542 і ін) агрегатованого системи АСЕКР.

Прилади типу КСУ, КПУ, КВУ та серії А будуються за прогресивному блочно-модульним 0,5-принципом і мають клас точності 0,25

### 3.4 Засоби вимірювання температури

Температура - найважливіший параметр технологічних і теплотехнічних процесів у металургії. Вона характеризує ступінь нагрітою тіла. У металургійному виробництві досить широкий діапазон контрольованих температур і різні умови їх вимірювання.

Одиницею вимірювання температури є коливань (К); допускається вимірювати температуру в градусах Цельсія ( $^{\circ}\text{C}$ ).

З усього різноманіття методів вимірювання температури і вимірювальних засобів в металургії широке поширення одержали термометри опору, термоелектричні термометри, пірометри випромінювання. Перші два різновиди датчиків використовуються для контролю температури охолоджуючої води, підігрітим газів і повітря, що надходять до пальникових пристроїв, відхідних



продуктів згоряння, футеровки агрегатів, рідких металів і шлаку і ін. Пірометри знайшли застосування для вимірювання температури насадок регенератори, робочого простору та склепіння мартенівських печей, рідких металу і шлаку та ін.

Принцип дії термометрів опору заснований на здатності металів або напівпровідникових матеріалів змінювати електричний опір зі зміною температури. Для виготовлення чутливих елементів термометрів застосовуються мідна, платинова або нікелевих дрiт.

Для термометрів з міді і нікелю опір  $R_t$  з температурою  $t$  змінюється лінійно

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (3.5)$$

де  $R_0$  - температурний опір термометра при  $0^\circ \text{C}$ ; коефіцієнт опору дроту.

Діапазон вимірюваних температур для них  $200 \div -200^\circ \text{C}$ .

Діапазон вимірюваних температур для платинових термометрів становить  $+650^\circ \text{C} \div -260^\circ$

Напівпровідникові термометри опору, які називають термістори, застосовуються в діапазоні температур  $-90 \div +180^\circ \text{C}$ . Чутливі елементи виготовляються з оксидів міді, марганцю, нікелю, кобальту та інших металів. Опір термісторів змінюється залежно від температури по експоненційного закону.

Конструктивні схеми чутливих елементів промислових термометрів опору наведено на рис. 3.14. Чутливий елемент платинового термометра (рис. 3.14, а) виконується у вигляді спіралі 2, поміщеної в двох-або чотирьохканальний керамічний чохол 1. До кінцях спіралі припаяні висновки 4, за допомогою яких елемент підключається до вимірювальних приладів. Каркас 1 герметизується спеціальної глазур'ю 3.

Чутливий елемент мідного термометра являє собою обмотку 2 з тонкої дроту, покритій зовні захисної хлорвінілової стрічкою 1. До обмотці припаяні висновки 3. Чутливий елемент міститься в захисний металевий або керамічний чохол (рис. 3.14, в), що закінчується; головкою 2 з клемою для підключення до вимірювальних приладів. На об'єкті вимірювання термометр встановлюється за допомогою штуцера 1 або іншим способом.

В якості вторинного вимірювального приладу в комплекті з термометра опору застосовуються автоматичні вимірювальні мости або вторинні вимірювальні прилади з уніфікованим входним сигналом (типу КСУ, КПУ, КВУ, серії А, типу ДИСК-250). Якщо термометри опору використовуються в комплекті з вторинними приладами, що мають уніфікований вхід, то між термометром і вторинним приладом включається спеціальний нормують преобразователь «опір - ток», який перетворює електричний опір термометра в уніфікований струмовий сигнал ( $0 - 5 \text{ мА}$  або  $4 - 20 \text{ мА}$ ). Досить широко у комплекті з термометра опору застосовуються так звані врівноваженим вимірювальні мости.

В основу роботи врівноважених мостів покладений нульовий метод вимірювання електричного опору. Прилад являє собою одинарний міст, що складається з двох постійних резисторів, одного змінного резистора (реохорда) і термометра опору. В одну діагональ моста подається напруга живлення, у другому (вимірювальну) включається вимірювальний прилад або підсилювач (якщо міст

автоматичний). Міст знаходиться в рівновазі, коли твір опорів протилежних пліч рівні між собою. Якщо міст не врівноважені, то різниця потенціалів між вершинами вимірювальної діагоналі надходить на вимірювальний прилад (нуль-прилад) і стрілка останнього відхиляється від нульового положення. Переміщуючи повзунки реохорда, домагаються встановлення стрілки нуль-приладу на нульову позначку. Таким чином, положення повзунка реохорда в момент рівноваги моста служить Метой температури, вимірювань термометром опору.

У автоматичних мостах у вимірювальну діагональ включається фазочувствительний підсилювач, а повзунки реохорда забезпечується приводом у вигляді реверсивного електродвигуна, включається на вхід підсилювача.

На рис. 3.15 наведена принципова схема автоматичного врівноваженого моста. У стані рівноваги моста  $(R_1 + r_1) R_t = (R_2 + r_2) R_3$ ; при цьому напруга в вимірювальній діагоналі  $cd$  моста дорівнює нулю. На вхід підсилювача сигнал не надходить і реверсивні електродвигун  $M$  неподвижен.

Зі зміною температури вимірюваного середовища змінюється опір термометра  $R_t$ . Міст виходить з рівноваги і на вхід підсилювача надходить напруга розбаланса, під дією якого двигун почне обертатися в ту чи іншу сторону, переміщуючи повзунки реохорда  $R_p$  і покажчик приладу. Повзунки переміщається до тих пір, поки зміна опорів реохорда не скомпенсує зміну опорів термометра. У цей момент проводиться відлік показань за шкалою приладу (в градусах).

У комплекті зі стандартними термометрами опору використовуються автоматичні мости типу КСМ, КІМ і КВМ, що мають клас точності 0,25 - 0,5. Прилади типу ДИСК-250 і РП160 також використовуються в якості вторинних приладів для роботи з термометрами опору і відрізняються від автоматичних мостів універсальністю: на їхню вхід можна підключати різні перетворювачі (з струмових виходом, термометри опору, термоелектричні термометри, пірометри випромінювання та ін.)

Первинним Перетворювачі термоелектричні термометра служить Термопара, що складається з двох різновидних провідників 1 і 2 (рис. 3.16). Принцип дії термопари заснований на термоелектричному ефекті, полягає в тому, що в замкнутій ланцюга з двох різновидних провідників виникає електричний струм, якщо місця з'єднання (спай) провідників мають різну температуру.

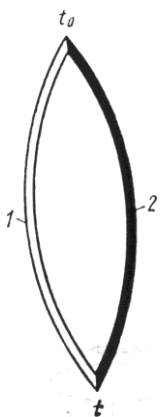


Рис. 3.16 - Термоелектричний ланцюг з двох різновидних провідників

Спай з температурою  $t$  називається гарячим або робітником, а спайом з більш низькою (зазвичай постійною) температурою  $t_0$  - холодним або вільним. Термоелектричний ефект пояснюється наявністю в металі вільних електронів, число яких в одиниці об'єму різний для різних металів. Якщо припустимо, електрони дифундує з провідника 1 в провідник 2, то перший в спаях з температурами  $t$  і  $t_0$  заряджається позитивно, а другий - негативно. Між провідниками 1 і 2 виникає різниця потенціалів - термоелектродвигуюча сила (т.е.д.с).

$$E_{12}(t_0, t_0) = e_{12}(t) - e_{12}(t_0), \quad (3.6)$$

де  $e_{12}(t)$  - різниця потенціалів при температурі  $t$ ;

$e_{12}(t_0)$  - то же, при температурі  $t_0$ .

Таким чином, результат т.е.д.с.  $E(t, t_0)$  буде залежати від температур  $t$  і  $t_0$ .

На практиці температуру  $t_0$  підтримують постійною, тому  $E(t, t_0) = f(t)$ . Для термопар, що використовуються в промисловості, залежність т.е.д.с.  $E(t, t_0)$  від вимірюваної температури  $t$  знаходять експериментально і таким чином отримують можливість судити про вимірюваної температурі за величиною т.е.д.с.

У комплект термоелектричною термометра входять Термопара і вторинний прилад (пірометричеській міллівольтметр або автоматичний потенціометрів), включає в розрив провідників 1 і 2 в точці з температурою  $t_0$ .

Термопари стандартних термоелектричних термометрів виготовляють з дроту чистих металів або сплавів діаметром 0,5 - 3,2 мм. В залежності від матеріалів дроту розрізняють наступні термопари: хромель-алюмелевие (ТХА) з діапазоном вимірюваних температур 200 - 1000 ° С; платінородій (10% родія) - платинові (ТПП) 20-1300 ° С; платінородій (30% родія)-платінородіевие (6% родія) (ТПР) 300 - 1600 ° С; вольфрам-реніевие до 2500 ° С та ін При короткочасних вимірах верхня межа температур збільшується на 200 -300 ° С.

На рис. 3.17 показаний один з варіантів захисної арматури термопари. З метою захисту спаяна 1 від механічного і хімічного впливу середовища термопар поміщають в захисний металевий або керамічний чохол 4 з голівкою 6, армуючої керамічними бусами 3 і засипають вогнетривким порошком 5. Робочий Спайом занурюють у захисний ковпачок 2.

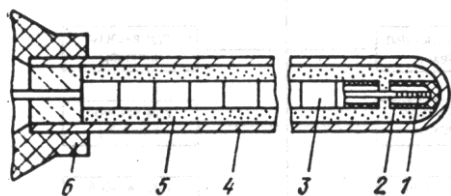


Рис. 3.17 - Захисна арматура термопари

На рис. 3.18 показана установка термопари для вимірювання температури газової або рідкої середовища в трубопроводі. Термопара 1 за допомогою фланців 2 кріпиться на штуцер 3, привареном до трубопроводу 4. Щоб запобігти відтоку газу вздовж чохла термопари між фланцями встановлюється прокладка 5

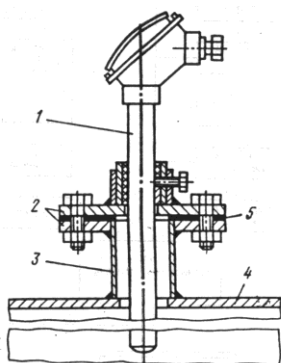


Рис. 3.18 - Схеми встановлення термопари на трубопроводі

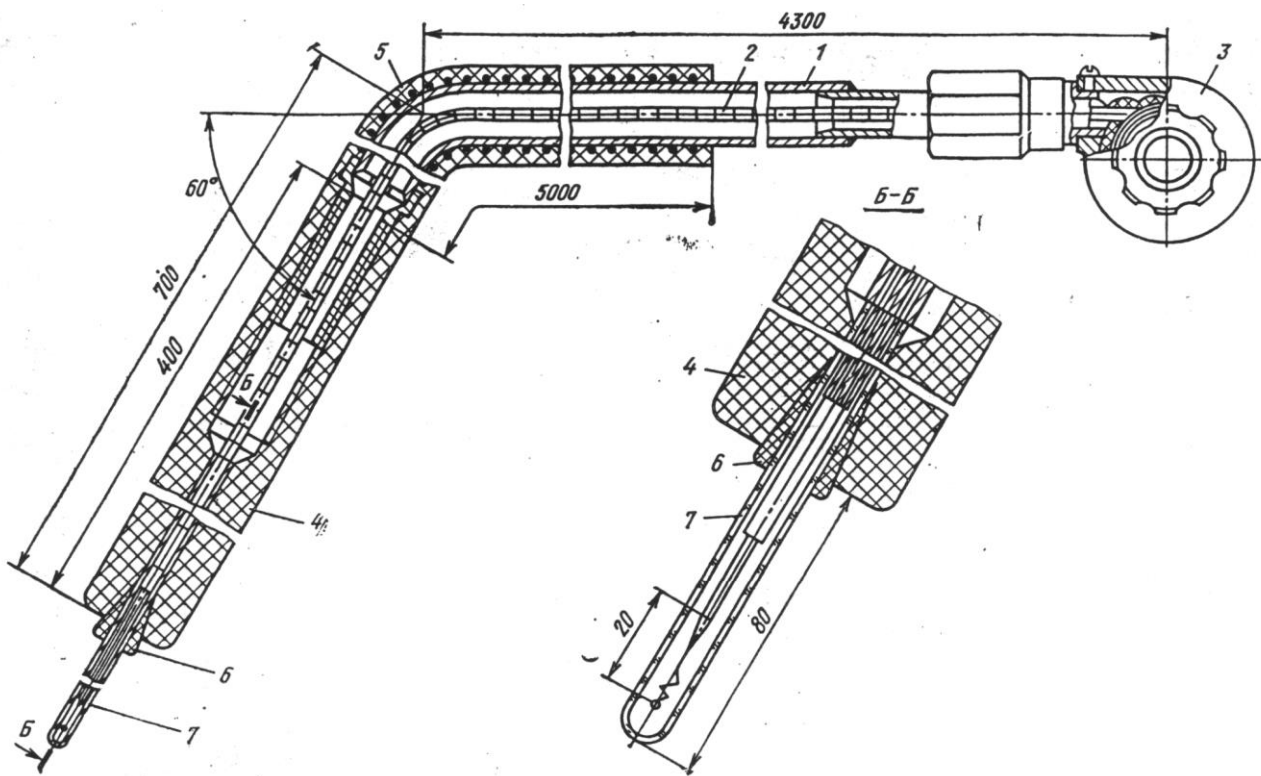


Рис. 3.19 - Термопара кратковременного занурення

Для визначення температури рідких металів і шлаків застосовують термопари короткочасного і тривалого занурення. Термопари короткочасного занурення (рис. 3.19) складаються з сталеві труби 1, через яку протягнуть армовані керамічних ізоляторів термоелектроди 2, смативаєміє по мірі їх витрачання з бухти 3, вогнетривкої обмазки 5 і графітового блоку 4. У торієць блоку з допомогою графітової пробки 6 встановлюється кварцовий наконієчник 7, в якому розміщується робічий Спайом термопари; наконієчник розрахований на одне занурення (20-40 сек).

Термопари тривалого занурення відрізняються від термопар, наведених на рис. 3.19, тим, що термоелектроди містяться в захисну водоохлаждаємую Фурма, яка вводиться в рідкий метал через горловину конвертера або задню стінку (для мартенівських печей) на час від декількох хвилин до декількох годин. Робічий Спайом цих термопар захищається зовнішнім наконієчником з кварцу або діборіда цирконію та внутрішнім наконієчником з алунда з засипку між ними порошку оксиду алюмінію. В якості термоелектродов в термопари використовується платінородієвая або вольфрамрениєвий дріт.

Пірометри випромінювання відносяться до безконтактних датчиків температури. В основу роботи пірометрів покладений принцип використання теплового і світлового випромінювання нагрітих тіл.

Промієниста енергія виділяється нагрітим тілом у вигляді хвиль різної довжини. При температурах до 500 °С нагріте тіло випромінює інфрачервоні промені, які не сприймаються людським оком. По мірі підвищення температури тіла колір від темно-червоного доходить до білого, що містить хвилі всіх сприймаємо оком длин. Одночасно з підвищенням температури тіла і зміною його кольору

зростає інтенсивність монохроматического випромінювання (яскравість), т. е. випромінювання при певній довжині хвилі, а також збільшується сумарне випромінювання (світлове і теплове). Монохроматичне і сумарне (повне) випромінювання використовуються для вимірювання температури нагрітих тіл і у відповідності з цим пірометри випромінювання поділяються на пірометри часткового та повного випромінювання.

Інтенсивність монохроматического і сумарного випромінювань, крім температури, залежить від фізичних властивостей речовин. Тому шкали приладів, що працюють в комплекті з пірометрії, градуіруються по випромінювання абсолютно чорного тіла, ступінь. Реальні фізичні тіла випромінюють енергію менш інтенсивно, ніж абсолютно чорні, т.я. у них  $0 < \epsilon < 1$ . У зв'язку з цим пірометри випромінювання показують так звану позірну температуру, тобто показання пірометрів зазвичай занижені щодо дійсної температури контрольованого тіла. Отже, потрібно введення відповідних поправок на ступінь чорноти реального тіла.

Залежність між інтенсивністю монохроматического випромінювання абсолютно чорного тіла і його температурою виражається законом Планка.

У загальному випадку пірометр випромінювання складається з первинного датчика, вторинного перетворювача та вимірювального приладу.

На рис. 3.20 показані спрощені схеми датчиків пірометрів часткового (а) і повного (б) випромінювання.

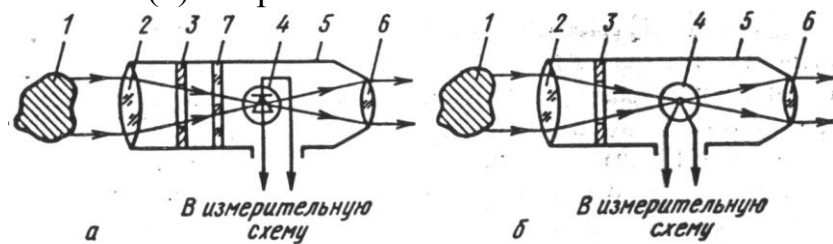


Рис. 3.20 - Датчики пірометрів випромінювання

Випромінювання від нагрітого тіла 1, пройшовши через об'єтив 2 і діафрагму 3, потрапляє на чутливий елемент 4, який, поглинаючи енергію випромінювання, виробляє пропорційний їй, а, отже, і температурі електричний сигнал (напруга). Цей сигнал надходить у вимірювальну схему (вторинний перетворювач і вторинний вимірювальний прилад, градуйованому в градусах Цельсія). В якості чутливого елемента в пірометри часткового випромінювання використовуються фотодиоди, фоторезистори і т.п., в пірометри повного випромінювання - термобатарей, що складається з декількох послідовно з'єднаних мініатюрних термопар. Для виділення із загального спектру випромінювання певної довжини хвилі застосовується кольоровий светофільтр 7 (див. рис. 3.20, а). Окуляр 6 служить для зручності візування пірометр на тіло 1. Всі елементи датчика розміщуються в корпусі 5.

До пірометри часткового випромінювання відносяться оптичні, фотоелектричні й колірні, (спектрального відносини) пірометри. Принцип дії оптичних та фотоелектричних пірометрів заснований на порівнянні інтенсивності монохроматического випромінювання нагрітого тіла і еталонної пірометрической лампи розжарювання.

У ручних оптичних пірометри типу ОППР та «Промінь» порівняння інтенсивностей випромінювання виробляється оком спостерігача. За допомогою об'єктива і окуляра пірометр отримують чітке зображення нитки розжарювання на

тлі об'єкта. Далі, змінюючи силу струму в пірометричеськой лампі за допомогою реостата, добиваються при червоному светофільтре збігу інтенсивностей випромінювання об'єкта та нитки розжарювання - нить як би «зникає» на тлі об'єкта. Відлік температури здійснюється за шкалою міллівольтметра в градусах.

У пірометри часткового випромінювання ФЕП, «Смотрич» (комплексу АПР-С) порівняння інтенсивностей випромінювання нагрітого тіла та лампи розжарювання здійснюється автоматично з використанням фотоелемента; в пірометри з первинним перетворювачем ПЧД (комплекс АПР-С) випромінювання нагрітого тіла сприймається чутливим елементом (фотодіодів, фоторезистором), перетворюється в уніфікований сигнал (0 - 5 мА, 4 - 20 мА або 0 - 100 мВ) та фіксується вторинним приладом, шкала якого розмічено в градусах.

У колірних пірометри, інакше пірометри Спектраль - ного відносини «Спектропір», «Веселка» (комплексу АПР-С), температура визначається по відношенню інтенсивностей випромінювання нагрітого тіла для двох заздалегідь обраних довжин хвиль  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$

Пірометри повного (інтегрального) випромінювання носять назву радіаційних пірометрів. Випускаються пірометри з пірометричеськімі перетворювачами ППТ різних типів агреатованого комплексу стаціонарних пірометричеських перетворювачів і пірометрів випромінювання АПР-С.

Різні типи пірометрів випромінювання дозволяють вимірювати температуру в інтервалі 30 - 6000 ° С. Крім ступеня чєрноти тіла на точність вимірювання сильно впливає проміжна середовище (пил, дим, пара і т.п.) між нагрітим тілом і датчиком. Тому при вимірі температури кладки в деяких випадках датчик, візується на денце так званого калільного склянки, вмонтованого в кладку

В якості вторинних вимірювальних приладів з термопарі і пірометрії використовуються міллівольтметри, автоматичні потенціометрів або прилади з уніфікованим вхідним сигналом.

Міллівольтметри не відрізняються високою точністю вимірювання і тому використовуються досить рідко, наприклад, при вимірюванні температури відхідних продуктів згоряння, температури охолоджуючої води і т. п.

При використанні з термопарі або пірометрії вторинних приладів з уніфікованим входом (типу КСУ, КПУ, КВУ або серії А) між первинним перетворювачем і вторинним приладом обов'язково встановлюється проміжний перетворювач, який перетворює т.е.д.с. термопарі або сигнал пірометр в уніфікований сигнал.

Найширше розповсюдження для роботи в комплекті з термопарі і з деякими модифікаціями пірометрів випромінювання отримали автоматичні потенціометрів. Принцип дії потенціометрів полягає в тому, що вимірювана т.е.д.с. (або напруга) врівноважується рівним їй за величиною, але зворотним по знаку напругою допоміжного джерела струму, яке потім вимірюється з великою точністю.

На рис. 3.21 показана схема автоматичного потенціометрів, виконаного у вигляді моста постійного струму, напруга вимірювальної діагоналі якого компенсує вимірюємо т.е.д.с.  $E_x$  (або напруга). Плечима мостовий схеми потенціометрів служать постійні резистори R1, R2 и R3, виконані з манганінової дроту, резистор Rm, виготовлений з мідного дроту і призначений для автоматичного введення

поправки на температуру холодних спаев термопари, і змінний резистор  $R_p$  (реохорд). У діагональ  $ab$  моста увімкнено джерело стабілізованої напруги ІПС. Напруга  $U_{cd}$ , знімає з вимірювальної діагоналі  $cd$ , включено з вимірюваної т.е.д.с. так, що на вхід вібропреобразователя ВГТ надходить різностний сигнал  $E_x - U_{cd}$ . Перетворювач призначений для перетворення напруги постійного струму в напругу змінного струму.

При зміні вимірюваної температури на вхід підсилювача подається напруга розбаланса  $E_x - U_{cd}$ , яке посилюється в ньому до величини, достатньої для приведення в дію реверсивного електродвигуна. Останній за допомогою кінематичної зв'язки керує переміщенням повзунка реохорда і вказівника приладу. Двигун знаходиться в роботі до тих пір, поки не наступить стан рівноваги схеми. У момент рівноваги т. е.д.с.  $E_x$  дорівнює падіння напруги, знімаємо з діагоналі  $cd$ , тобто падіння напруги на ділянці  $das$ .

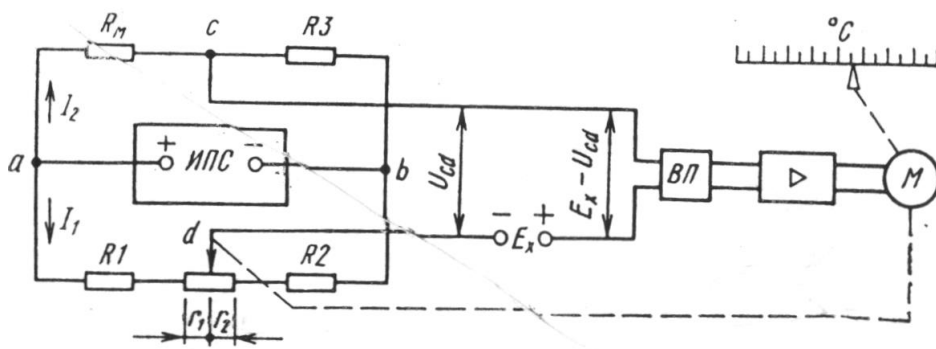


Рис. 3.21 -  
Електрична схема  
автоматичного  
потенціометрів

У момент  
рівноваги  
двигун  
зупиняється і за  
шкалою приладу можна  
відлічити значення

вимірювань температури.

Сучасні автоматичні потенціометрів типу КСП, КПП, КВП, ДИСК-250 та інші мають клас точності 0,25 - 0,5.

### 3.5. Засоби визначення хімічних розчинів чавуну, сталі і газів, окислювання металу

Хімічний склад металу і шлаку в процесі плавки зазвичай визначається в експрес-лабораторії хімічним шляхом. Проби на аналіз відбираються з сталеплавильне ванни та Пневмопшта доставляються в лабораторію. Такі елементи як С, S, P визначаються в кожній пробі металу. Проби шлаку аналізуються на зміст  $SiO_2$ , САТ, FeO та інші складові. Час на отримання результатів аналізу досягає 10 хв і більше, що неприпустимо при сучасної інтенсивності плавки в мартенівських печах і, особливо, в кисневих конвертера. Тому більш прогресивним методом аналізу є метод з використанням спектрометрів, що дозволяють виконувати аналіз за 1÷2 хв.

Процес спектрометричних аналізу складається з наступних послідовних операцій:

- 1) перетворення аналізованого речовини в газову фазу;
- 2) пониження тиску газової фази аналізованого речовини;
- 3) перетворення молекул аналізованого речовини в позитивні іони (зазвичай шляхом «обстрілу» їх електронах з великою енергією);

- 4) формування іонного пучка за допомогою електростатичного поля;
- 5) розподіл іонного пучка по масам в магнітному або електричному полі;
- 6) уловлювання та реєстрація іонів, що відбуваються окремо для кожної масової складової іонного пучка (запис мас-спектра);
- 7) розшифровка мас-спектру, тобто визначення шуканих концентрацій за допомогою певних обчислювальних операцій, що виробляються з окремими піками на мас-спектрах.

При вимірі спектрометрії використовується основний фізичний параметр речовини - маса молекули або атома. В умовах глибокого вакууму молекули або атоми аналізованого речовини іонізуючої з утворенням позитивно заряджених іонів, які, отримавши прискорення в електричному полі, поділяються за своїми масам в магнітному полі. Сума електричних зарядів рухомих іонів утворює іонний струм. Вимірювання іонного струму, створюваного частками тієї чи іншої маси, дозволяє судити про концентрації частинок в загальному складі аналізованого речовини.

Переважне застосування отримали спектрометри з розділенням іонів в однорідному магнітному полі (рис. 3.22). У іонізаційній камері 1, що знаходиться під глибоким вакуумом, вводиться аналізована газова суміш.

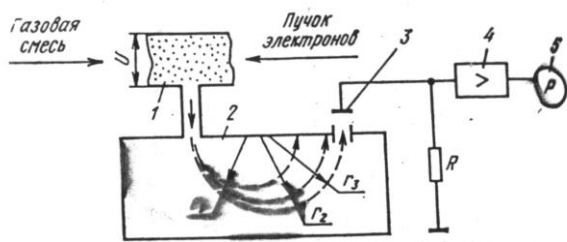


Рис. 3.22 - Схема спектрометра

Молекули газу бомбардують пучком електронів, що утворюються при цьому позитивні іони, що володіють однакою позитивним зарядом  $e$ , але різної масою  $m$  (для різних компонентів), мають незначну початкову енергію. Під дією електричного поля, обумовленого доданою до стінок іонізаційної камери різницею потенціалів  $i$ , іони отримують прискорення і вилітають з певною швидкістю через щілину в камеру 2 аналізатора, де діє однорідне магнітне поле з вектором напруженості  $H$ , спрямованим перпендикулярно площині малюнка. В залежності від величин  $H$ , та  $i$  відносини тобто різні іони опишуть траєкторії різних радіусів  $r_1$ ,  $r_2$  і  $r_3$  і т. д. При постійних  $H$ , і  $i$  в вихідну щілину камери 2 і далі на колектор 3 попадають тільки іони з певним значенням  $m$ . Іонний струм створює на резисторі  $R$  певне падіння напруги, яка через підсилювач 4 подається на вимірювальний прилад 5.

Змінюючи напруженість магнітного поля або різниця потенціалів, можна направити на колектор іони різних мас (іони різних компонентів) і записати на діаграмі вимірювального приладу криву з піками, відповідними іонів певної маси. Висота окремих піків, пропорційна іонному струму, що проходить через резистор, характеризує концентрацію компонентів аналізованого речовини.

Для експрес-аналізу вмісту вуглецю в металі знаходять застосування пристрої, засновані на залежності термоелектродвигучої сили, що виникає в ланцюзі з двох різнорідних металів або сплавів, від їх природи і властивості. З метою підвищення точності визначення вмісту вуглецю пробу сталі, відбираються по ходу плавки, піддають загартуванню, при цьому основний структурної складової проби є Мартенсом, тобто твердий розчин вуглецю в альфа-залізі. У таких бінарних



розчинах між вмістом вуглецю і т.е.д.с. існує лінійна залежність. Пристрій працює на принципі вимірювання величини т.е.д.с. проби сталі в парі з елементом порівняння - залізом армко.

В останні роки одержали поширення пристрої для визначення вмісту вуглецю в рідкій сталі по температурі ліквідус. Принцип дії таких пристроїв заснований на залежності температури кристалізації рідкого металу від вмісту в ньому вуглецю. Концентрація вуглецю визначається за градуіровочним кривим або таблиць, які складені на основі діаграми стану залізо - вуглець.

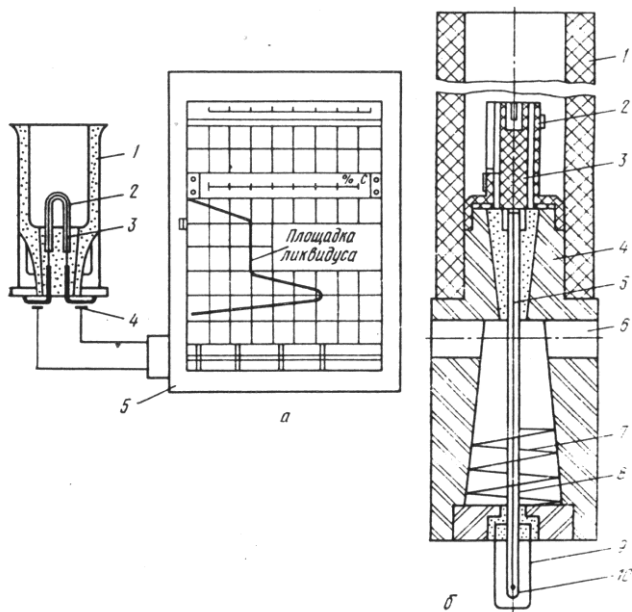


Рис. 3.23 - Схеми пристрою визначення вмісту вуглецю по температурі ліквідус (а) та комбінованого датчика (б)

Рідка сталь вручну заливається в пробницю 1 (рис. 3.23, а), в денце якої є сменная Термопара 3 в захисному кварцовий трубці 2. Термопара за допомогою роз'ємів 4 підключається до вимірювальні прилади 5, шкала якого градуйованому у відсотках вуглецю. У процесі затвердіння металу в пробнице на діаграмі приладу, фіксується майданчик ліквідуса, положення якої визначається

вмістом вуглецю в пробі. Точність визначення вмісту вуглецю  $\pm 0,03\%$ , тривалість вимірювання 10 -15 с.

У конвертерному виробництві стали широко використовуються комбіновані датчики (рис. 3.23, б), що дозволяють вимірювати температуру ванни конвертера, визначати вміст вуглецю в ванні по температурі ліквідус та отримувати пробу металу для хімічного і спектрометричних аналізів без припинення продувки і повалкі конвертера.

Датчик вводиться в робочий простір конвертера за допомогою вимірювальної водоохолоджуваної фурми (зонду) і складається з захисної паперової гільзи 1 і запресованих в неї вимірювальної головки. Головка містить платінородій-платинову термопар 5 з двома робочими спаями, яка кріпиться до пластмасової колодка 3 з трьома контактними висновками 2. Спайом термопар, призначений для вимірювання температури ванни, захищений кварцовим чохлам 10 і розташований поза корпусу головки; Спайом, котрий використовується для вимірювання температури ліквідус розташований всередині корпусу в кварцовим капіляри 8. У бічній стінці головки для проходу рідкого металу є два отвори 6, закриті тонкими сталевими кришками, які запобігають затікання шлаку при зануренні у ванну конвертера. Кварцовий капіляри 8 кріпиться верхньою частиною в керамічній пробнице 4. Наконечник 10 захищений металевим ковпачком 9, розплавляються в рідкому металі. У пробницю поміщається алюмінієва дрiт 7 для розкислення проби металу.

Для контролю хімічного складу газів широко використовуються автоматичні газоаналізатори. У металургії найбільше поширення отримали газоаналізатори на  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2$  і  $CH_4$ .

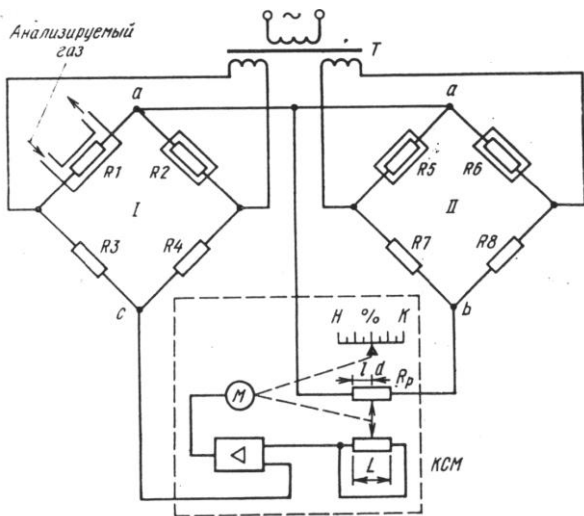


Рис. 3.24 - Схема термокондуктометричного газоаналізатора

На рис. 3.24 показана принципова схема автоматичного газоаналізатора, принцип дії якого заснований на вимірі теплопровідності газової суміші (термокондуктометричні газоаналізатори). У цих приладах чутливий елемент - нагрівається

електричним струмом платинову нитка обвиває аналізованих газова суміш, теплопровідність якої залежить від вмісту в ній визначається компонента. При зміні теплопровідності суміші змінюється тепловіддача від нитки до газового потоку, а отже, температура нитки та її електричний опір. Величина опору однозначно пов'язана з концентрацією вимірюється компонента, так як, якщо теплопровідність одного компонента газової суміші значно перевершує теплопровідність інших компонентів, то зміна теплопровідності суміші практично буде визначатися зміною концентрації компонента, що має більшу теплопровідність.

Такі гази як  $H_2$  і  $CO_2$  значно відрізняються по теплопровідності від основних компонентів промислових газів -  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$  та ін. Отже, кондуктометричні газоаналізатори можуть бути використані для визначення вмісту  $H_2$  або  $CO_2$  у газовій суміші.

Схема газоаналізатора складається з двох неуравнованих мостів - робочого I і порівняльного II, питомих від двох вторинних обмоток одного й того ж трансформатора. Чутливий елемент R1 - платинова спіраль, знаходиться у відкритій скляній ампулі і омивається аналізованою газовою сумішшю. Чутливі елементи R2, R5 і R6 поміщені в закриті скляні ампули, заповнені порівняльним газом, в якості якого в залежності від меж вимірювання застосовують азот або суміш того чи іншого складу. Склад газу в камерах R2 і R6 відповідає початку шкали приладу, у камері R5 - кінця шкали. Напряга в вимірювальній діагоналі моста II завжди постійно і частина його (між точками a і d) використовується для компенсації напруги в вимірювальній діагоналі ас мосту I.

При вмісті аналізованого компонента в газовій суміші, що відповідає початковій позначці шкали газоаналізатора, міст I урівноважений, тобто  $U_{ac} = 0$ , і показчик приладу знаходиться на початку шкали. Зі зростанням концентрації аналізованого компонента міст I виходить зі стану рівноваги і в діагоналі ас виникає напруга розбаланса, яке виявляється некомпенсованим напругою, знімаємо з вимірювальної діагоналі моста II. На вхід підсилювача надходить різниця напруг  $U_{ac} - U_{ad}$  і двигун М переміщує движок реохорда  $R_{\rho}$  до тих пір, поки ця різниця не

стане рівною нулю. Термокондуктометрические газоаналізатори випускаються типу ТП і призначені для визначення в газових сумішах змісту  $H_2$  або  $CO_2$ . Межі вимірювання в залежності від модифікації приладу можуть бути від часток до десятків відсотків, аж до 100% (об'ємн.). Прилади ТП широко використовуються, наприклад, для контролю вмісту  $H_2$  в колошніковом газі. У комплекті з газоаналізатора типу ТП використовуються вторинні прилади, виконані на базі автоматичних мостів типу КСМ.

У так званих магнітних газоаналізатора концентрація визначається компонента вимірюється по зміні магнітних властивостей газової суміші. Газоподібний кисень по своїм магнітним властивостям відрізняється від інших промислових газів: він належить до парамагнітним газів, тобто володіють властивістю втягуватися в магнітне поле.

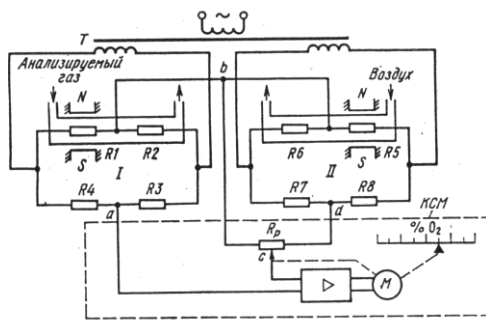


Рис. 3.25 - Схема магнітного газоаналізатора

Такі компоненти газової суміші як  $CH_4$ ,  $H_2$  і  $N_2$  мають у десятки і сотні разів меншу магнітну сприйнятливості порівняно з киснем. Отже, концентрація кисню практично однозначно визначає магнітну сприйнятливості газової суміші. З підвищенням температури магнітна сприйнятливості кисню знижується.

Принцип дії газоаналізатора на кисень розглянемо на прикладі газоаналізатора типу МН, схема якого наведено на рис. 3.25. Первинний перетворювач (приймач) газоаналізатора являє собою компенсаційно-бруківку схему, що складається з двох мостів - робочого I і порівняльного II. Мости живляться від вторинних обмоток трансформатора Т. Резистори  $R_1$  і  $R_2$  мосту I являють собою платинові спіралі, омивається аналізований газом. Два інших чутливих елемента  $R_5$  і  $R_6$  розміщені в камерах порівняльного мосту II і омиваються повітрям. Резистори  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_7$  і  $R_8$  є постійними і виконані з манганінової дроту. Чутливі елементи  $R_1$  і  $R_5$  знаходяться в магнітному полі та нагрітих протікає по ним струмом до температури  $200^\circ C$ .

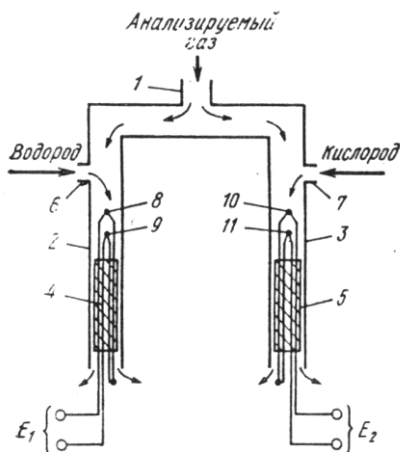
При відсутності кисню в аналізованому газі мости I і II знаходяться в рівноважному стані і на вході підсилювача вторинного приладу; виконаного на базі автоматичного моста КСМ, сигнал дорівнює нулю. При появі кисню в газі частинки кисню втягуються в поле магніту і резистор  $R_1$  охолоджується, а кисень нагрівається від резистора  $R_1$  і його магнітна сприйнятливості знижується. Холодний газ виштовхує нагрітий, створюючи потік магнітної конвекції. Чим вище концентрація кисню в газі, тим сильніше охолоджується резистор  $R_1$ , тим більшою мірою міст I виходить з рівноважного стану і в діагоналі  $ab$  мосту I з'являється напруга розбаланса. Це напруга порівнюється з напругою в вимірювальній діагоналі  $bd$  мосту II, яке завжди постійно, так як концентрація кисню в повітрі є стабільною. Під дією різниці напруг  $U_{ab} - U_{cb}$ , підсиленою підсилювачем вторинного приладу, двигун М починає обертатися і переміщує движок реохорда  $R_p$  до тих пір, поки  $U_{ab}$  не стане рівним  $U_{cb}$ . У момент рівноваги за шкалою вторинного приладу проводиться відлік показань.

Прилади МН застосовуються, зокрема, для визначення концентрації технічного кисню, що використовується при продуванні рідкого металу в конвертера і мартенівських печах. Межі вимірювання приладів МН 0,5 - 100% O<sub>2</sub>.

Досить широке поширення в металургії отримали так звані оптико-акустичні газоаналізатори типу АТ. Принцип дії цих аналізаторів заснований на селективного поглинання різними газами інфрачервоного випромінювання; величина поглинання залежить від складу газу. При поглинанні інфрачервоних променів температура газу підвищується, внаслідок чого підвищується і його тиск в замкнутому обсязі. Якщо опромінення газу інфрачервоними променями виробляти переривчастих, то зміна тиску буде носити пульсуючий характер. Впливаючи цим пульсуючих тиском на мембрану мікрофона можна отримати е.д.с, пропорційну змісту аналізованого компонента в газовій суміші.

Аналізатори типу АТ випускаються для визначення вмісту CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>. Часто вони застосовуються для визначення концентрації CO та CO<sub>2</sub> у колошніковом газі. Межі вимірювання так само, як у аналізаторів МН, самі різні й залежать від модифікації приладу.

Рис. 3.26 - Схема газоіндикатора ТЕФЛОКС



Для аналізу відхідних газів металургійних агрегатів застосовуються спеціалізовані швидкодіючі газоіндикатори ТЕФЛОКС. У сучасних АСУТП вони знайшли застосування для визначення концентрації O<sub>2</sub> і CO + H<sub>2</sub> в відхідних газах кисневих Конвертерів, двухванних мартенівських печей. Погрешность визначення вмісту кисню і горючих компонентів в газі не перевищує 0,5%, а швидкодія газоіндикатора 5 -10 с.

Принцип роботи індикатора ТЕФЛОКС розглянемо за схемою рис. 3.26. Проба аналізованого газу безперервно надходить у штуцер 1. Розгалужена на два потоки, газ направляється в трубки 2 і 5 до термоелементів 4 і 5. Через штуцери 6 і 7 в ці потоки підмішують додаткові реагенти - водень і кисень. Витрати цих реагентів обрані такими, що в робочому діапазоні концентрацій спаї 8 і 9 термоелементів 4 омиваються газом з надлишком водню, а спаї 10 і 11 термоелементів 5 - газом з надлишком кисню.

Кожен з термоелементів містить дві хромель-алюмініві термопари і призначений для перетворення вимірюваних величин (концентрацій відповідно O<sub>2</sub> і CO + H<sub>2</sub>) в е.д.с. постійного струму. На робочі спаї так званих активованих термопар 9 та 11 нанесені сильнодіючі каталізатори; завдяки яким горіння H<sub>2</sub> і CO починається при 200 ° С. Дві інші термопари з робочими спаями 5 і 10 - температурах близько 100 називаються компенсаційними. Трубки 2 і 3 занурені в електричну піч. Температура нагріву газу в трубках 300 ° С.

Термоелемент 4 працює в такий спосіб. Спайом 8 його компенсаційною термопари завжди має температуру омиваються газу. Тому е.д.с. E<sup>1</sup> цієї термопари практично не залежить від складу газу і дорівнює щодо постійною величиною E<sub>01</sub>, що відповідає температурі газу. При отсутствии в пробі кислорода горіння на

катализаторе рабочего спая 9 не происходит и активированная термопара развивает э.д.с.  $E_1$  також рівну  $E^0$ . Активовані і компенсаційна термопари включені зустрічній між собою, тому е.д.с. на їх вихід

$$E_1 = E'_1 - E''_1. \quad (3.6)$$

При відсутності горіння е.д.с.  $E_1$ , розвивається термоелементів 4, дорівнює нулю  $E_1 = E'_1 - E''_1 = 0$ .

Поява в аналізованій газі кисню призводить до розвитку реакції горіння на поверхні катализатора спаяна. 9. Спайом розігривається і е.д.с.  $E_1$  активованою термопари зростає. З достатнім ступенем точності збільшення температури спаяна та е. д. с.  $E_1$  пропорційно концентрації кисню:

$$E'_1 = E^0_1 + k_1 O_2, \quad (3.7)$$

де  $k_1$  - коефіцієнт пропорційності;  $O_2$  - концентрація кисню в пробі.

Після підстановки виразу (3.7) у формулу (3.6) з урахуванням того, що,  $E''_1 = E^0_1$  отримаємо

$$E_1 = E^0_1 + k_1 O_2 - E^0_1 = k_1 O_2 \quad (3.8)$$

З виразу (3.8) випливає, що термоелементів 4 є аналізатором газу на кисень, що виробляють е.д.с, пропорційну утримання в пробі кисню.

Термоелемент 5 працює аналогічно термоелементів 4. Е.д.с.  $E''_2$  його компенсаційною термопари також дорівнює постійною величиною  $E^0_2$ , що визначається нагріванням газу в трубці 3. Поверхнєве горіння на катализаторі спаяна виникає при появі в пробі горючих компонентів - оксиду вуглецю і (або) водню.

У комплекті з газоіндикаторами використовуються автоматичні потенціометрів, шкали яких градуйованому в%  $O_2$  і  $(CO + H_2)$ .

Окислених є важливим технологічним показником, що визначає надалі якість сталі і витрата раскислителей. В останні роки в сталеплавильних агрегатах здійснюють контроль окислених металу в процесі доведення. Визначення окислених здійснюється за допомогою активометров з використанням твердоелектролітних датчиків.

Принцип дії активометра заснований на вимірюванні е.д.с, яка виникає в концентраційному по кисню гальванічному елементі з твердим електролітом з  $ZrO_2$  або  $Al_2O_3$ , що володіє іонної производимой по кисню, при зануренні його в рідку сталь. Ця е.д.с. пропорційна температурі сталі і різниці логарифма активностей (концентрацій) вільного кисню в сталі і елементі порівняння.

Одна з конструкцій активометра наведена на рис. 3.27. Твердий електроліт у формі наконечника 7 з  $ZrO_2$  розташований всередині кварцевого захисного чохла 3. Електрод порівняння 9 - залізовуглецевих сплавів (чавун) з відомою постійної концентрацією кисню ОСР вміщується всередину наконечника 7. Графітовий стрижень 8 слугує токос'ємника. В чохлі 3 також розміщена Термопара 6 безперервного контролю температури рідкої сталі, захищена алундовим наконечником 5 і засипання 4 з глинозему. Вся конструкція з допомогою азбестових ущільнення 2 кріпиться в водохолоджуваний фурмі 1.

При зануренні пристрою в ванну утворюється гальванічний елемент: графітовий електрод / залізовуглецевих сплав - ОСР // твердий електроліт  $ZrO_2$  // рідкий метал - [O] / фурма.

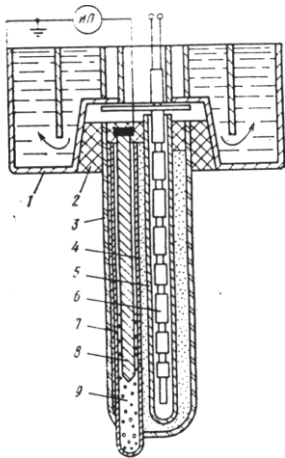


Рис. 3.27 - Датчик окислених рідкого металу і безперервного контролю температури

Оскільки ОСР - постійна-концентрація кисню в електроді порівняння, то показання ВП будуть визначатися значенням концентрації кисню в ванні [O] і шкалу приладу можна проградуїровать в величинах концентрації (активності) кисню в розплаві.

### 3.6 Засоби вимірювання лінійних розмірів прокату.

Широкий асортимент прокату, великі швидкості прокатки, високі температури, а також сильні вібрації та ударні навантаження висувають високі вимоги до приладів для вимірювання геометричних розмірів прокату. Підвищені вимоги до точності продукції, яка прокачується зумовили створення автоматичних безперервно діючих приладів для безконтактного вимірювання розмірів металу в процесі прокатки.

У більшості випадків прилади для зміни геометричних розмірів прокату є вузькоспеціалізованими, призначеними для вимірювання, як правило, тільки одного якого-небудь параметра: товщини листового прокату, товщини стінки труб і полиць широкополочних балок, ширини і довжини прокату, діаметру труб та дроту, товщини покриттів та ін

Більшість приладів, які застосовуються для контролю розмірів прокату, засноване на використанні електромагнітного ядерної, рентгенівського та оптичного випромінювання, що дозволяють проізувати вимірювання без механічного контакту з контрольованою середовищем і практично незалежно від зовнішніх умов - температури, тиску, вологості, агресивності середовища.

3.6.1 Вимірювання товщини листа методом поглинання. У листопрокатного виробництві для автоматичного безконтактного вимірювання товщини листа методом поглинання використовуються два види електромагнітного випромінювання: рентгенівське і ядерне, що різняться між собою довжиною хвилі (рентгенівські промені мають діапазон довжин хвиль  $\lambda = 0,1 \div 5$  нм, ядерне випромінювання - менше 0,1 нм).

Фізична сутність методу поглинання виражається законом ослаблення рентгенівських і ядерних випромінювань при проходженні їх через речовина:

$$J = J_0 \exp(-\mu \rho \delta) \quad (3.9)$$

де  $J$  — інтенсивність потоку електромагнітного випромінювання на виході з матеріалу, Вт/м<sup>2</sup>;

$J_0$  - вихідна інтенсивність потоку випромінювання (потік на вході), Вт/м<sup>2</sup>;

$\mu$  — коефіцієнт поглинання матеріалу, м<sup>2</sup>/кг;

$\rho$  — щільність матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;

$\delta$  — товщина матеріалу, м.

Значення  $\mu$  практично однаково для ряду хімічних елементів, тому ослаблення випромінювання залежить від товщини матеріалу і його щільності. Таким чином, вимірюючи інтенсивність ослаблення рентгенівського або ядерного випромінювання при постійній щільності контрольованого матеріалу, можна визначити його товщину.

При здійсненні способу поглинання необхідно мати доступ до контрольованого матеріалу з двох сторін: на одній стороні поміщають випромінювач, на іншій - лічильник для реєстрації випромінювання. В якості джерела рентгенівського випромінювання застосовують рентгенівські трубки, а в якості джерела ядерного випромінювання радіоактивні ізотопи стронцію <sup>90</sup>St цезію <sup>137</sup>Cs, туллія <sup>170</sup>Tm, таллія <sup>204</sup>Tl. В якості приймачів випромінювань (детекторів) використовуються іонізаційні камери і сцинтиляційні лічильники.

І На рис. 3.28 представлена принципова схема рентгенівського товщиноміра (типи ІТХ-6170, ІТХ-7140, ІТГ-5680), заснованого на вимірі ослаблення інтенсивності іонізуючого випромінювання при проходженні його через метал. У схемі використані два джерела випромінювання: робочий 1 і компенсує 2, які генерують рентгенівське випромінювання в різні полуперіоди живлячої мережевого синусоїдальної напруги. Випромінювачі посилають по черзі імпульси випромінювання в приймач 3. Випромінювання робочого джерела проходить через контрольовану смугу 4, клин коректора «нуля» 5 і подстроєчний зразок 6, а випромінювання компенсуючого джерела - через компенсуючий клин 5 і підлаштовану пластину 7 певної товщини і з того ж металу. Для вимірювання інтенсивності рентгенівського випромінювання застосовують сцинтиляційні лічильники, які складаються з кристалу йодистого натрію, активованого таллієм NaI (Тl), і фотоумножителя. Приймач 3 перетворює імпульси рентгенівського випромінювання в електричні імпульси. Імпульси на виході приймача залежать від ступеня ослаблення інтенсивності відповідного пучка рентгенівського випромінювання. У блоці 9 виробляється різностний сигнал - сигнал рассогласованія, напруга якого, посилене підсилювачем 10, впливає на реверсивні електродвигун 11, який повертає клин 5 до тих пір, поки не врівноважить сигнали на вході приймача випромінювання. Кут повороту компенсуючого клина служить мірою товщини вимірюється металу. Переміщення компенсуючого клина за допомогою слідкуючого пристрою пов'язано зі стрілкою показувати і самопішущого

приладу 12, шкала якого градуйованому в долях міліметра.

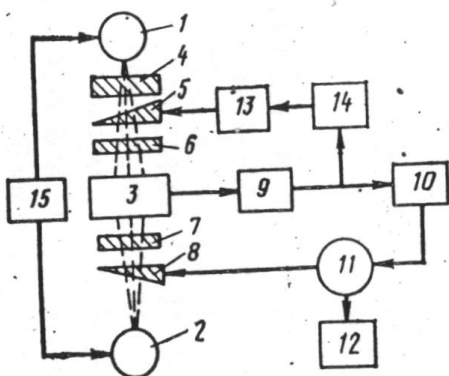


Рис 3 28 - Схема рентгенівського товщиноміра

Для введення поправки в показання приладів при вимірюванні товщини смуг різного хімічного складу та температури служить блок 13, за допомогою якого автоматично через ключ 14 вводиться корекція «нуля», впливаючи на клин 5

(проводиться під час пауз, коли смуга відсутня). Вказаний ток рентгенівських трубок робочого і компенсуючого джерел підтримується регулюючим пристроєм 15. Перемикання вимірника товщини з одного діапазону на інший здійснюється за допомогою набору подстроечних пластин 7, а також введенням або виведенням подстроечного зразка 6.

Вимірювальний блок рентгенівського товщиномір типу ІТГ-5680 призначений для вимірювання сталевий смуги товщиною до 12 мм при температурі смуги до 1200 ° С. Вимірювальні блоки товщиномір ІТХ-6170 і ІТХ-7140 працюють при температурі смуги до 150 ° С і призначені для вимірювання товщини смуги до 6 мм.

Рентгенівські товщиномір володіють високим швидкодією (0,06-0,1 с) і точністю в межах  $\pm 1\%$  від вимірюваної товщини. Тому, незважаючи на складність установки, вони застосовуються дуже широко.

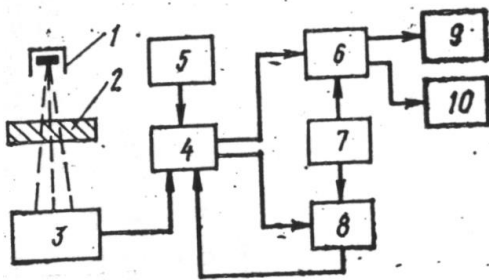


Рис 3.29 - Функціональна схема товщиномір типу цифра

На рис. 3.29 представлена функціональна схема  $\gamma$ -товщиномір типу цифра, призначеного для безперервного безконтактного вимірювання товщини сталевий смуги в процесі гарячої прокатки.

Принцип дії цього приладу заснований на вимірюванні -випромінювання, що проходить через контрольований лист. В якості поглинання -випромінювання використовується радіоактивні ізотопи цезію-137Cs,  $\gamma$ джерела детектором служить сцинтиляційних лічильник, що складається з кристалу NaI (Т1) -випромінювання від джерела 1 проходить черезуі фотоумножителя. Потік вимірюється лист 2 і падає на детектор 3. Детектор випромінювання перетворює -випромінювання в електричний сигнал, який у вигляді напруги надходить наупотік вхід вимірювальної схеми 4. Далі сигнал проходить по двох каналах. По одному каналу сигнал, пропорційний вимірюваної товщині, через запам'ятовуючий пристрій 6 видається на світлове табло 9. Результат вимірювання реєструється цифро-друкувальних механізмом 10 зі швидкістю до двох вимірів на секунду. По другому каналу у вигляді змінної напруги сигнал надходить у дешифратор регулювання 8, за допомогою якого встановлюється компенсація в блоці вимірювання. Діапазон вимірювання задається блоком 5. Управління настроюється блоком 7.

Вимірювальна головка товщиноміра монтується на візку, що переміщуються по рейках, і може працювати при температурі контрольованого листа до 1300 ° С.

На рис. 3.30 представлена функціональна схема радіоізотопною товщиноміра, призначеного для безперервного безконтактного вимірювання товщини сталевий смуги в процесі холодної прокатки. Принцип дії такого приладу заснований на вимірюванні поглинання радіоактивного випромінювання, що проходить В якості джерела  $\beta$ -випромінювання використовується радіоактивні ізотопи 90Sr, а в якості детектора випромінювання - диференціальна іонізаційним камера. Потік радіоактивного випромінювання від основного джерела 2 проходить через контрольований лист 1 і потрапляє на одну половину 3 дифференциальной



іонізаційний камери. В другу її половину 4 потрапляє випромінювання від компенсаційного радіоактивного джерела випромінювання 5. Порівняння величини випромінювання від джерела 2 з величиною компенсуючого потоку від джерела 5 здійснюється за допомогою вимірювання виникає напруги постійного струму на навантажувальні опорі включеного послідовно з збирав електродом дифференціальної іонізаційний камери. Це напруга того чи іншого знака далі посилюється і надходить на вимірювальний прилад. Для підвищення точності вимірювання в приладі використана компенсаційна схема, в якій реверсивні двигун 8, включений на виході підсилувача 7, переміщує шторку 6 компенсаційного джерела випромінювання 5 до моменту настання компенсації струмів іонізаційним камер, при цьому сигнал на опорі R буде відсутній. Кут повороту шторки за допомогою слідкуючого пристрою передається на показує прилад 9.

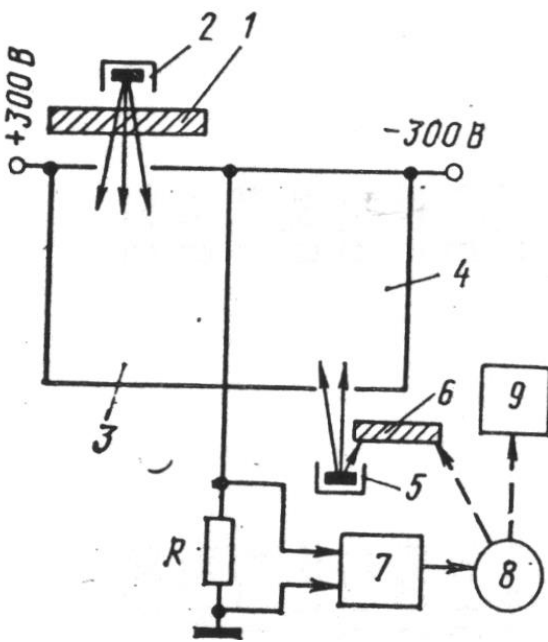


Рис. 3.30 - Функціональна схема товщиноміра

Радіоізотопні вимірювачі товщини смуги в процесі холодної прокатки (типи ІТ-5465 та ІТ-5555) вимірюють товщину на майданчику діаметром 25 мм при мінімальній ширині вимірюваної смуги 55 і 30 мм. Діапазон вимірювання складає 0,02 - 1 мм, похибка вимірювання  $\pm 1 - 1,5\%$  від вимірюваної товщини

Радіоізотопні прилади простіше в експлуатації, мають менші габарити і дешевше рентгенівських, однак по швидкодії вони значно поступаються останнім.

3.6.2. Визначення товщини методом розсіювання. Для вимірювання товщини листа, труб, стінок різних виробів, коли доступ до об'єкта контролю можливий тільки з одного боку, використовують метод відбитого розсіювання  $\gamma$ -Промені, що потрапляють в речовину, розпливається електронах атомів, що входять до складу даного матеріалу. При цьому інтенсивність зворотного розсіювання змінюється в залежності від числа електронів у атомів і від товщини речовини. Так як для ряду матеріалів число електронів пропорційно щільності, то при прокатці металу з однаковою щільністю по розсіювання  $\gamma$ -променів можна робити висновок про товщині цих матеріалів.

На принципі розсіювання працює відбивної переносний товщиномір ТОР-1. Вимірювання товщини цим приладом здійснюється шляхом реєстрації зворотного розсіювання  $\gamma$ -випромінювання, інтенсивність якого пропорційна товщині.

Функціональна схема відбивної товщиномір ТОР-1 зображена на рис. 3.31. При опроміненні контрольованого об'єкту 1 джерелом випромінювання 2 частина відображених  $\gamma$ -променів потрапляє в кристал сцинтиляційних лічильника 3,

викликаючи світлову спалаху. Фотоелектронний помножувач 4 перетворює ці спалаху в електричні імпульси. Останні підсилюються в усилителя 5-7, перетворюються і потім реєструються вимірвальним приладом 8. Живлення електричної схеми здійснюється від стабілізатора напруги 9 і перетворювача 10.

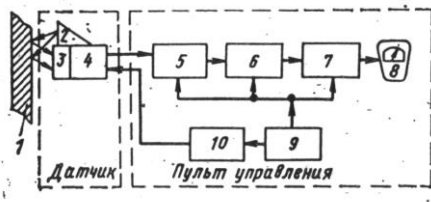


Рис. 3.31 Функціональна схема приладу для вимірювання товщини, листа (труби) методом розсіювання

3.6.3. Вимірювання товщини покриттів. У пристроях для вимірювання товщини покриттів, що наносяться на різні матеріали та вироби, що використовується явище відображення  $\beta$ -частинок.

Коефіцієнт відображення  $\beta$ -частинок залежить від порядкового номера атомів, з яких складається відбивач. Тому відбиття електронів від чистої поверхні металу зазвичай різко відрізняється від відбиття від поверхні металу, покритого шаром іншого складу. При цьому коефіцієнт відображення  $\beta$ -частинок змінюється тим більше, чим більше різниця порядкових номерів елементів самого матеріалу (основи) і елементи покриття і чим товщі останнє. При постійності складу підкладки та покриття коефіцієнт відображення  $\beta$ -частинок залежить від товщини покриття. На рис. 3.32 зображена принципова схема приладу, що застосовується для вимірювання товщини шару олова, що наноситься на жерсть. Джерелом випромінювання є радіоактивні ізотопи  $^{204}\text{Tl}$ .

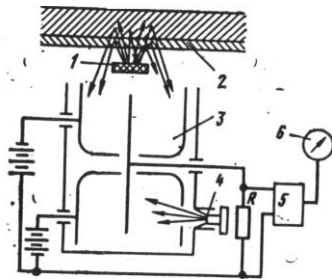


Рис. 3.32 - Схема приладу для вимірювання товщини покриттів

$\beta$ -Частинки, випромінюваних джерелом 1, відображені від покриття 2, потрапляють в одну половину диференціальної іонізаційної камери 3. В другу її половину потрапляє  $\beta$ -випромінювання еталонного джерела 4. Виникаючий при цьому іонізаційний ток компенсує іонізаційний струм, викликаний частками, відображеними від непокритій оловом жерсті. Компенсація порушується, коли відбивачем служить контрольоване покриття. Чим більше товщина покриття, тим більше різниця іонізаційним струмів. Різниця струмів обох частинок камери протікає з опору R. Що виникає при цьому падіння напруги посилюється підсилювачем 5 і вимірюється потенціометром 6, шкала якого проградуирована в одиницях товщини вимірюється покриття.

Прилад дозволяє визначити товщину олов'яної покриття до 5 мкм з точністю до 0,1 мкм. Такі прилади використовують для контролю товщини олов'яної покриття сталевий стрічки в процесі гарячого або електролітичного лугування, цинкового покриття в процесі гарячого цинкування, а також для покриття алюмінієм, поліетиленом або лаком з одного боку смуги.

3.6.4. Вимірювання ширини і діаметра. Для вимірювання ширини смуги, діаметра дроту та діаметра труб в процесі прокатки застосовуються оптичні безконтактні прилади з використанням фотоімпульсного методу.

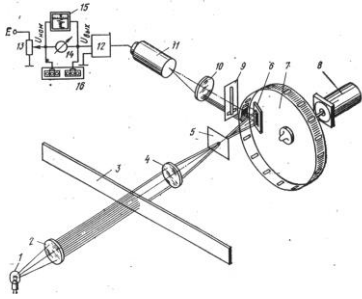


Рис. 3.33 - Функціональна схема вимірювача ширини стрічки

Функціональна схема вимірника ширини стрічки наведена на рис. 3.33. Світло від лампочки 1, перетворений у паралельний пучок за допомогою конденсаторної лінзи 2, частково перекривається вимірюваною стрічкою 3. Зображення контрольованого ділянки стрічки за допомогою об'єктива 4 пропускається через діафрагму 5 і проектується на дзеркало 6. Барабан 7 зі щілинами за допомогою двигуна 8 обертається з постійною швидкістю. Світло, відбитий від дзеркала, проходить через щілини барабана і діафрагму 9 і проектується за допомогою збирає лінзи 10 на катод фотопомножувача 11. Тривалість засвітки і затемнення фотоумножителя визначається співвідношенням світлих і темних ділянок на дзеркалі.

Імпульси струму від фотопомножувача передаються в електронний, блок 12, стрілочний індикатор 14, реєструючий прилад 15 і цифровий індикатор 16. Для встановлення номінального значення служить Задатчики 13. Стрілочний цифровий індикатор вказує відхилення ширини стрічки від номінального значення.

Фотоімпульсний вимірник діаметра труб відрізняється від вимірника ширини стрічки наявністю двох каналів вимірювання: за допомогою двох самостійних фотоімпульсних датчиків вимірюється положення краєвих труби. При цьому різниця положень протилежних країв труби визначає її зовнішній діаметр.

Прилади призначені для вимірювання ширини смуги в діапазоні 5-25 мм діаметра дроту 1-12 мм і діаметра труб 25-115; 70-140; 80-160 мм. Похибка виміру для раз  $\nabla$  меров менше 10 мм 0,01 мм, для розмірів більше .10 мм  $\pm$  0,2%.

3.6.5. Вимірювання довжини металу, що прокатується. Найбільш широке застосування знаходять електромеханічні прилади, принцип роботи яких полягає в наступному: контактні ролики, які обертаються на вісі, притискається до прокочувалися металу і при поступальний рух обкатувати його. За числом оборотів роликів визначають довжину. Перетворення числа оборотів в імпульси здійснюється за допомогою імпульсного генератора (імпульсатора), який жорстко пов'язаний з роликом.

Функціональна схема електромеханічного вимірника довжини показана на рис 3.34. Вимірювальними роликами є валки 3 прокатного стану, з одним з яких з'єднаний фотоелектричний імпульсатор 1, що складається з диска 20, з рівномірно нанесеними по колу отворами 21, освітлювачів 22 і фотоелементів 23 і 24. Число отворів, нанесених на одній доріжці, відрізняється на одиницю від числа отворів, нанесених на кожній сусідній доріжці. Між фотоелементом 7 і 9 розміщена базова довжина контрольованого виробу 2, тобто мінімально можлива довжина виробу при вимірі. Величина базової довжини встановлюється пристроєм 6.

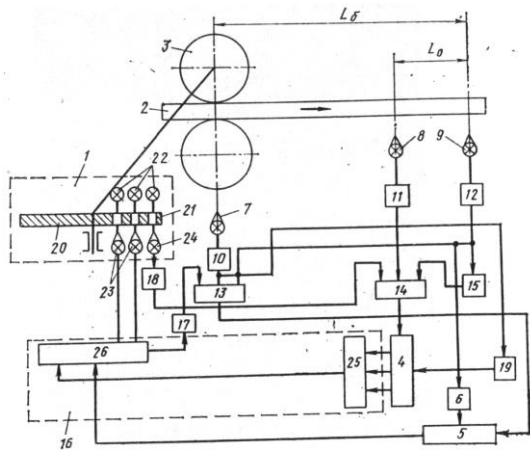


Рис. 3.34 - Функціональна схема електромеханічного вимірника довжини

При прокатці диск імпульсатора 20 отримує обертання і на його виході з'являються імпульси, що надходять через підсилювач 17 на лічильник 5. Однак за час проходження переднім кінцем виробу базової відстані  $L_0$  імпульси, видавані імпульсатором, не враховуються лічильником 5, так як ключ 13 в цей час закритий. При появі виробу в поле дії фотоелемента 9 відкривається ключ 13 і імпульси надходять в лічильник 5. Рахунок імпульсів припиняється при проходженні заднім кінцем виробу фотоелемента 7 і в цей момент ключ 13 замикається. Таким чином, лічильник 5 вважає імпульси на довжині виробу, що перевищує базову довжину. Якщо попередньо в лічильнику 5 встановити базову довжину, то він буде показувати повну довжину виробу. Завдяки запису базової довжини підвищується точність вимірювання та усуваються помилки від проскальзання ролика, зміни швидкості руху труби (листа) і т.п. Так як катаються діаметр валків при прокатці різних профілів може змінюватися, то змінюється і ціна одного імпульсу. Для цього в схему вводиться контрольна довжина  $L_0$  обмежується фотоелементом 8 і 9. При досягненні виробом фотоелемента 8 імпульси з крайньої доріжки диска імпульсатора через підсилювач 18 і ключ 14 потрапляють на лічильник імпульсів контрольної довжини 4. Рахунок цих імпульсів припиняється, коли передній кінець виробу досягає фотоелемента 9. В залежності від числа імпульсів в лічильнику контрольної довжини 4 за допомогою пристрою 16, що складається з перетворювача 25 і блоку вибору 26 коду контрольної довжини, обирають одну з записів на диску, імпульсатора таким чином, щоб ціна імпульсу залишалася без змін. Надалі імпульси в лічильник 5 потрапляють саме з цієї доріжки імпульсатора. Сигнали імпульсів проходять через підсилювачі 10-12 та ключі 13-15. Для установки на нуль лічильників 4 і 5 служить пристрій 19.

Електромеханічні вимірювачі довжини застосовують для вимірювання довжини гарячекатаних труб, а також середньо-і крупносортового прокату. Помилка виміру становить не більше  $\pm 1\%$ .

### 3.7 Промислові комплекси засобів автоматичного управління, їх принципи дії та основні характеристики.

3.7.1. Логічні елементи. Автоматичне управління в ряді випадків може бути представлено як певна послідовність обґрунтованих логічних дій, що призводить до досягнення поставленої мети. Наприклад, подача кисню у форму кисневого конвертера дозволяється тільки тоді, коли корпус його знаходиться в суворо вертикальному положенні, Фурма опущені в конвертер на задану глибину, а тиск

охолоджувальної Фурма води не нижче припустимого значення. Здійснити таке управління можливо з використанням логічних елементів.

Існує три основних типи логічних операцій: логічні заперечення (операція НЕ), множення (операція І) та складання (операція АБО). Для здійснення цих операцій випускаються відповідні логічні елементи (ЛЕ). ЛЕ можуть бути і більш складними, що виконують операції І-НЕ АБО-НЕ та інші. ЛЕ є пристроями дискретного дії, що оперує двома сигналами 0 та 1. Ці сигнали можуть бути представлені двома рівнями потенціалів, а також наявністю або відсутністю імпульсу.

Елемент НЕ реалізує операцію логічного заперечення  $y = \bar{x}$ , де  $\bar{x}$  - вхідний сигнал;  $y$  - вихідний. Вихідний сигнал «заперечує» вхідний, тобто якщо вхідний сигнал 1, то вихідний 0 і навпаки (рис. 3.35, а).

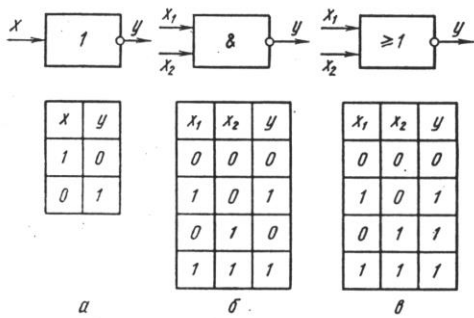


Рис. 3.35-Умовне позначення та порядок роботи логічних елементів НЕ (а), І (б) і АБО (в)

Логічний елемент І реалізує операцію логічного множення двох або більше сигналів  $y = x_1 \cdot x_2$ . Вихідний сигнал буде дорівнює 1 тільки тоді, коли всі вхідні сигнали рівні 1 (рис. 3.35, б).

Логічний елемент АБО реалізує операцію логічного складання  $y = x_1 + x_2$ . Вихідний сигнал дорівнює 1, якщо хоча б один із вхідних сигналів дорівнює 1 (рис. 3.35, в).

Сучасні ЛЕ створюються на елементній базі електронних інтегральних мікросхем. Невеликі розміри, висока надійність дозволяють розміщувати в одному корпусі кілька простих або комбінованих ЛЕ і створювати складні функціональні системи з обмеженого числа елементів.

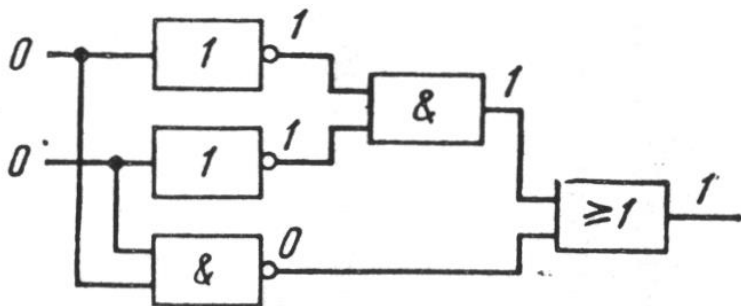


Рис. 3.36 - Приклад логічної операції

На рис. 3.36 наведена схема, яка дозволяє отримувати сигнал на виході тільки тоді, коли стан обох входів однаково.

На цьому малюнку показано дія схеми при відсутності сигналів на обох входах, дія схеми при трьох інших можливих комбінаціях стану входів легко простежити самостійно, користуючись мал. 3.36.

3.7.2. Промислові комплекси засобів автоматичного регулювання. Для створення локальних систем автоматичного регулювання і управління, а також для їх зв'язку з ЕОМ в структурі АСУТП розроблені і випускаються промисловістю ряд комплексів, побудованих в основному по агрегатному принципу. Розглянемо деякі з них.

Система керування із змінною структурою (СУПС) є частиною комплексних технічних засобів (КТЗ) локально-інформаційних управляючих систем (ЛІУС)

Державної системи приладів (ГСП). До складу Супса входять засоби перетворення, зберігання та передачі інформації, засоби представлення інформації та обміну її з управляючим обчислювальним комплексом (НВК), засоби формування законів регулювання та ін

Система «Каскад» реалізує всі функції локальних і комплексних систем регулювання, включає набір вимірювальних модулів та регулюючі засоби безперервного і дискретного дії. Універсальна система елементів промислової пневмоавтоматіки (УСЕППА) побудована за елементній принципом, тобто будь-який пристрій пневмоавтоматіки виготовляється з окремих уніфікованих найпростіших елементів, (опорів, ємностей, підсилювачів, перемикачів і т.д.). У системі УСЕППА реалізуються всі типи автоматичних регуляторів, а також пристрої оперативного управління, пристрої статичного перетворення (алгебраїчної підсумування, вилучення кореня і т. д.), логічні пристрої і т. д.

Більш докладно розглянемо агрегатний комплекс електричних засобів регулювання (АКЕСР), широко застосовується в металургії. АКЕСР включає регулюючі та функціональні пристрої, необхідні для перетворення, зберігання та розподілу інформації, що одержується від об'єкта управління, і для формування керуючих впливів у вигляді аналогових, імпульсних і позиційних сигналів, що впливають на виконавчі механізми. Регулюючі блоки різних видів формують пропорційний, пропорційно-інтегральний, пропорційно-диференційний, пропорційно-інтегрально-диференційний і позиційний закони регулювання.

До складу АКЕСР входять:

- 1) пристрої введення - виведення інформації: блоки кондуктивна поділу БКР;
- 2) функціональні пристрої: блок обчислювальних операцій БВО; блок нелінійних перетворень БНП; блок сигналізації БСГ; блок динамічних перетворень БДП та ін;
- 3) регулюючі блоки: імпульсні РБІ та аналогові РБА;
- 4) блоки адаптивного управління: блоки ручного управління БРУ; ручної Задатчики РЗД.

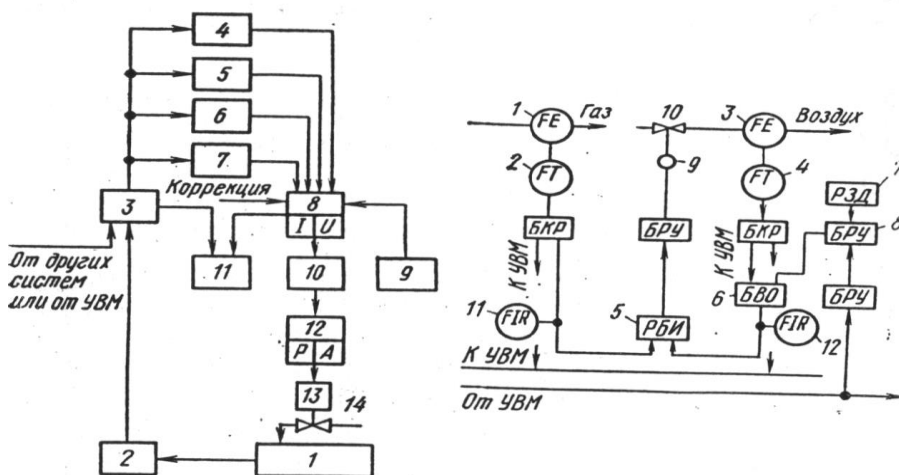


Рис. 3.37 - Структурна схема системи регулювання з типових блоків АКЕСР (а) і структурна схема системи регулювання співвідношення паливо-повітря на блоках АКЕСР (б)

#### Принцип

побудови системи регулювання з типових блоків АКЕСР показано на рис. 3.37, а. Об'єкт автоматичного регулювання 1 оснащений датчиком 2, сигнал з якого надходить в блок розподілу і кондуктивного розділення сигналів 3. З цього блоку сигнали надходять у функціональні блоки: обчислювальний блок 4, блок нелінійних

перетворень 5, блок динамічних перетворень 6, блок логічних операцій 7. Відповідним чином підготовлена інформація надходить у регулюючий блок 8, що формує закон регулювання. В реальних системах блоки 4-7 можуть бути відсутніми частково або повністю; в останньому випадку з блоку 3 сигнал може безпосередньо вступати в блок 8. Корректирующие сигнали від УВМ або інших систем можуть надходити через блок 3 або безпосередньо в блок 8, в який подається сигнал і від ручного Задатчика 9.

Вихідні сигнали блоку 5 можуть бути отримані у вигляді постійного струму (0-5 мА) або постійної напруги ( $\pm 10$  або  $\pm 24$  В) і подаються на блок управління 10, в якому здійснюється перехід від ручного управління до автоматичного, дистанційне управління виконавчим механізмом 13, переміщувати регулюючий орган 14. Вихідні сигнали блоку 10 посилюються по потужності підсилювачем 12, вихід якого може бути релейний (Р) або аналоговим (А). Блок індикації 11 показує стан системи (відхилення регульованої величини від заданого значення і характер вихідного сигналу блоку 8 («більше», «менше»)).

Прикладом використання АКЕСР може служити система регулювання співвідношення паливо - повітря, структурна схема якої показана на рис. 3.37, б. Звужуючий пристрій 1 в газопроводі в комплекті з датчиком-діфманометром 2 вимірює витрати газу. Витрати повітря вимірюється за допомогою звужуючого пристрою 3 і датчика 4. Сигнали від датчиків через блоки кондуктивного поділу БКР надходять в систему регулювання на регулюючий блок РБІ 5 безпосередньо або через блок обчислювальних операцій БВО 6. У блоці 6 здійснюється множення сигналу на заданий коефіцієнт витрати повітря, встановлений ручним Задатчиком РЗД 7 через керуючий блок БРУ 8. Регульовальний блок 5 формує ПІ, ПД-або ПІД-закони регулювання і через блок БРУ управляє виконавчим механізмом 9, переміщувати регулюючий орган 10. Інформація про витрати газу та повітря може вводиться в УВМ через блоки БКР. Розраховане УВМ задане значення коефіцієнта витрати повітря вводиться в блок 6 через блоки БРУ. Передбачена реєстрація витрат приладами 11 і 12.

### **3.8 Мікропроцесорна техніка**

3.8.1 Великі інтегральні схеми. Загальні відомості про НВК і мікро - процесорних комплексах. Інтегральна мікросхема - мікроелектронний пристрій, що виконує певну функцію перетворення та обробки сигналу і має високу щільність упаковки елементів і кристалів, які з точки зору вимог до випробувань, приймання, постачання та експлуатації розглядаються як єдине ціле. Щільність упаковки елементів - це ступінь інтеграції. У мікросхеми вона може досягати сотень тисяч елементів в одному кристалі.

Велика інтегральна схема (ВІС) - це мікросхема, яка містить одне або кілька функціональних пристроїв, як правило, третьої або четвертого ступеня інтеграції. У такій схемі міститься не менше 1000 елементів. Надвеликих інтегральних схем (НВІС) - це мікросхеми 5-го ступеня інтеграції, тобто що містять від 10 000 до 100 000 елементів в одному кристалі.

При створенні ВІС і НВІС на напівпровідникової платівці формують велике число мікросхем, а потім їх об'єднують в необхідну систему шляхом використання металізації для створення необхідної системи з'єднання.

ВІС і НВІС дозволяють отримати більш високі якісні показники і більшу надійність пристроїв при менших витратах. Підвищення надійності досягається шляхом зменшення числа сполук, кількості технологічних операцій. Зниження вартості ВІС зумовлюється прогресом технології, зменшенням обсягу складальних робіт.

ВІС і НВІС бувають цифрові й аналогові. Цифрові призначені для обробки дискретної інформації. До них відносяться регістри, лічильники, суматори та ін. Прикладами аналогових є операційні підсилювачі, випрямлячі, перетворювачі «напруга - код» та ін.

За конструктивно-технологічною ознакою розрізняються напівпровідникові і гібридні ВІС.

В залежності від призначення ВІС бувають уніфіковані, службовці для побудови різних засобів обробки інформації, і на замовлення - тільки для використання в одному виробі.

В даний час випускаються комплекти ВІС, куди входять декілька типів ВІС, що виконують різні функції, сумісних по технологічному виконанню та перед - призначених для спільного застосування при побудові електронної апаратури.

ВІС і НВІС знаходять широке застосування в ЕОМ, в мікропроцесорних системах, в схемах оперативної та напівпостійної пам'яті, в схемах управління, перетворення, стикування з реальним об'єктом.

Однак, розробка складних інтегральних схем пов'язана з великими витратами на їх проектування, налагодження, підготовку виробництва, тому створення ВІС і НВІС економічно доцільне при значному обсязі їх виробництва та споживання.

Отже, щоб забезпечити універсальність ВІС і НВІС і гарантувати широкий ринок збуту, інтегральна схема повинна мати гнучку логіку, легко перебудовується для різного класу задач.

Зі структурної точки зору така схема повинна складатися з набору логічних елементів, не пов'язаних між собою в «жорстку» функціональну схему. Формування необхідних зв'язків між ними повинно виконуватися при поданні відповідного впливу (команди) вже в процесі експлуатації. Меняю управліною (командною) інформацією, що можна виконувати за програмою складну обробку інформації.

Як відомо системи автоматичного керування складаються з об'єкта управління і автоматичного керуючого пристрою, в якості якого можуть бути використані регулятори на дискретних елементах, ЕОМ, функції яких може виконати ВІС.

Мікропроцесор - це обробляє і управляючий пристрій, виконаний з використанням технології ВІС (часто на одному кристалі) і має здатність виконувати під програмним управлінням обробку інформації, включаючи введення та виведення інформації, прийняття рішень, арифметичні та логічні операції.

Основними вузлами мікропроцесора є: арифметико-логічний пристрій (АЛП), де виконуються арифметичні та логічні операції; регістри, де зберігаються адреси команд, дані; пристрій управління, виробляючий сигнали управління системою.



Перший мікропроцесор з'явився в 1971 р., а зараз уже відомо понад 100 типів мікропроцесорних комплектів. Поліпшення більшості характеристик мікропроцесорів пов'язано з технологією виготовлення. Тому класифікація мікропроцесорів за технологією виготовлення наступна: на основі n-канальною МДП технології; на основі n-канальною МДП технології; на основі біполярний технології. Кожна технологія характеризується швидкодією: 10-20 мкс, 2-5 мкс, 100-300 нс.

Крім цього, мікропроцесори класифікуються за способу управління: схемне і мікропрограмного; по системі вводу-виводу: вбудована і автономна.

Характеристики та властивості мікропроцесорів:

- Мала розрядність слова: 2, 4, 8, 12 або 16 біт;
- Обмежена потужність набору команд (зазвичай потрібно 2-5 команд для виконання операції, еквівалентної одній команді міні-ЕОМ);
- Програмно-керований введення-виведення;
- Низька вартість мікро-ЕОМ (1-5% вартості міні-ЕОМ);
- Мале споживання енергії, невелика маса;
- Здатність перебудувувати свою логічну структуру, тобто програмоване виконання мікропроцесором функцій.

Завдяки таким властивостям, мікропроцесори будуть широко застосовуватися як для засобів обчислювальної техніки, так і в пристроях управління замість пристроїв з жорсткою структурою.

Застосування мікро-ЕОМ, побудованих на базі мікропроцесорів, пояснюється тим, що у них, як і в міні-ЕОМ потужна система команд, велике число регістрів, багаторівнева система переривань і т.д. Ці мікро-ЕОМ вже знаходять застосування в системах зв'язку, медицині, навігації та інших системах. Але мікро-ЕОМ поступаються міні-ЕОМ по розрядність (мала розрядність) і по швидкодії (в 2-3 рази менше).

Однак заміна мікропроцесорами, мікро-ЕОМ пристроїв з жорсткою структурою дає ряд переваг.

По-перше, як уже зазначалося, можна легко змінювати логіку функціонування шляхом зміни програми в запам'ятовуючому пристрої без будь-яких переробок монтажу та друкованих плат. Це дозволяє легко вносити в процес налагодження зміни у вже виготовлену систему, створювати безліч систем.

По-друге, системи на основі мікропроцесорів мають меншу вартість, більш надійні, витрачається менше часу на їх розробку.

Перераховані переваги систем на основі мікропроцесорів визначили їх використання замість пристроїв з жорсткою структурою. Передбачається 60-70% всіх мікропроцесорів використовувати в системах управління технологічними процесами, в цифрових вимірювальних приладах, у побутовій апаратурі, в обчислювальній техніці.

3.8.2. Поняття про перетворення інформації та теорії алгоритмів. Вся людська діяльність нерозривно пов'язана з інформацією. На громадському транспорті водій повідомляє назву наступної зупинки, інформуючи тим самим пасажирів, що бажають вийти. Номер будинку на його фасаді також є інформацією. Прослуханий

прогноз погоди дає можливість людині визначити форму одягу. Сигнальні лампочки в схемах керування електроприводами несуть інформацію про стан елементів (увімкнено, вимкнено параметр у нормі, не в нормі). У будь-якому випадку людина або автоматичне управляючий пристрій, користуючись інформацією, продумують своє рішення і робить будь-які дії. Процес аналізу та прийняття рішення заснований саме на отриманій інформації, яка оброблена людським мозком або автоматичним пристроєм.

Інформація представляється повідомленнями. Під повідомленнями розуміються будь-які відомості, що підлягають передачі. Ці відомості можуть бути представлені у формі усного мовлення, письма, зображення, чисел вимірюваних величин, команд управління або дані, що характеризують стан контрольованих об'єктів. Таким чином, повідомлення складається з різних знаків і символів. Весь набір таких символів називають алфавітом. Загальноприйнятий алфавіт містить не тільки літери (російські, латинські, грецькі, англійські і т.д.), але й цифри, тому інформація може бути як буквена, так і цифрова. Кінцевий набір різних символів алфавіту певної довжини називається словом. Приклади слів: 125; 31,2; включити; виключити; R; погода.

Існують і інші алфавіти з більш коротким набором використовуваних символів. Всім добре відома азбука Морзе, де за допомогою лише двох знаків (точки та дефісів) можуть зображуватися будь-які слова довільної форми; двійкова система числення, де за допомогою 0 та 1 також можна складати слова.

Процес рішення будь-якої задачі може бути умовно розбитий на ряд етапів, пов'язаних з обробкою інформації. По-перше, умови завдання та порядок дії над даними, пред'явлені у вигляді групи слів, повинні бути сприйняті органом обчислень, іншими словами необхідно ввести інформацію про завдання. На другому етапі проводяться обчислення на основі введених даних. І третій етап - результати вирішення в зручній формі подання повинні бути виведені.

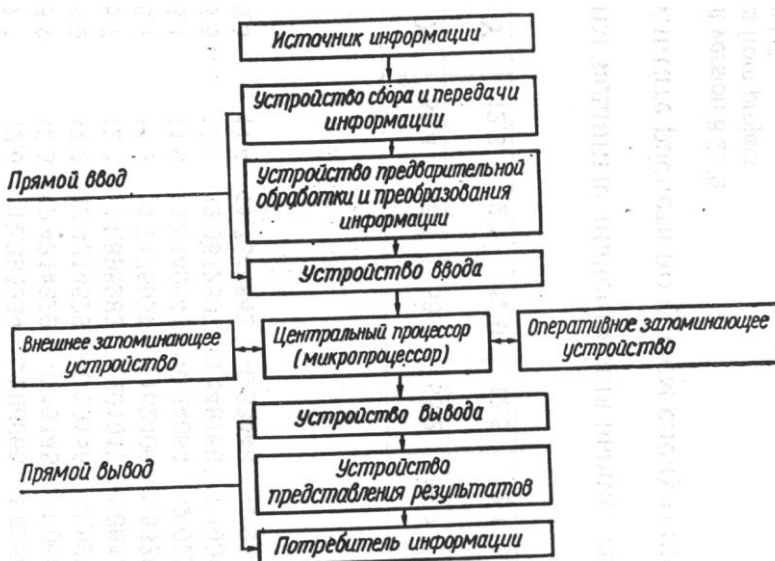


Рис. 3.38 - Загальна схема обробки інформації.

Наприклад, потрібно обчислити значення за висловом  $Y = 5 \times 2 + \cos 45^\circ$ .

Словами тут є не лише цифри (5, 2, 45), але також і літери (Y, cos) і знаки (x, +, °, =). Як людина вирішує цю задачу?

За допомогою органів зору або органів слуху людина сприймає умова завдання. Мозок

проводить необхідні обчислення, а органи мовлення виводять результат розрахунку, якщо результат видається усно. Коли треба зафіксувати результат, то людина використовує інші органи - руки - для запису результату розрахунку на папері.

Таким чином, у процесі рішення задачі, пов'язаної з обчисленнями, проводиться перетворення інформації.

Загальна схема обробки інформації з використанням обчислювальної техніки представлена на рис. 3. 38.

На вхід системи вихідні дані від джерел інформації можуть надходити на носіях будь-якої фізичної природи (сигнали датчиків, магнітні стрічки, перфокарти, перфоленти, цифри, букви і т. д.).

Введення вихідних даних в основний пристрій обробки (процесор) може здійснюватися переважно в двох формах: 1 - в режимі безпосереднього зв'язку з досліджуванним об'єктом (прямий введення), коли введення сигналів у процесор здійснюється в реальному часі (інформація про стан і поведінку об'єкта надходить з датчиків, що сприймають сигнали про стан процесів); 2 - в режимі попереднього перетворення інформації (перегрупування, кодування, перетворення аналого-цифрові і т. д.) до вигляду, зручному для наступної автоматичної обробки в процесорі. Другий режим важливий для досвідної практики, так як він дозволяє вести оперативну обробку результатів, одержуваних при багаторазових експериментах.

В якості основного пристрою обробки можуть використовуватися універсальні або спеціалізовані обчислювальні машини.

Видача результатів обробки може здійснюватися також у двох формах: 1 - в режимі прямого зв'язку зі споживачами інформації (прямий висновок), коли перетворена інформація, минаючи буферні накопичення, сортування та пристрої представлення результатів, безпосередньо виводиться на виконавче пристрій у вигляді сигналів; 2 - в режимі буферного накопичення з використанням пристроїв представлення результатів обробки споживача.

Управління всією роботою системи здійснюється за допомогою центрального процесора або мікропроцесора, де виконуються арифметичні та логічні операції.

Передача інформації передбачає наявність, як мінімум, двох об'єктів - джерела інформації і приймача інформації. Для передачі інформації застосовуються сигнали. Сигналом називається фізичний процес (наприклад, певна послідовність електричних імпульсів), однозначно відповідний даному повідомленню.

Відображення безлічі станів джерела інформації під безліч станів сигналу (носія) називають кодуванням, а відображення безлічі станів сигналу під безліч станів приймача - декодуванням.

Джерела інформації і створювані ними повідомлення поділяють на безперервні і дискретні. Безперервні повідомлення відображаються сигналами, що представляють собою будь-які фізичні величини, що змінюються безперервно і беруть нескінченну кількість значень у певному діапазоні. До них відносяться зміна струму, потужності, витрата рідини, палива та ін. Така форма подання інформації використовується в аналогових, моделюючих і обчислювальних пристроях. Дискретні повідомлення складаються з кінцевого безлічі елементів, що формуються джерелом інформації. До дискретним повідомленням відносяться позиційний або граничні сповіщення. Наприклад, «включено-вимкнено», «відкрито-закрито» і т.д. Дискретні повідомлення відображаються сигналами, які приймають кінцеве число значень.

Одиницями кількості інформації в цифрових системах є:

біт - це така кількість інформації, що характеризує джерело з двома рівновероятними станами;

байт - це кількість інформації, що складається з 8 біт; слово довжиною в один байт дозволяє закодувати  $2^8 = 256$  різних символів, що практично достатньо для обробки символічної інформації;

Кбайт (кілобайт), Мбайт (мегабайт) - одиниці вимірювання інформації, що зберігається у блоках пам'яті, відповідно рівні: 1 Кбайт =  $2^{10}$  байт, 1 Мбайт =  $2^{20}$  байт. Аналогічно визначаються мегабіти і кілобіти: 1 Мбіт =  $2^{10}$  Кбіт =  $2^{20}$  біт.

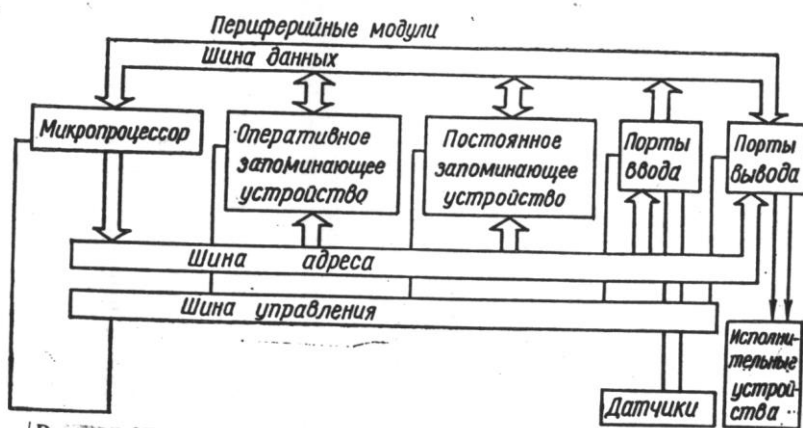
Крім перерахованих одиниць інформації використовують такі поняття: поле - це група біт, що мають певне призначення; масив - сукупність полів, байтів або слів, об'єднаних спільною ознакою (наприклад, вихідні дані); сегмент - впорядкована сукупність полів, байтов, слів, масивів, згрупованих з метою найменування.

Для характеристики швидкості передачі інформації використовують одиницю бод - це 1 біт / с.

3.8.3. Особливості систем обробки інформації на основі ВІС. Класичними принципами організації обчислювальних систем є: жорстка структура, послідовне центральне управління, лінійна організація пам'яті, відсутність можливості адаптації структури до особливостей розв'язуваної задачі.

На зміну класичним принципам організації обчислювальних систем приходять принципи проблемної орієнтації систем, паралельної і конвеєрної обробки інформації, використання табличних методів обробки даних та інші.

Характерною тенденцією розвитку обчислювальної техніки є апаратна реалізація функцій програмного забезпечення, що дозволяє суттєво підвищити продуктивність обчислювальних систем. Подальший розвиток отримує принцип 3М - модульність, магістральних, мікро-програмованого.



Модульна організація систем. Принцип модульної організації передбачає побудову обчислювальних та управляючих машин і систем на основі набору модулів. Під модулем розуміють конструктивно, функціонально і електрично

закончене обчислювальний пристрій, що дозволяє самостійно або в сукупності з іншими модулями вирішувати завдання.

Модульний підхід дозволяє забезпечити створення родин ЕОМ, які відрізняються функціональними можливостями і характеристиками, сприяє стандартизації елементів, скорочення витрат на проектування, відсуває час морального старіння систем.

До модулів відносяться ВІС, де виконуються наступні функціональні блоки: мікропроцесори, оперативне запам'ятовуючий пристрій, постійне запам'ятовуючий пристрій, порти вводу-виводу та ін

Незалежно від призначення і способу застосування мікропроцесорної системи можна виділити типову структуру її побудови (рис. 3.39).

Основними елементами такої системи є: мікропроцесор, периферійні модулі і три шини обміну інформацією між мікропроцесором і периферійними модулями. Роботу такої системи можна представити таким чином: під керуванням мікропроцесора вхідні сигнали надходять від зовнішніх датчиків через порти введення в систему, мікропроцесор виконує необхідні перетворення початкових даних і виробляє керуючі впливи, які надходять через вихідні порти на вихідні пристрої. Наприклад, якщо використовувати таку систему для підтримки мікроклімату в приміщенні, то роботу її можна представити так: мікропроцесор через порти вводу підключити датчик температури, інформація від якого після перетворення буде мікропроцесором порівнюватися із заданою температурою і, якщо температура вище, то мікропроцесор через порти виведення виконавчим пристроєм відключить нагрівальний елемент або включить вентиляцію. Окремі блоки мікропроцесорної системи пов'язані один з одним за допомогою шин. Шина являє собою сукупність ліній, по яких передається інформація від будь-якого джерела до будь-якого приймачу інформації. Адресна шина односпрямованої, тобто інформація з неї передається тільки в одному напрямку. Ця шина служить для передачі адреси від мікропроцесора до пам'яті, вступна і вивідний пристроїв. Шина даних двонаправлений, тобто інформація по ній може передаватися в обох напрямках, і вона служить для передачі даних. Шина управління складається з ліній, по яких передаються тактові, синхронізуються сигнали, а також інформація про стан пристроїв. Частина ліній в управляючій шині односпрямованої, частина - двонаправлений. Тому на малюнку спрямованість цієї шини ніяк не позначена.

До периферійним модулям розглянутій системи відносяться: оперативне запам'ятовуючий пристрій, який зберігає і видає вихідні дані і проміжні результати обчислень; постійне запам'ятовуючий пристрій, в який записана програма роботи системи; порти вводу та виводу - це точки контакту між пристроями вводу-виводу та мікропроцесором. Порти введення та виведення мають свої адреси, так що до одного мікропроцесора може бути підключено кілька пристроїв вводу-виводу.

Магістральний спосіб обміну інформацією. Серед способів організації зв'язку елементів всередині модулів і між модулями широке розповсюдження отримав магістральний, тобто за допомогою шин: даних, адресних, керуючих. Цей спосіб дозволяє мінімізувати кількість зв'язків, скоротити число висновків ВІС, забезпечити регулярність структури ВІС та зв'язків між ними.

Мікропрограмного організація управління. Мікропрограмного управління підвищує гнучкість пристроїв (за рахунок можливості зміни програм), що забезпечує паралельне вирішення задач (при розосереджених управління та розподіленими пам'яті), підвищує надійність пристроїв за рахунок застосування серійно випускаються ВІС пам'яті, спрощує контроль функціонування пристрою. Передача керуючих слів у вигляді зашифрованих кодових послідовностей відповідає умовам мінімізації числа висновків ВІС і зниження з'єднання в модулях.

Отже, основними особливостями систем обробки інформації на основі ВІС є модульність, магістральних і мікропрограмуємість.

3.8.3. Регулюючі та логічні мікропроцесорні контролери. Особливості програмування мікропроцесорних систем. Для управління технологічними процесами застосовуються мікроЕВМ і мікропроцесорні системи управління.

МікроЕВМ - це конструктивно законченне пристрій обробки даних загального призначення, що має в своєму складі один або декілька МП, пам'ять для зберігання керуючих програм та засоби керування обміном з периферійними пристроями вводу-виводу (УВВ і УВив).

МП-системи - це спеціалізовані цифрові пристрої та системи, побудовані на основі МП та мікроЕВМ, призначені для обробки даних, автоматизації контролю і управління.

МП-система управління технологічними процесами характеризується наявністю великої кількості зовнішніх пристроїв: датчиків для вимірювання параметрів об'єкта управління, виконавчих механізмів, периферійних пристроїв (пульти ручного введення, пристрої завантаження й налагодження програм), зовнішньої пам'яті, пристрої зв'язку з об'єктом.

Основними принципами побудови МП-систем є: модульність конструкції, магістральна організація, мікропрограмуємість управління.

Модульний принцип конструювання передбачає виготовлення МП-систем або мікроЕВМ у вигляді набору ВІС з необхідним числом зовнішніх висновків і високою регулярністю логічних структур, що базуються на високій універсальності і гнучкості МП як приладу з програмним управлінням і спеціальними апаратно-логічними засобами.

Логічна структура МП-системи. Мікропроцесорна система управління технологічними процесами має значну кількість функціональних пристроїв, логічна схема з'єднання яких наведена на: рис.3.40. До складу МП-системи управління входять датчики значень параметрів ТОУ (Д1, Д2 ..... Дn), виконавчі механізми (ІМ1, ІМn), за допомогою яких здійснюється регулювання параметрів об'єкта.

Центральний мікропроцесор (ЦМП) являє собою основний вузол програмованої системи управління технологічними процесами. ЦМП виконує в МП-системі функції центрального пристрою управління та пристрої арифметично-логічного перетворення даних. Пристрій управління генерує послідовність синхронізуються і логічних сигналів, які здійснюють почергове вилучення команд з пам'яті та їх виконання. Порядок виконання команд задається шляхом їх відповідного розміщення в програмі, що міститься в пам'яті. Адреса наступної команди в пам'яті поміщається в програмний лічильник мікропроцесора.

Пам'ять МП-системи-може бути фізично реалізована на основі різних запам'ятовуючих пристроїв (ЗУ) і поділяється на постійну та оперативну.

Напівпровідникові постійні запам'ятовуючі пристрої (ПЗУ) в процесі роботи здійснюють тільки читання заздалегідь записаних даних і не допускають зміни інформації, яка занесена у них в процесі виготовлення. ПЗУ зберігають записану інформацію при вимиканні живлення. У ПЗУ зберігаються програми, які не допускають зміни знаходиться там інформації.

Напівпровідникові оперативні запам'ятовуючі пристрої (ОЗУ) призначені для запису та зчитування оперативно змінюється інформації. При короткочасному відключенні джерел живлення інформація в ОЗП втрачається. Інформація записується в адресовану комірку пам'яті у вигляді слова, що представляє сукупність двійкових розрядів (біт). Пам'ять МП-системи компонується порціями, ємність яких кратна 1024 словами, умовно позначеними 1 До комірок пам'яті. Якщо мікропроцесор має 16-розрядну шину адреси, то це дозволяє встановлювати адреса  $2^{16} = 64$  До комірок пам'яті.

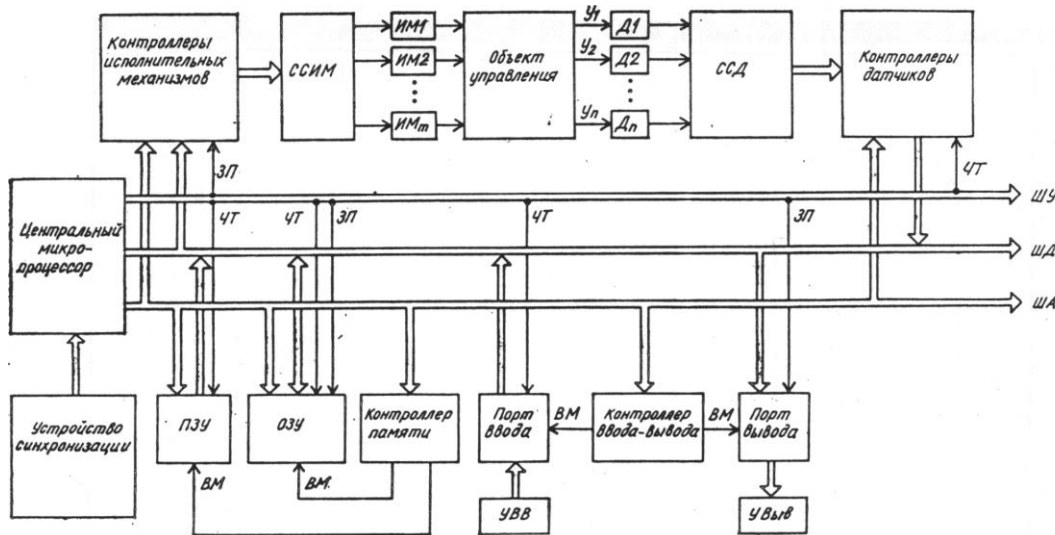


Рис. 3.40  
- Логічна структура МП-системи

У МП-системі застосовуються статичні і динамічні ОЗУ. В статичних ОЗП кожен елемент пам'яті

представляє собою симетричний тригер, що зберігає один біт інформації. На рис 3.41 показана загальна організація ШУ ємністю 1024 біт, де матриця елементів пам'яті складається з 32 рядків і 32 стовпців. Вибір одного з 1024 запам'ятовуючих елементів (тригери) проводиться шляхом завдання адреси рядка ( $A_0, \dots, A_4$ ) і стовпця ( $A_5, \dots, A_9$ ).

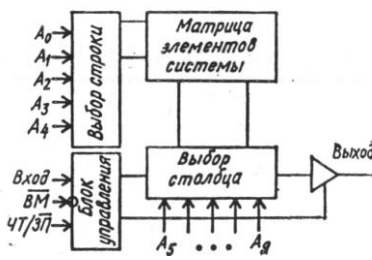


Рис. 3.41 - Організація ОЗУ

Активізація даної ВІС здійснюється подачею сигналу від дешифратор на лінію вибору модуля (ВМ). Якщо цей сигнал відсутній, то лінія читання / запису (ЧТ / ЗП) не підключається. Із зазначених статичних ОЗП можна побудувати пам'ять ємністю 2К, 4 К і т. д. В табл. 3.1 наведені основні характеристики застосовуваних у МП-системах статичних ОЗУ. При однобітній організації ВІС пам'яті необхідна довжина машинного слова досягається шляхом паралельного включення відповідного числа ВІС. Наприклад, у МП КР5801К80 з 8-розрядної організацією машинного слова необхідно включати паралельно 8 однакових ВІС, наведених на рис. 3.40. Адресні входи, а також лінії ВМ і ЧТ / ЗП підключаються паралельно до відповідним розрядом шини адреси і лініях шини управління.

Якщо необхідно запам'ятовування інформації на короткий час, то застосовується динамічне ОЗП, в якому при замиканні ключа конденсатор заряджається вхідним сигналом. При розмикання ключа заряд на конденсаторі

зберігається. Характеристики застосовуваних ВІС ОЗП динамічного типу наведені в табл.3.2. Застосування динамічних ОЗУ дозволяє зменшити число компонентів при виконанні багатьох функцій пам'яті.

Таблиця 3.1

| Характеристика ВІС ОЗП статичного типу |     |                              |                            |           |     |                              |                            |
|--|-----|------------------------------|----------------------------|-----------|-----|------------------------------|----------------------------|
| Тип ОЗУ                                | БИС | Организация статического ОЗУ | Общая емкость памяти (бит) | Тип ОЗУ   | БИС | Организация статического ОЗУ | Общая емкость памяти (бит) |
| K155РП1                                |     | 4 X4                         | 16                         | K500PY410 |     | 256X1                        | 256                        |
| K155РП3                                |     | 16 X 1                       | 16                         | K500PY415 |     | 1024 X 1                     | 1024                       |
| K155PY2                                |     | 16X4                         | 64                         | K541PY2   |     | 1024 X4                      | 4096                       |
| K155PY3                                |     | 256 X1                       | 256                        | K541PY1   |     | 4096 X 1                     | 4096                       |
| K155PY7                                |     | 1024 X 1                     | 1024                       | K541PY3   |     | 16384 X 1                    | 16384                      |
| K500PY401                              |     | 16X1                         | 16                         | K565PY2   |     | 1024 X 1                     | 1024                       |
| K500PY145                              |     | 16 X4                        | 64                         | K565PY4   |     | 4096 X1                      | 4096                       |
| K500PY148                              |     | 64 X 1                       | 64                         | K586PY1   |     | 256 X4                       | 1024                       |
| K550PY411                              |     | 128 X 1                      | 128                        | K1809PY1  |     | 1024 X 16                    | 16384                      |

Таблиця 3.2

| Характеристика ВІС ОЗП динамічного типу |     |                               |                            |            |                               |                            |       |
|---|-----|-------------------------------|----------------------------|------------|-------------------------------|----------------------------|-------|
| Тип ОЗУ                                 | БИС | Организация динамического ОЗУ | Общая емкость памяти (бит) | Тип БИООЗУ | Организация динамического ОЗУ | Общая емкость памяти (бит) |       |
| K505PY1                                 |     | 256X1                         | 256                        | K522PY1-   |                               | 16384 XI                   | 16384 |
| K536PY3                                 |     | 64X8                          | 512                        | K565PY3    |                               | 16384X1                    | 16384 |
| K505PY3                                 |     | 1024 X 1                      | 1024                       | K565PY6    |                               | 16384X1                    | 16384 |
| K507PY1                                 |     | 1024X1                        | 1024                       | K58IPY4    |                               | 16384 X1                   | 16384 |
| K536PY2                                 |     | 1024 X1                       | 1024                       | K565PY5    |                               | 65536X1                    | 65536 |
| K565PY1.                                |     | 4096X1                        | 4096                       |            |                               |                            |       |

У мікропроцесорних системах управління технологічними процесами застосовується єдина інформаційна магістраль, яка пов'язує між собою всі пристрої і функціонально складається з шини адрес, шини даних і шини управління. Шина адреси є односпрямованою, так як код адреси комірки пам'яті або реєстр периферійного пристрою генерується центральним мікропроцесором і передається по шині адреси від МП до інших пристроїв МП-системи. Шина даних є двонаправлений, тобто працює в мультиплексного режимі. Шина управління являє собою сукупність односпрямованої каналів зв'язку, за яким передаються сигнали управління, призначені для синхронізації робота пристроїв і визначення операцій. Загальну синхронізацію забезпечує зовнішній пристрій синхронізації, яке представляє собою тактової генератор.

Магістральний принцип організації МП-системи припускає наявність інформаційно-логічної сумісності модулів, яка реалізується шляхом використання єдиних способів подання інформації в системі, алгоритму керування обміном формату керуючих слів, способу обміну інформацією і способу синхронізації.



У МП-системах застосовуються два способи з'єднання модулів між собою: реалізація МП-системи за допомогою комутації ланцюгів; побудова схем МП-системи з комутацією повідомлень.

В простейших МП-системах з комутацією ланцюгів при передачі інформації між модулями встановлюється інформаційний канал, по якому передаються дані без попередньої затримки.

У МП-системах з комутацією повідомлень використовуються проміжні накопичувачі інформації між модулями (наприклад, МП і периферійним пристроєм). В якості накопичувачів використовуються порти вводу та виводу або адаптери, застосування яких дає можливість організувати асинхронну роботу ЦМП і периферійних пристроїв. Для комутації повідомлень в складі МП-систем є інформаційні контролери периферійних пристроїв, які мають стандартний інтерфейс з боку підключення до інформаційної магістралі та нестандартний інтерфейс з боку пристроїв вводу-виводу (УВВ і УВив).

Стандартним інтерфейсом називається схема сполучення мікропроцесора з периферійними пристроями та каналами вводу-виводу, яка реалізується за допомогою уніфікованих систем зв'язків. У загальному випадку під інтерфейсом розуміють сукупність уніфікованих шин для передачі інформації та уніфікованих електронних схем, які управляють проходженням сигналів по шинам, а також сукупність алгоритмів керування обміном інформації.

Підключення пристроїв вводу і виводу до системних шин реалізується за допомогою портів введення та виведення інформації, які виконують функції вибору потрібного модуля системи фіксації рівнів сигналів, підключення або відключення обраного пристрою введення або виведення до шини даних. Порт представляє собою мікросхему середнього ступеня інтеграції, що містить адресуємий многорежимний буферний регістр (МБР) з уніфікованим роз'ємом для підключення пристроїв вводу-виводу. Порти застосовуються при управлінні простим периферійним пристроєм за допомогою декількох операцій, які виконуються по командах вводу-виводу.

У якості більш складних блоків місцевого управління пристроями вводу-виводу інформації служать контролери, основне завдання яких полягає в забезпеченні умов отпірання і запирання одиночних вентилів або їх груп, а також у запуску різних виконавчих механізмів або в прийомі сформованих сигналів від датчиків. Універсальні програмувальні контролери виконуються у вигляді Однокристальний ВІС, які підключаються до системних шин адреси і здійснюють селекцію сигналів, виключаючи випадки передачі по одній шині декількох повідомлень одночасно. Від МП по адресній шині передається на всі контролери периферійних пристроїв код вибору зовнішнього пристрою, що міститься в командах вводу-виводу. Контролер периферійного пристрою має виконувати такі функції:

- Декодувати адреса периферійного пристрою, що отримується від МП, і давати відповідь про готовність до обміну в шину управління, коли цей адреса збігається з ключем даного пристрою. Для цього в кожному контролері є селектор пристрої;
- Проводити декодування коду операції, що надходить з МП;
- Передавати в МП дані про поточний стан периферійного пристрою;

- Керувати передачею інформації між МП і периферійним пристроєм. Згідно з прийнятим коду, з контролерами периферійного пристрою на вхід вибору модуля (ВМ) відповідними  $\neg$  ющего порту введення або виведення подається сигнал, за яким здійснюється обмін інформацією лише між одним модулем і МП. Таким чином, для конкретної області застосування програмований контролер пристосовується шляхом перепрограмування, тобто без додаткових апаратурних витрат.

Логічна структура універсального програмованого контролера приведена на рис.3.42. Контролер працює за жорстко заданої, записаною в ньому програмі. При цьому управління УВВ і УВив забезпечується мікропроцесором МП, виконаним на одному кристалі. Контролер має магістральну структуру. До шин адреси, даних і управління можуть підключатися розширюють ОЗУ і ПЗУ, якщо можливостей МП недостатньо для керування обміном інформації. До магістралей контролера підключаються вузли програмувальних інтерфейсів УПІ, які мають модульну структуру. Пульти управління (ПУ) МП-системи та периферійні пристрої введення та виведення пов'язані з УПІ з допомогою вузлів сполучення (УС).

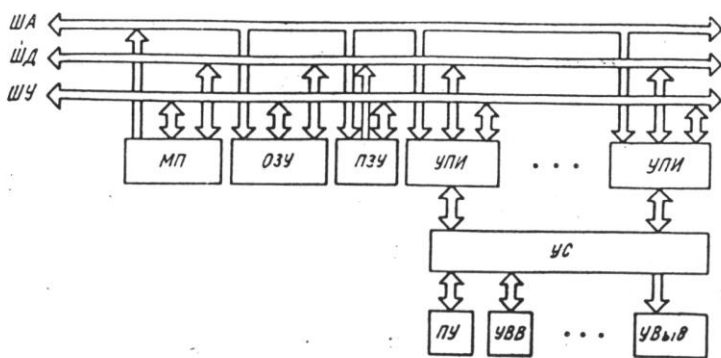


Рис. 3.42 - Логічна структура універсального програмованого контролера

У МП-системі, реалізованій на базі мікропроцесора КР580ІК80А, для селекції сигналів застосовується контролер шин КР580ВГ18, а також системні контролери та шинні

формувачі КР580ВК28 і КР580ВК38, які містять 8-бітний двонаправлений шинний формувачі і регістр станів з дешифратор, що формує сигнали, необхідні для зв'язку МП з пам'яттю та периферійними пристроями. Для вказівки напряму передачі інформації з шини управління надходять сигнали читання (ЧТ), за якими проводиться прийом інформації з портів введення в мікропроцесор, а за сигналами запису (ЗП) здійснюється зворотній передача від мікропроцесора в порти виводу інформації.

Для організації вводу-виводу інформації в МП-системах застосовуються два способи організації системних пересилок.

1. Програмно-керований обмін даними, при якому управління процесом пересилок здійснюється за програмою ЦМП.

2. Контролерний обмін даними або прямий доступ до пам'яті (ПДП).

Введення та виведення інформації при програмно-керованому обміні даними відбуваються під керуванням основної програми, за якою МП взаємодіє з периферійними пристроями. Оскільки МП-система управління технологічними процесами працює в реальному масштабі часу, то для управління периферійними пристроями широко застосовується режим переривань. Сигнали переривання формуються портами вводу-виводу периферійних пристроїв або периферійними адаптерами (ПА), які являють собою програмно-керовані блоки регістрів інтерфейсу. При однорівневих режимі переривань периферійні адаптери або порти МП-системи

генерують сигнали INT запиту на переривання, які через логічний елемент АБО надходять на вхід INT мікропроцесора. Перехід до програми обробки переривання відбувається при закінченні виконання поточної команди основної програми. Обслуговування переривань містить визначення адреси периферійного пристрою, від якого по  $\neg$  ступил запит на переривання. Процедура визначення джерела переривання, яка називається полігоном, полягає у послідовному перегляді станів тригери прапорців всіх портів вводу-виводу і ПА. Після визначення адреси периферійного пристрою МП передає управління перериває програмі, початковий адреса якої обчислюється на основі адреси периферійного пристрою.

Для реалізації контролерного обміну даними використовуються контролери ПДП, які дозволяють периферійним пристроям звертатися до пам'яті МП-системи, не перериваючи обчислювальний процес. При цьому процедура системних пересилок управляється контролером ПДП і здійснюється без втручання програми МП. Режим ПДП не порушує нормальної роботи МП-системи, а лише призупиняє її на час циклу виконання операцій вводу-виводу.

Для безпосереднього введення інформації  $y_1, y_2, \dots, y_n$  з датчиків в МП-системі є система сполучення з датчиками (ССД), яка містить пристрої введення інформації з аналогових, дискретних датчиків і датчиків переривання. Сигнали управління  $u_1, u_2, \dots, u_m$  на виконавчі механізми  $IM_1, IM_2, \dots, IM_m$  подаються через систему сполучення з виконавчими механізмами (ССІМ), які здійснюють формування, комутація та видачу аналогових і дискретних керуючих впливів на виконавчі механізми аналогового та дискретного дії.

Інтерфейс мікропроцесорних систем. За функціональним призначенням інтерфейси поділяються на магістральні (внутрішні), зовнішні інтерфейси периферійних пристроїв і інтерфейси локальних мереж. Внутрішні інтерфейси забезпечують паралельний спосіб передачі інформації по шині адреси, шині даних і шині управління, при цьому ШД працює в мультиплексного режимі. Для організації взаємодії з периферійними пристроями необхідно забезпечити перетворення сигналів з паралельного формату в послідовний. Периферійні пристрої не мають безпосереднього зв'язку з ША і ШД. Для забезпечення цієї зв'язку застосовуються зовнішні інтерфейсні периферійні пристрої, в яких використовуються паралельний і послідовний способи обміну інформацією.

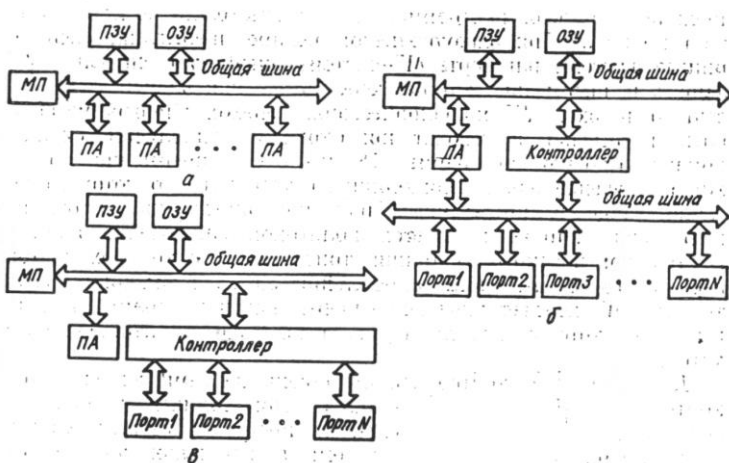


Рис. 3.43 - Магістральна (а), каскадно-магістральна (б) і магістральних-радіальна (в) схеми міжмодульних зв'язків

У МП-системах управління технологічними процесами необхідно реалізувати циклічний збір та обробку інформації або організувати роботу системи в режимі переривань. Для цього доцільно використовувати магістральную, каскадно-

магістральную або магістральної-радіальну схеми межмодульних зв'язків (рис. 3.43 а, б, в). При магістральній організації внутрішньосистемних зв'язків адаптери та порти периферійних пристроїв виступають як комірки пам'яті. За програмно-керованому способі обміну даними структура інтерфейсу МП-системи має вигляд, представлений на рис.3.44, а. Для реалізації контролерного вводу-виводу використовується інтерфейс, структура якого показана на рис. 3.44, б.

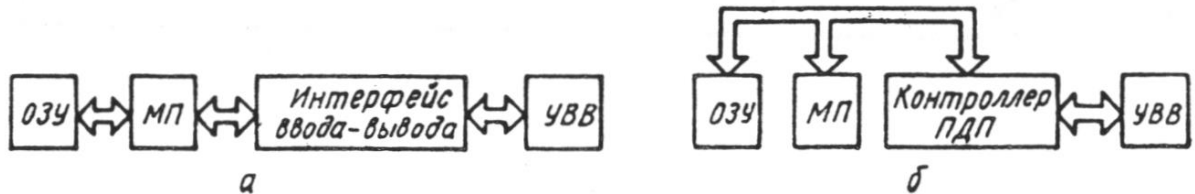


Рис. 3.44 - Структура інтерфейсу МП-системи при програмно-керованому способі обміну даними

Периферійні пристрої не мають безпосереднього контакту з ША і ШД. Замість цього вони підключаються до портів введення і портів виводу, які являють собою спеціальні регістри для тимчасового зберігання бінарної інформації, підключаються до системних шин. Умовне зображення порту в схемах інтерфейсу показано на рис.3.45, де, DS2 - сигнали вибору пристрою (, BK2), MD - вибір режиму роботи (BP); СЗР - гасіння вмісту регістру та тригери прапорця - вихідний сигнал запиту переривання (ЗП) ; STB - сигнал стробірування; DI - вхідна шина; DO - вихідна шина.

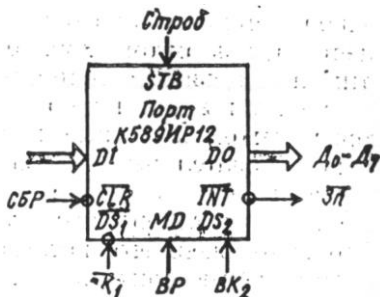


Рис. 3.45 - Умовне зображення порту в схемах інтерфейсу

В якості порту можна використовувати многорежимний буферний регістр К589ИР12, що представляє схему середнього ступеня інтеграції.

В якості програмувальних інтерфейсів периферійних пристроїв (периферійних адаптерів) у складі мікропроцесорного комплексу К580 застосовуються мікросхеми КР580ВВ55 і КР580ІК55, за допомогою яких здійснюється сполучення периферійних пристроїв з ШД мікропроцесора. Спрощена схема програмованого паралельного інтерфейсу (адаптера) наведено на рис.3.46.

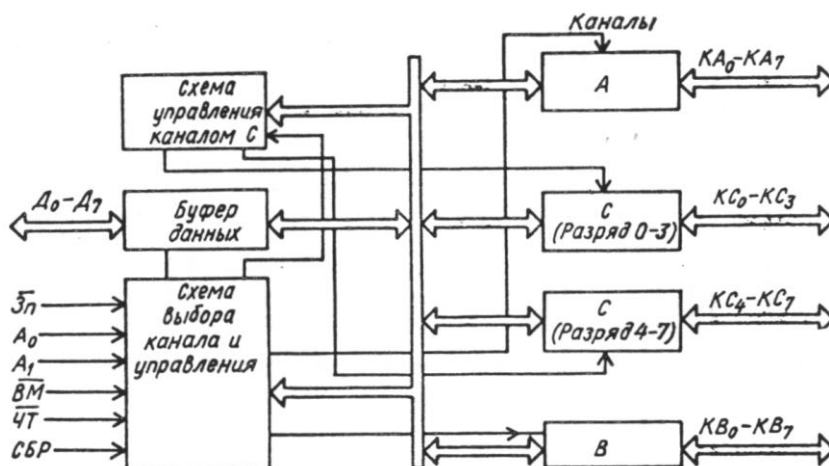


Рис. 3.46 - Спрощена схема програмованого паралельного інтерфейсу (адаптера)

Схема дозволяє здійснити введення та виведення паралельної інформації у вигляді 8-розрядних даних по трьом

каналам: А, В, С. Для передачі інформації між МП і схемою інтерфейсу є двонаправлений шини даних Д0, ... Д7. Схема складається з трьох 8-розрядних регістрів для введення та виведення даних по трьох каналах і регістра управління. При цьому регістр каналу З може бути розділений на два незалежних 4-розрядних регістра; для введення в виведення даних.

Початкова установка регістрів в «0» проводиться по сигналу СЗР. Дані в схему з МП записуються про допомогою імпульсу запису, що подається на вхід ЗП. Для вибору пристрою на вхід інтерфейсу подається кодовий сигнал ВМ. Вибір одного з каналів здійснюється за входу А0-А1, а для видачі даних з внутрішніх регістрів на ШД використовується сигнал ЧТ. Для зв'язку інтерфейсу з зовнішніми пристроями по каналах А, В, С застосовуються відповідні двонаправлений шини даних КА0 ,.... КА7; КВ0 ..... КВ7; КС0 ,..... К С3. Схема інтерфейсу КР580ВВ55 виконує функції проміжного запам'ятовування інформації при асинхронним обміні даними, організації режиму переривання, перетворення формату даних.

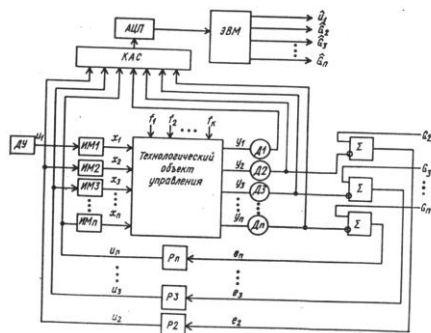
3.8.4 Основні характеристики регулюючих мікропроцесорних контролерів. Їх фізична і віртуальна структури. Принципи технологічного програмування. Досягнення електроніки, пов'язані з появою мікропроцесорів на великих інтегральних схемах, дозволили створити новий клас технічних засобів автоматичного контролю та регулювання. Мікропроцесорні вимірювальні прилади дозволяють проводити первинну обробку одержуваної від датчиків інформації (запам'ятовування, зберігання, згладжування і т. д.) і представляти її в будь-якій зручній, в тому числі і цифровий, формі. Мікропроцесорні регулюючі пристрої носять назву мікропроцесорних контролерів.

Способи управління технологічними об'єктами від керуючих ЕОМ. Управління технологічними об'єктами з використанням керуючих ЕОМ здійснюється трьома способами.

- I. Управління в режимі порадики оператора.
- II. Супервизорное управління.
- III. Безпосереднє цифрове управління (НЦУ).

Блок-схема управління за допомогою ЕОМ в режимі порадики оператора наведено на рис. 3.47. На першому рівні управління розташовані локальні аналогові регулятори Р2, Р3 ..... РП, на входи яких подаються помилки регулювання Е2, Е3, сп. З виходів регуляторів керуючі впливу  $u_2, u_3, \dots, u_n$  надходять на виконавчі механізми (ІМ) та через комутатор аналогових сигналів (КАС) на вхід АЦП, в якому перетворюються в цифровий код і вводяться в ЕОМ. Сигнали вимірювальної інформації  $У1, У2, \dots, у_n$  з виходів датчиків Д1, Д2, .. Дn також вводяться в пам'ять ЕОМ за допомогою КАС і АЦП. У ЕОМ на основі інформації  $u_2, u_3, \dots, u_n$  і  $У1, У2, \dots, у_n$  по алгоритмам оптимізації розраховуються задають впливу (уставки) локальних регуляторів  $G_2, G_3, \dots, G_n$  і управляючий вплив  $u_1$ , яке може бути використане для дистанційного управління виконавчим механізмом ІМ1. Розраховані в ЕОМ зна-ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  $u_1, G_2, G_3, \dots, G_n$  представляються оператора у вигляді роздруківки.

Рис. 3.47 - Блок-схема управління за допомогою ЕОМ в режимі поради оператора



Корекція уставок локальних регуляторів  $G_1, G_2, \dots, G_n$  і дистанційне управління ІМ здійснюються оператором на основі «ради»  $G_2, G_3, \dots, G_n$  отриманого з ЕОМ. Цей режим управління істотно полегшує роботу оператора в усталеного режиму і застосовується при налагодженні нових

програм автоматизованого управління. Недолік цього режиму полягає в обмеженій кількості керуючих впливів, які може реалізувати оператор в одиницю часу. Тому в перехідних режимах навантаження оператора різко зростає і він може не встигнути всі рекомендації ЕОМ виконати вчасно.

У режимі супервізорного управління відбувається автоматична корекція уставок локальних регуляторів за допомогою постійного підключення виходів ЕОМ  $G_2, G_3, \dots, G_n$  через цифроаналогові перетворювачі до уставки локальних аналогових регуляторів. У цьому випадку ЕОМ працює в замкнутому контурі другого рівня управління і використовується для вирішення задач статичної оптимізації технологічних об'єктів керування.

Безпосереднє цифрове управління. При реалізації НЦУ аналоговий автоматичні регулятори замінюються цифровими регуляторами, які виконуються на серійно випускаються керуючих мікроЕВМ або на вбудованих мікропроцесорних системах управління, які спроектовані для реалізації конкретних алгоритмів керування. У підсистемі НЦУ основні функції переробки інформації і формування керуючих впливів виконуються за допомогою обчислювальної техніки. При НЦУ передбачається виконання наступних операцій:

- 1) опитування датчиків регульованої координати  $y(t)$  в дискретні моменти часу, перетворення її з допомогою АЦП в цифровий код і введення в пам'ятовуючий пристрій мікроЕВМ;
- 2) визначення в мікроЕВМ помилки рассогласования між задає впливом  $b$  і змінним значенням  $y(t)$ ;
- 3) формування керуючого впливу  $u(t)$  на основі помилки рассогласования за допомогою алгоритму управління;
- 4) перевірка умови знаходження сформованого керуючого впливу в заданих межах перед видачею на виконавчий механізм;
- 5) перетворення цифрового сигналу керуючого впливу  $i[n, T_0]$  за допомогою ЦАП в аналоговий сигнал, запам'ятовування його на весь період квантування  $T_0$ , видача на виконавчий механізм.

Блок-схема адаптивної системи НЦУ представлена на рис. 3.48 Інформаційна зв'язок між системою управління та ТОУ здійснюється за допомогою датчиків (Д) і виконавчих механізмів (ІМ). Вимірювальна інформація про поточні значення вихідних параметрів  $Y_1, Y_2, \dots$  уп з виходів датчиків  $y$  вигляді аналогових сигналів по черзі підключається за допомогою комутатора аналогових сигналів на вхід аналого-цифрового перетворювача, в якому перетвориться в дискретних (цифрову)

форму представлення. Цифровий код з виходу АЦП, отриманий в результаті перетворення, вводиться в запам'ятовуючий пристрій мікроЕВМ. На мікроЕВМ, розташованій на першому рівні управління, реалізуються алгоритми управління цифрових регуляторів згідно з пп. 2, 3, 4. Управляюче вплив з мікроЕВМ у вигляді цифрового коду через комутатор цифрових сигналів подається на відповідний

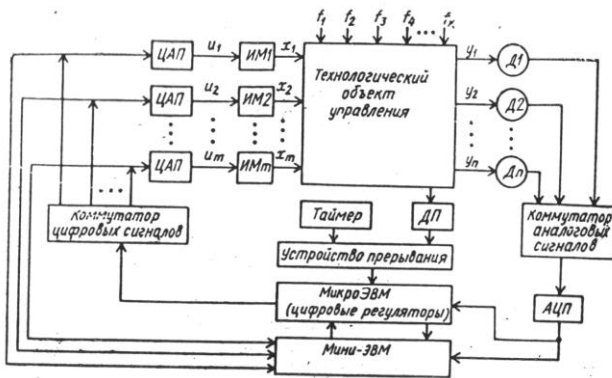


Рис. 3.48 - Блок-схема адаптивної системи НЦУ

цифроаналоговий перетворювач, в якому перетворюється в аналоговий сигнал і подається на виконавчий механізм. На другому рівні управління розташована міні-ЕОМ, на якій реалізуються функції супервізорного управління. При цьому здійснюється автоматична корекція задає впливів (уставок) цифрових регуляторів, а також здійснюється автоматична адаптивна настройка параметрів цифрових регуляторів. Процес адаптивної настройки здійснюється у два етапи. На першому етапі вирішується задача ідентифікації динамічних параметрів об'єкта керування, а на другому - виробляються розрахунок і корекція динамічних параметрів налаштування цифрових регуляторів. Рішення задачі адаптивної настройки параметрів цифрових регуляторів докладно викладено в наступних розділах цього навчального посібника.

Відмінною особливістю роботи мікроЕВМ при реалізації контурів БЦУ є наявність гранично допустимої затримки між моментами введення інформації в мікроЕВМ та визначення значень керуючих впливів, тобто робота мікроЕВМ відбувається в реальному масштабі часу. При реалізації контурів БЦУ застосовується синхронний принцип зв'язку керуючої мікроЕВМ з об'єктом, при якому процес управління розбивається тактируючими імпульсами таймер на такти квантування рівною тривалості  $T_0$ . За час  $T_0$  здійснюється знімання даних з ТОУ, обробка їх у УОМ і видача керуючих впливів на виконавчі механізми.

Для особливо важливих параметрів, що визначають безпеку роботи об'єкта, використовується асинхронний принцип зв'язку з об'єктом, згідно з яким у мікроЕВМ надходять імпульси від датчиків переривання (ДП), які безпосередньо пов'язані с об'єктом. При надходженні імпульсу з ДП тимчасово переривається виконання основної програми, запам'ятовується проміжна інформація, що відноситься до перерваної програмі, виконується підпрограма по сигналу з ДП. Після цього відбувається повернення до перерваної основній програмі, інформація відновлюється і виконання програми продовжується з перерваної команди.

Таким чином, в підсистемі БЦУ на виконавчий механізм надходять сигнали управління безпосередньо від керуючої мікроЕОМ. Якщо виконавчий механізм має цифровий вхід, то на нього подається управляючий вплив у вигляді цифрового коду.

При розробці систем БЦУ необхідно вирішувати такі завдання, як:

- 1) розробка алгоритму БЦУ;
- 2) вибір оптимального періоду квантування (періодичність опитування датчиків і видачі керуючих впливів);

- 3) вибір типу керуючої мікроЕОМ або розробка вбудованої мікропроцесорної системи для реалізації заданих алгоритмів;
- 4) реалізація програмного забезпечення;
- 5) розробка програмних засобів автоматичного контролю для підвищення надійності роботи системи БЦУ в реальному часі;
- 6) виконання вимог до пристрою зв'язку з об'єктом при узгодженні мікроЕОМ і виконавчих механізмів.

Застосування систем НЦУ дає можливість усувати такі недоліки існуючих аналогових систем управління.

1. Динамічні параметри ТОУ змінюються при зміні режиму роботи та стану об'єкта. При цьому для досягнення необхідної якості управління у відповідності з прийнятим критерієм необхідні адаптивна настройка параметрів цифрового регулятора або зміна його структури. Однак у аналогових системах управління адаптивна настроювання параметрів регулятора важко технічно здійсненна.

Системи НЦУ мають практично необмежену гнучкість, в результаті чого структура контурів БЦУ може легко змінюватися за програмою мікроЕОМ, а оптимальні параметри регуляторів БЦУ можуть автоматично коригуватися по заданому критерію при зміні динамічних параметрів об'єкта управління. Аналогові системи управління (СУ) мають обмежену гнучкість. При зміні структури аналогової СУ необхідний перемонтаж обладнання.

Закони управління в системах НЦУ можуть бути такими ж, як і в аналогових СУ, але й значно складніше в залежності від складності завдання і типу технологічного об'єкта управління (наявність суттєвого запізнювання, що змінюється в часі, відсутність самовирівнювання і т. д.). Зміна алгоритмів керування здійснюється програмним шляхом простої заміною програми обчислення керуючих впливів в даному контурі управління.

2. Систему НЦУ можна побудувати при відсутності необхідних датчиків для вимірювання керованих параметрів (складу, концентрації, якості продукту). При цьому неізмряемий параметр обчислюється з математичної моделі, закладеної в програмі мікроЕВМ.

При відсутності датчика для вимірювання керованої координати замкнуту аналогову СУ побудувати неможливо.

3. У системах БЦУ можна компенсувати програмним шляхом недоліки датчиків (нелінійність характеристики, наявність зони нечутливості і зсуву нуля), які в аналогових СУ компенсувати технічно важко.

4. При створенні системи НЦУ можна реалізувати принцип розподіленого цифрового управління, при якому обчислювальні витрати всієї системи розподіляються між кількома територіально розбещення мікропроцесорними підсистемами, які можуть обмінюватися інформацією один з одним. При виході з ладу однієї підсистеми вся система НЦУ продовжує працювати, так як інша підсистема НЦУ виконує функції вийшла з ладу підсистеми. Це підвищує живучість системи НЦУ в цілому.

Типовий контур БЦУ



Структурна схема типового контура НЦУ, що реалізується на базі мікроЕВМ, наведено на рис. 3.49, в якому цифрова управляюча мікроЕВМ виконує функції заданого, порівнюють і керуючого пристроїв. Вихідна регульована величина  $y(t)$  в дискретні моменти часу  $nT_0$  надходить через комутатор  $K_M$  та аналого-цифровий перетворювач. За допомогою комутатора аналогових сигналів (КАС) здійснюється квантування безперервного сигналу за часом з періодом квантування  $T_0$ , в результаті якого координата  $y(t)$  перетворюється в решітчасті функцію  $y[nT_0]$ . У АЦП функція  $y[nT_0]$  перетворюється в цифровий код, який відповідає дискретним значенням функції  $y[nT_0]$ .

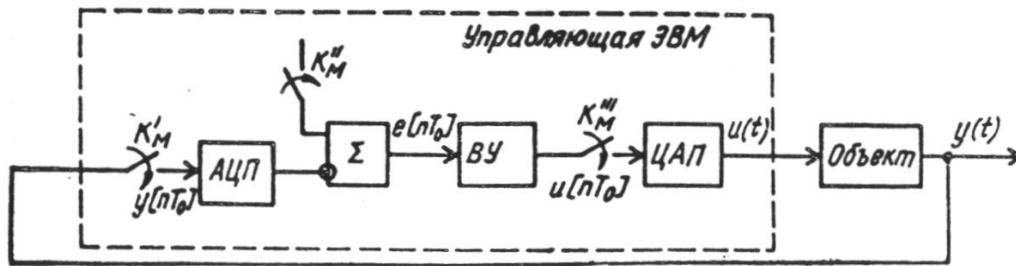


Рис. 3.49 - Структурна схема типового контура НЦУ

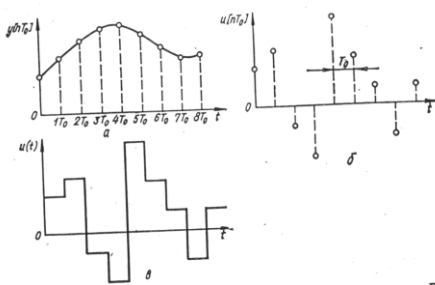


Рис. 3.50 - Послідовність вироблення керуючого впливу

На кожному періоді квантування в порівнюємо пристрої визначається помилка регулювання. Обчислювальний пристрій (ВУ) на основі алгоритму НЦУ формує управляючий вплив  $u[nT_0]$  у вигляді цифрового коду, який через комутатор  $K_M$  в кожний період квантування підключається на вхід цифроаналогового перетворювача. За допомогою ЦАП здійснюється перетворення послідовності значень  $u[nT_0]$  в безперервний сигнал  $u(t)$ , який залишається постійним протягом чергового періоду квантування  $T_0$  до приходу наступного члена послідовності  $u[(n+1)T_0]$  (рис. 3.50).

МікроЕВМ в мультипрограмному режимі обслуговує по черзі кожен контур НЦУ, визначає керуючі впливи  $u_i[nT_0i]$ , де  $i = 1, 2, \dots, p$  - номер цифрового регулятора. За допомогою регістрів цифроаналогових перетворювачів здійснюється запам'ятовування керуючого впливу в кожному контурі НЦУ на весь період квантування  $T_0i$ . Обчислювальний пристрій, за допомогою якого реалізується цифровий регулятор, працює в реальному масштабі часу.

Запитання для самоперевірки

1. Наведіть ілюстрацію компенсаційного методу. Чим компенсується термоЕДС при компенсаційною метод вимірювання?
2. У переносному потенціометрів при контролі роботи схеми в яке положення ставиться перемикач П і яким елементом змінюється стан схеми? Формула для визначення сили струму
3. Ніж у схемі автоматичного потенціометрів замінений нуль-прилад і навіщо?
4. Перерахуйте основні характеристики випромінювання. Рівняння Вина

5. У якийсь момент здійснюється вимірювання температури в оптичному пірометр?

6. Що є чутливим елементом у фотоелектричні пірометр? Які бувають діапазони вимірювання?

7. Які термопари використовують у термобатарее радіаційного пірометр?

8. Які переміщення реостатний перетворювач перетворює в електричний сигнал?

9. Що є чутливим елементом у ферродінаміческом перетворювачі і де він розташований?

10. Як включаються обидві секції вторинної обмотки диференціально-трансформаторного перетворювача і навіщо?

11. На якому явищі заснований принцип дії грузопоршневих манометром?

12. Чим врівноважується різниця тисків в мембранних діфманометрах з вялимі чутливими елементами?

13. До якого типу класифікації відносяться дзвіниці діфманометри (поплавковие, грузопоршневие, деформаційні)?

14. На чому заснований принцип дії датчика тиску Метран-100

15. Перерахуйте випадки і особливості встановлення вимірювального приладу при вимірюванні тиску газу?

16. На якому явищі заснований принцип дії пневмометрических витратомірів? Який тиск сприймає напорні трубка, розташована перпендикулярно потоку?

17. Назвіть діаметр трубопроводів для установки ротаметрів та їх робоче положення.

18. Що таке  $m$  в рівнянні витрати?

19. Як встановлюються електроди в  $e / m$  витратомірів в трубопроводі і навіщо?

Як розширити діапазон вимірювання Метран-300ПР?

1. Які переміщення реостатний перетворювач перетворює в електричний сигнал?

2. Що є чутливим елементом у ферродінаміческом перетворювачі?

3. Як включаються обидві секції вторинної обмотки диференціально-трансформаторного перетворювача і навіщо?

4. На якому явищі заснований принцип дії грузопоршневих манометром?

5. Чим врівноважується різниця тисків в мембранних діфманометрах з вялимі чутливими елементами?

6. До якого типу класифікації відносяться дзвіниці діфманометри (поплавковие, грузопоршневие, деформаційні)?

7. Перерахуйте випадки і особливості встановлення вимірювального приладу при вимірюванні тиску газу?

8. На якому явищі заснований принцип дії пневмометрических витратомірів?

9. Назвіть діаметр трубопроводів для установки ротаметрів та їх робоче положення.

10. Який тиск сприймає напорні трубка, розташована перпендикулярно потоку?

11. Що таке  $m$  в рівнянні витрати?

## Розділ 4. АСУ технологічними процесами

### 4.1. Типові підсистеми автоматичного контролю та керування тепловими процесами

4.1.1. Особливості металургійних печей як технологічних об'єктів керування. Металургійні печі належать до основних агрегатів металургійного виробництва. Теплова енергія - основний вид енергії в металургійних печах - забезпечує протікання відповідних технологічних процесів: плавлення, рафінування, нагрів, термообробку.

Металургійні печі можуть бути класифіковані за наступними ознаками.

За родом використовуваної енергії печі класифікують на:

- а) паливні;
- б) електричні;
- в) хімічні;
- г) змішаного типу.

По режиму роботи (по основній формі теплопередачі) розрізняють печі:

- в) радіаційного режиму;
- б) конвективного режиму;
- в) шарів режиму.

По технологічному, призначенням печі підрозділяють на:

- а) плавильних;
- б) нагрівальні.

Двоїстий характер роботи металургійних печей, що виконують як теплотехнічні, так і технологічні функції, зумовлює необхідність узгодження теплового та технологічного режимів роботи, що істотно ускладнює управління протікають в них процесами.

При розгляді металургійних печей і відбуваються в них процесів як об'єктів автоматичного контролю та регулювання можна відзначити ряд особливостей, що виділяють їх із загального ряду промислових об'єктів контролю і регулювання і накладає специфічні вимоги на автоматизовані системи управління при їх створенні. Ці особливості полягають у наступному.

1. Металургійні процеси в основних агрегатах є, як правило, складними об'єктами, тобто об'єктами, які можна розділити на ряд елементарних ланок, простих об'єктів, простих процесів. Регулювання температури металу, наприклад, у полум'яних печах, відбувається за рахунок спалювання палива і залежить від накладаються в просторі і в часі послідовних процесів аеродинаміки (введення і змішання палива та повітря), хімічних реакцій горіння і процесів теплообміну. З точки зору понять теорії автоматичного регулювання складні об'єкти можуть бути представлені як системи, складені з ряду паралельно і послідовно з'єднаних елементарних (типових) ланок.

Правильне уявлення про складності об'єкта контролю та регулювання - необхідна умова для створення раціональної та ефективної системи автоматичного управління. Так, наприклад, тільки при правильному аналізі механізму теплообміну та руху газів у робочому просторі металургійної печі можна досягти

представницького виміру температури, так як на умовах теплообміну датчика температури з навколишнім середовищем позначаються світіння факела, його конфігурація, швидкість руху продуктів згоряння і т. п.

Фізична складність, багатофакторність процесів виплавки та обробки металу призводять до того, що металургійні печі є багатозв'язаними об'єктами, функціонування яких визначається рядом входних і вихідних величин, испытуюючих взаємні впливи. Наприклад, зміна витрати повітря, що подається в печі, викликає одночасну зміну температури печі, складу газів, які заповнюють робочий простір, і тиску в печі.

2. Переважна більшість металургійних об'єктів належить до систем з розподіленими параметрами, тобто до систем, фізичні характеристики яких - температура, маса, теплові потоки, теплоємність, теплопровідність і т.п. - розподілені в просторі, є функціями координат простору. Наприклад, температурні поля і поля концентрації в доменній печі розподілені в шихтових матеріалах, заповнюють шахту печі висотою до 30 м і більше та діаметром (распара) до 12 м і більше. У методичних печах нагріваються заготовки, які утворюють як би монолітну металеву плиту розмірами до 30 x 10 м і товщиною (0,2-0,3) м, температура металу в якій змінюється від 20-30 ° С у вікна завантаження і до 1250 ° С біля вікна вивантаження з зонами охолодження в місцях дотику металу з гліссажними трубами і з іншими нерівномірності температурного поля.

Процеси, що відбуваються в металургійних печах, підпорядковані закономірностям тепло-і масопереносу, а також перенесення кількості руху.

Диференціальних рівнянь в приватних похідних описується теплопровідність в рухомих тілах. Диференціальними рівняннями в приватних похідних описується також перенесення маси та імпульсу (кількості руху) в рідинах і газах.

У зв'язку з тим, що математичний опис об'єктів з розподіленими параметрами вимагає використання апарату диференціальних рівнянь в приватних виробничих, на відміну від об'єктів з зосередженими параметрами, описуваних звичайними диференціальними рівняннями, теоретичні методи аналізу поведінки систем керування з такими об'єктами є більш складними і мають ряд особливостей .

3. Незважаючи на те, що процеси в металургійних печах в принципі підкоряються основним законам переносу тепла, речовини та імпульсу, в даний час відсутні досить точні математичні моделі реальних виробничих процесів. Існуючі моделі, побудовані на ряді спрощень і припущень, надають велику допомогу в дослідженні й пізнанні металургійних процесів, у визначенні раціональних технологічних і теплотехнічних режимів і способів управління цими режимами. Однак наближеність існуючих моделей не дозволяє вирішити всі ці питання вичерпним чином і знайти строго оптимальні режими, конструкції агрегатів і створити повністю автоматичні системи управління.

4. Складність металургійних процесів та різноманіття обумовлень, доданих в різних місцях агрегатів, призводять до того, що об'єкти характеризуються великим числом величин, які контролюються і керуючих впливів.

Возмущеннями, що впливають на хід доменної плавки, є: коливання хімічного складу і фізичного стану (міцності, крупності) руди, агломерату, коксу, флюсів; неконтрольовані зміни стану шихтових матеріалів в шахті печі (рівень засипки,

зависання матеріалів, прогари в шихти) коливання кількості, тиску і складу дуття; знос конструктивних елементів печі, наприклад Фурма, холодильників, і зміни внаслідок цього умов тепло-і масообміну в реагуючих матеріалах і т. д. Для контролю та управління всім комплексом доменної печі потрібно контролювати понад 100 параметрів - температуру, тиск, витрати, склади, положення, рівні і т.д. Управління доменним процесом може здійснюватися за допомогою змін у співвідношенні кількості звантажених матеріалів, послідовності подач різних складових шихти, змін розподілу матеріалів по периметру шахти печі при завантаженні. Керуючими впливами також є цілеспрямовані зміни витрати дуття, його температури, вологості, зміни витрати кисню і природного газу.

Сучасні безперервні багатозонних протяжні печі для термообробки металеві стрічки обладнані системами автоматичного контролю та регулювання, в яких здійснюються вимірювання багатьох десятків параметрів, що характеризують стан металу і агрегату. У термічних відділеннях цехів, обладнаних колпаковими печами садочного дії, кількість стендів в яких сягає 200 в одному відділенні, системи автоматичного регулювання теплового режиму працюють на основі свідчень близько 300 датчиків температури - термопар, встановлених у кожному стенді та нагрівальному колпаке.

Внаслідок того, що в системах автоматики металургійних агрегатів виконуються численні вимірювання, доводиться застосовувати компактні багатоточечних прилади, машини централізованого контролю, розгорнуті мнемосхеми на щитах, обчислювальні машини для обробки інформації. Велике число керуючих впливів, кожне з яких впливає, частіше за все, на кілька вихідних величин, що вимагає від операторів високої кваліфікації при управлінні процесами, а при створенні автоматичних схем управління потрібні великі дослідження взаємних зв'язків і впливів вхідних і вихідних величин, розробка та приладова реалізація складних алгоритмів управління.

5. Виконання автоматичного контролю основних параметрів на металургійних об'єктах пов'язане зі значними труднощами, зумовленими високими температурами та хімічної агресивністю газів, рідких металів і шлаків, а також недоступність вимірювань в масі твердого металу і сипучих матеріалів.

В даний час практично відсутні матеріали, які витримують досить тривале перебування в розплавленій сталі без зносу, зміни фізико-хімічних властивостей і руйнування. Це ускладнює створення безперервних, що тривалий час працюють датчиків температури і складу металу. Існуючі способи контролю складу металу і шлаку по ходу плавки полягають у періодичному відборі проб з подальшим їх аналізом хімічними, спектрометричними та іншими методами, тобто є дискретними, що ускладнює управління процесами. Автоматичні вимірювання температури та складу газів в товщині шихтових матеріалів доменної печі можливі лише за допомогою дуже міцних водоохлаждаємих зондів, вдвігаємих в товщу матеріалів потужними електроприводами. При цьому вимірювання можуть здійснюватися тільки дискретно, так як великі маси повільно опускаються гарячих матеріалів здатні зруйнувати будь-яку введену в них конструкцію.

Використання пірометрів випромінювання для безконтактного вимірювання температури поверхонь металу обмежується похибками, що виникають із-за змін ступеня чорноти цих поверхонь у процесі, нагрівання та термообробки.

6. Металургійні об'єкти належать, як правило, до класу нелінійних об'єктів, тобто об'єктів, поведінка яких описується нелінійними математичними виразами, наприклад нелінійними диференціальними рівняннями.

Методи аналізу та синтезу нелінійних об'єктів і систем регулювання є значно більш складними, ніж методи аналізу та синтезу лінійних об'єктів та систем регулювання. У ряді випадків можлива апроксимація реальних нелінійних рівнянь наближеними лінійними, що спрощує теоретичне дослідження роботи відповідних об'єктів.

7. Вся послідовність процесів одержання та обробки металу реалізується в агрегатах як безперервної, так і періодичної, циклічної дії. Агрегатами безперервної дії є агломераційні машини, доменні печі (з періодичним випуском чавуну), що розробляються сталеплавильні агрегати безперервної дії (Санд), методичні печі, різні прохідні і протяжні печі для нагріву і термообробки металу. До агрегатів періодичної дії належать мартенівські печі, конвертори, нагрівальні колодязі, різні камерні печі, Колпакова печі і т. д.

Безперервні виробничі процеси легше піддаються автоматизації. Вони характеризуються стаціонарними режимами при відносно невеликих відхиленнях контрольованих параметрів і керуючих впливів від деяких номінальних значень, що спрощує автоматизацію управління ними.

Контрольовані параметри періодичних процесів зазнають, як правило, значно більші коливання, а керуючі впливи можуть варіюватися за абсолютною величиною багаторазово. Наприклад, у фіксованій точці методичної печі під впливом різного роду обурень температура металу може коливатися в межах декількох десятків градусів, а витрата палива, що є керуючим впливом, в межах 10-20%. У камерній печі температура металу змінюється за цикл нагрівання від 20 до 1300 °С, а витрата палива при цьому зменшується в міру прогріву металу і досягає в завершальний період нагріву лише 20-30% максимального витрати в початковий період нагрівання. Настільки глибокі зміни параметрів супроводжуються змінами статичних та динамічних характеристик об'єктів у часі і ускладнюють аналіз та синтез систем автоматичного управління, так як регулятори з постійною структурою та параметрами не можуть забезпечити прийнятну якість регулювання при суттєві зміні характеристик об'єкта. Крім того, значна зміна параметрів ускладнює вибір і роботу вимірювальних і регулюючих органів.

8. Металургійні агрегати належать до енерго-і матеріалоемкої об'єктах. Чорна металургія витрачає близько 20% всього палива, споживаного в країні. Металургійний комбінат середньої потужності, продуктивністю близько 4 млн. т / рік готового прокату, витрачає приблизно 6 млн. т умовного палива, 1,8 млрд. кВтг електроенергії, 1 млрд. м<sup>3</sup> доменного дуття, 780 млн. м<sup>3</sup> стисненого повітря та 360 млн. м<sup>3</sup> кисню. Тенденції розвитку основних металургійних агрегатів характеризуються збільшенням їх ємності та потужності. Освоєні, будуються та розроблені доменні печі об'ємом 2700, 3200 і 5000 м<sup>3</sup>. Киснево-конверторного цехи оснащені конверторами ємністю 250-300 т і більше, мартенівські цехи мають печі

ємністю 600 і 900 т, а електросталеплавильні цехи - дугові печі ємністю 100, 200 т і більше. Настільки потужні агрегати є споживачами величезних кількостей сировини та енергії.

Велика матеріало-та енергоємність металургійного виробництва зумовлює можливість значних економічних ефектів, пов'язаних зі збільшенням продуктивності, зменшенням витрат сировини та енергії, поліпшенням якості готової продукції при впровадженні досконалих систем автоматичного контролю та управління. Наприклад, економія 1% енергії всіх видів на великому металургійному заводі рівноцінна додаткової видобутку 70 тис.т умовного палива.

9. Велика різноманітність конструкцій металургійних печей та видів теплової обробки матеріалів не виключає спільності головних призначень печей - отримання тепла і передачі матеріалу. Це призводить до того, що ряд вузлів, систем автоматичного регулювання різних печей виконує однакові функції і має однакову структурний і апаратурних побудову. Найбільш поширеними в системах автоматизації металургійних печей є вузли:

- 1) регулювання температури в печі;
- 2) регулювання горіння палива, тобто співвідношення паливо-повітря (кисень);
- 3) регулювання тиску в печі;
- 4) регулювання витрат і тиску газу.

Нижче розглянуто основні схемні рішення зазначених вузлів автоматичного регулювання.

4.1.2. Автоматичне регулювання температури в печі. Температурний режим у печі визначає теплопередачу до металу, розподіл температури в масі металу, інтенсивність окалінообразовання, знос конструкцій печі і інші важливі параметри, що характеризують процес теплової обробки матеріалу і роботу агрегату.

Автоматичне регулювання температурного режиму є, як правило, основним завданням системи автоматики металургійної печі.

Автоматичні регулятори забезпечують підтримання заданої температури в робочому просторі нагрівальних колодязів, методичних, Колпакова, баштових та інших печей; вони стабілізують температуру в камері запалювання агломераційного машини, температури дуття, що подається в доменну піч і т.д.

Датчиками температури зазвичай служать термопари або пірометри, межі вимірювань яких відповідають значенням контрольованих температур. Термопари або пірометр встановлюють у небозводі або стіні печі у спеціальній арматурі; пірометр візують, як правило, на дно вогнетривкого склянки. Термопара або вогнетривкий стакан пірометри, завантажені в робочий простір печі, в результаті теплообміну з факелом, гарячими газами і нагрітої поверхні кладки нагріваються до температури, що відповідає деякої середньої температури в робочому просторі або в певній зоні робочого простору печі.

В якості регуляторів температури можна використовувати різні модифікації регулюючих пристроїв - електричних, пневматичних, гідравлічних. Закон регулювання і настройки регуляторів визначається динамічними і статичні характеристики об'єкта і необхідним якістю регулювання.

Тип виконавчого механізму визначається типом регулятора (електричний, пневматичний, гідравлічний) та видом регулюючого органу.

У полум'яних печах регулюючими органами, змінюються витрати газоподібного або рідкого палива, зазвичай є поворотні заслонки і регулювальні клапани різних конструкцій. Для управління електричною потужністю при регулюванні температури в електричних печах виконавчими органами служать реле, контактори та пристрої трансформаторного та вентильного типів, що забезпечують плавна зміна напруги.

Схема регулювання температури з електричним регулятором безперервної дії

Принципна схема регулювання температури у робочому просторі пламенної металургійної печі з електричним регулятором безперервної дії показана на рис.4.1. Температура в печі вимірюється термопарою або пірометром 1 в комплекті з автоматичним показуючим та региструючим потенціометром 9. В потенціометрі є задаючий задавальник ЗД, з якого поступає електричний сигнал відповідної фази на вхід регулятора 8 при відхиленні температури від завдання і ту чи іншу сторону. Регулятор через блок посилення командного сигналу 3 управляє виконавчим механізмом 4, який переміщує регулюючий орган 2, встановлений на підводі палива у піч. При відхиленні температури вище завданої регулятор через виконавчий пристрій та регулюючий орган зменшує витрати палива, а при відхиленні температури вниз від завдання - підвищує.

При ууправлінні виконавчими пристроями управління исполнительними механізмами невеликих потужностей блоки посилення в схемах регулювання можуть біти відсутніми.

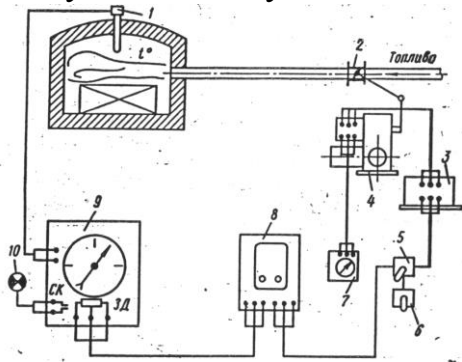


Рис. 4.1 - Схема регулювання температури в печі з електричним регулятором безперервної дії

Для контролю положення вала виконавчого механізму та регулюючого органу служить дистанційний показчик положення 7. Він допомагає контролювати роботу і налагодження системи автоматики, орієнтуватися при ручному дистанційне управління виконавчим механізмом, який може здійснюватися за допомогою перемикачів 5 та 6.

Сигнальний контакт потенціометрів СК і лампа 10 сигналізують про обриви в ланцюзі термопар.

Схема регулювання температури з пневматичним регулятором

Пневматические контури регулювання температури незамінні при створенні систем автоматики пожежо-та вибухонебезпечних агрегатів. Сучасна пневмоапаратура має невеликі габарити і дозволяє створювати компактні вузли регулювання, вона проста і надійна в експлуатації.



Схема пневматичної системи автоматичного регулювання температури в печі показана на рис. 4.2. Датчик температури в печі 1 підключений до електронного показуючого і реєструючого потенціометра 6 з пневматичним регулятором. Очищене у фільтрі 4 стиснене повітря подається до регулятора через панель дистанційного керування 5, в якій передбачено редуктор для стабілізації тиску живлячої повітря, манометр, що показує тиск повітря, і крани перемикання ліній з автоматичного на ручне управління. Для дистанційного ручного управління служать виконавчий механізм і мембранний пневмоприводом 3 при регулює клапані 2 на підводах палива в піч. Крім регуляторів, вбудованих безпосередньо під вторинні прилади, використовують також автономні регулятори, які являють собою окремі прилади-блоки в загальному контурі регулювання.

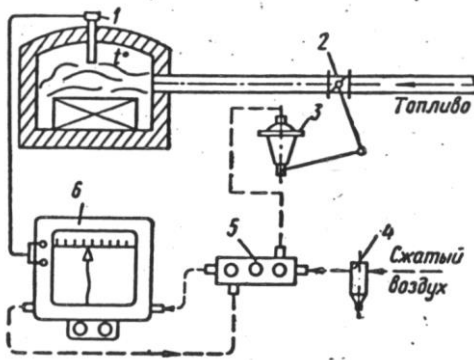


Рис. 4.2 - Схема регулювання температури в печі з пневматичним регулятором

У таких системах датчик температури працює з вторинним приладом, що мають перетворювач з пневмовиходом. Тиск повітря, пропорційне вимірювання температури, від вторинного приладу на регулятор і є входом останнього.

Схема регулювання температури з релейний електричним регулятором

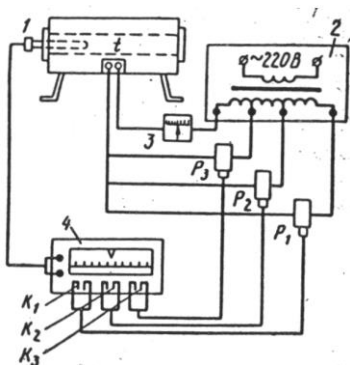


Рис. 4.3 - Схема регулювання температури в печі з релейний електричним регулятором

Схема контуру регулювання температури в печі опору наведено на рис. 4.3. Температура вимірюється датчиком 1 з вторинним приладом 4, в якому передбачено вбудований релейний (позиційний) регулятор і задатчики температури на шкалі. При відхиленні температури вниз або вверх від завдання замикаються відповідно командні контакти регулятора  $K_1$  або  $K_3$ , які через проміжні реле  $P_1$  або  $P_3$  включають максимальне або мінімальне харчування печі електричним струмом від трансформатора 2. Величина струму харчування контролюється амперметр 3. Сходи харчування вибирають так, що при включенні максимального харчування відбувається підвищення температури в печі, а при включенні мінімального харчування - її зниження. Якщо температура в печі дорівнює заданій, то замикається контакт  $K_2$ , і піч включається на деяку середню ступінь харчування, забезпечує температурний режим, близький до заданому, номінальному. Номінальна харчування печі залежить від температури, маси нагрівається матеріалу, стану печі і має налаштовуватись в залежності від зміни цих параметрів.

Правильний вибір середньої ступені харчування зумовлює гарна якість регулювання температури. Для поліпшення якості регулювання можна здійснювати корекцію номінальної величини живлячої струму при зміні завдання на температуру,

маси та виду нагрівається виробів і ступеня зносу 'печі, від якого залежать теплопередача до виробів і теплові втрати в навколишнє середовище.

Описана трипозиційний схема регулювання стає двопозиційний, якщо в регулятори використовувати тільки командні контакти К1 і К3 і, отже, тільки два ступені харчування печі. Двопозиційна система дещо простіше, але якість регулювання дає порівняно гірше, ніж трипозиційний система; двопозиційний систему застосовують у тих випадках, коли вона задовольняє конкретним вимогам, що пред'являються до точності підтримки температурного режиму.

4.1.3. Автоматичне регулювання горіння (співвідношення паливо-повітря). Автоматичне регулювання співвідношення витрат палива і повітря (кисню) забезпечує виконання необхідних умов спалювання палива. Ці умови в загальному вигляді можна сформулювати наступним чином:

- 1) паливо повинно спалювати економічно;
- 2) при спалюванні палива необхідно, щоб у печі зберігалися найкращі умови теплообміну факелу з металом і кладкою;
- 3) спалювання палива повинно бути організовано таким чином, щоб у печі підтримувалася газова атмосфера необхідного складу.

В залежності від типу печі система автоматичного регулювання вирішує одну із зазначених завдань або їх сукупність.

Чисельно співвідношення паливо-повітря визначається коефіцієнтом витрати повітря, тобто, для точного визначення коефіцієнта витрати повітря необхідно знати витрати палива і повітря і склад палива.

Як показують дослідження, при спалюванні газоподібного та рідкого палива, максимальна температура в печах досягається при значеннях  $\alpha$ , рівних відповідно 1,05-1,15 і 1,15-1,25.

Таким чином, якщо необхідна найбільша швидкість нагрівання металу і економічне спалювання палива, в печі потрібна максимальна температура, для чого система автоматичного регулювання повинна підтримувати коефіцієнт расхода повітря на відповідному рівні. У термічних печах часто виникають інші завдання, пов'язані з тим, що повітря Підіймайся подавати з надлишком для зниження температури факелу з метою запобігання перегріву виробів та кладки і забезпечення рівномірного нагрівання садки.

Коефіцієнт витрати повітря впливає не тільки на теплообмін, але й на масообмін в печах; зміни величини  $\alpha$  супроводжується змінами складу пічний; атмосфери. При  $\alpha < 1$  в печі створюється відновна атмосфера, а при  $\alpha > 1$  - окислительно. Неправильне регулювання витрати повітря може привести до підвищеного окислення металу та істотного погіршення економічних показників роботи агрегату. У печах безокислительного нагрєва, які працюють з нестачею повітря горіння для створення безокислительной атмосфери в зоні високотемпературного нагрєву, регулювання коефіцієнта витрати повітря виключає окалинообразование на поверхні металу. У таких печах коефіцієнт  $\alpha$  підтримується на рівні 0,45-0,55.

Автоматичне регулювання співвідношення витрат палива і кисненосія на більшості печей здійснюється за допомогою регуляторів співвідношення різних

типів. Зазвичай провідним потоком у схемі опалення та автоматичного пропорціонування є паливо, витрата якого визначається регулятором температури. Регулятор співвідношення отримує інформацію про витрати палива і повітря та керує потоком повітря, що є, таким чином, відомості потоком. Іноді застосовують зворотну схему, в якій провідним потоком служить повітря, а ведений - паливо. Витрати газоподібного палива і повітря вимірюють відповідними витратоміра, наприклад дроселіруючі пристроями: діафрагми, соплами, трубами Вентурі. Витрата мазуту вимірюють витратоміра постійного перепаду або об'ємними витратоміра.

Регулювання співвідношення на основі інформації про витрати палива і повітря, підведених до печі, має ряд недоліків. По-перше, на ділянках повітроводи, розташованого після вимірювального пристрою, можуть відбуватися втрати повітря внаслідок вибивання, особливо через нещільності в кладці рекуператором, регенератори, каналів та робочого простору, що спотворює відрегульоване коефіцієнт витрати повітря.

По-друге, коефіцієнт витрати повітря може спотворюватися за рахунок похибок у вимірюванні витрат і з-за коливань складу палива.

По-третє, системи регулювання співвідношення досить точно підтримують заданий коефіцієнт витрати повітря при зміні витрат середовищ в межах від 100 до 35%. При роботі печей періодичної дії можуть відбуватися набагато більш значні, наприклад 5 - 6-кратні зміни витрат палива і повітря. При цьому перепади статичних тисків на дроселіруючих органах, що є мірою витрат, змінюються в 25-26 разів, що призводить до втрати чутливості вимірювальної апаратури на малих витратах і до великих помилок вимірювань і регулювання коефіцієнта витрати повітря. Для ряду печей указаные недостатки не имеют существенного значения и регулирование коэффициента расхода воздуха на подводе к печи является удовлетворительным.

У деяких випадках доцільно здійснювати процес регулювання на основі контролю складу продуктів згорання палива. Для контролю коефіцієнта витрати повітря при неповному згоранні палива необхідно виконувати аналіз продуктів згорання на  $O_2$ ,  $CO$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$  і  $CO_2$ .

При повному згоранні достатньо проводити аналіз на  $O_2$  і  $CO_2$ . Застосування автоматичних газоаналізаторів та обчислювальних пристроїв для розрахунків коефіцієнта витрати повітря дозволяє безперервно контролювати якість спалювання палива та створювати системи регулювання співвідношення з корекцією завдання регулятора за складом продуктів горіння.

Схема системи автоматичного регулювання співвідношення паливо-повітря

Схема системи автоматичної стабілізації коефіцієнта витрати повітря показана на рис. 4.4. Витрати палива (газу) і повітря вимірюються діафрагма 1 і 2, перепади тиску з яких надходять на дифманометри 12 та 13. З вихідних електричних датчиків дифманометров сигнали подаються на вторинні реєструють і показують прилади 10 і 11 та на електричний регулятор Р. Завдання на регулювання встановлюється дистанційним Датчик 8. З виходу регулятора керуючий сигнал через універсальні ключі 6 і 5 надходить на виконавчий механізм 4, вал якого сочленен з валом регулюючого клапана 3 на повітропроводів.

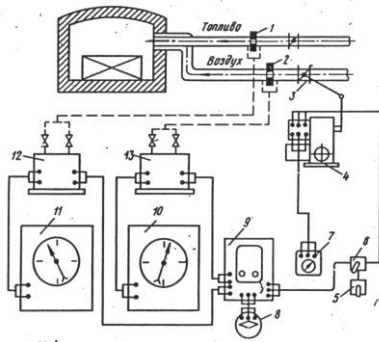


Рис. 4.4 - Схема регулювання співвідношення паливо-повітря

Значення коефіцієнта витрати повітря визначається співвідношенням витрат, тобто величин сигналів, які надходять на регулятор з вихідних електричних датчиків дифманометров-витратомірів. При відхиленні цього співвідношення від заданого значення, що відповідає заданому коефіцієнту витрати повітря, регулятор через виконавчий механізм і регулюючий орган змінює витрата повітря. При зниженні коефіцієнта витрати повітря регулятор збільшує витрата повітря, а при завищенні - зменшує.

За допомогою універсальних ключів 5 і 6 здійснюється перехід з автоматичного керування на ручне дистанційне управління виконавчим механізмом. У системі передбачений дистанційний показчик положень вала виконавчого механізму та регулюючого органу 7.

У тих випадках, коли печі опалюються паливом двох видів, наприклад мазутом і газом, а кисень, необхідний для горіння, подається більш ніж по одному каналу, наприклад, у вигляді повітря і технічно чистого кисню, структура схем регулювання горіння залишається незмінною. Сигнали витратомірів палива складаються і подаються на відповідний вхід регулятора, на інший вхід подається сигнал, пропорційний сумі витрат кисню, що надходить з кожним із кіслородоносітелів. Регулятор керує витратою одного з кіслородоносітелів, забезпечуючи якісне спалювання палива.

Схема системи автоматичного регулювання співвідношення паливо-повітря з корекцією по складу продуктів згорання

Можливість контролю коефіцієнта витрати повітря за складом продуктів згорання використовують при регулювання співвідношення паливо - повітря. Принципова схема системи регулювання співвідношення з корекцією по складу продуктів згорання показана на рис. 4.5.

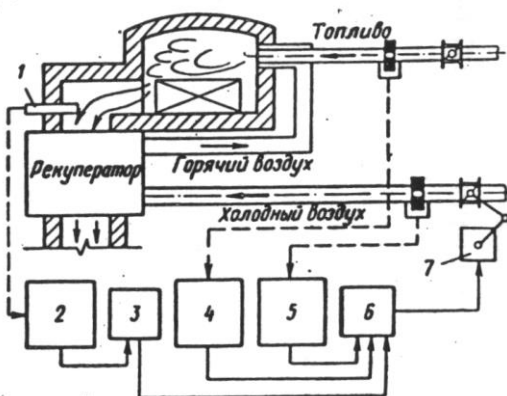


Рис. 4.5 - Схема регулювання співвідношення паливо-повітря з корекцією за складом продуктів горіння

Дроселюючі пристрої з витратоміра 4 і 5, регулятор 6 і виконавчий механізм 7 при регулюючому органі на повітропроводів утворюють стандартний вузол пропорціонування витрат. Проби продуктів згорання, залишали робочий простір печі, безперервно відбирають за допомогою водоохолоджуваної фурми 1 перед рекуператором Р і подаються до газоаналізатори

2. Результати аналізу надходять в коригувальний блок 3, який впливає на Задатчики регулятора 6.

При повному спалюванні палива в відхідних газах присутні горючі складові, і прилад 2 в цьому випадку представляє собою газоаналізатор на кисень. При неповному згоранні палива комплект газоаналізаторів є більш складним, він включає в себе прилади або блоки для контролю кількості горючих складових.

Якщо система працює з використанням газоаналізатора на кисень, то в блок 3 введене завдання процентного вмісту кисню, і схема забезпечує безперервне порівняння поточного значення вмісту кисню з заданим. При появі відхилення поточного значення від заданого виробляється коригувальний сигнал, змінює завдання регулятору співвідношення. При неповному згоранні палива блок 3 здійснює автоматичний безперервний розрахунок коефіцієнта витрати воздуха і має задатчики  $\alpha$ . Відхилення поточного значення  $\alpha$  від заданого супроводжується появою коригуючого сигналу. Завдання на вміст кисню або  $\alpha$  залежать від конструкції і режиму агрегату і визначаються попередніми теплотехнічними випробуваннями.

Система регулювання працює наступним чином. Якщо, наприклад, з-за зносу рекуператори збільшаться втрати повітря в димовій тракт, то це викличе зменшення фактичного витрати повітря, що подається на пальник, і відхилення (зменшення) вмісту кисню в продуктах згорання від заданого значення. Коригувальний блок 3 сприйме інформацію від газоаналізатора та подасть команду на зміну завдання регулятору 6, щоб компенсувати втрати повітря в рекуператори. Аналогічно система спрацює і при інших обурення, пов'язаних з відхиленнями фактичного коефіцієнта витрати повітря від заданого.

4.1.4. Автоматичне регулювання тиску в печі. Від режиму тиску в робочому просторі печі залежить якість нагрівання металу і економічність роботи агрегату. Надмірно високий тиск в пламенній печі призводить до вибивання газів через нещільності в кладці, завантажувальні вікна та гляделкі в навколишнє середовище. При цьому з робочого простору уносить тепло, викликається прискорений знос зовнішніх конструкцій печі, стає трудним візуальний контроль та обслуговування агрегату і забруднюється атмосфера цеху. При надмірно низькому тиску в робочий простір засмоктує холодний атмосферне повітря, знижуючи температуру в печі, нерівномірно прохолоджуючи кладку, метал і викликаючи додаткове окалинообразование. Таким чином, як завищення, так і заниження тиску призводять до перевитрат палива та погіршення роботи агрегату.

Найбільш раціональним для негерметична полум'яних печей є режим, при якому на рівні пода підтримується нульове тиск. При цьому подоси холодного повітря відсутні, і спостерігається лише слабе вибивання газів у зв'язку зі зростанням геометричного напору по висоті робочого простору.

У термічних печах з захисними та спеціальними атмосфера для безокислительной і термохіміческой обробки металу тиск підтримують на такому рівні, щоб звести до мінімуму втрати газів, заповнюють піч, і виключити подоси навколишнього повітря.

Вимірювання тиску здійснюють зазвичай під склепінням печі. Абсолютні величини тиску у робочих просторах полум'яних печей невеликі і складають в середньому 40-100 Па.

#### Схема системи автоматичного регулювання тиску в печі

Схема системи автоматичного регулювання тиску в методичній печі показана на рис. 4.6. Продукти згорання з робочого простору методичної печі I через рекуператори II і димопроводи видаляються ексгаустером III або димовою трубою IV. Продукти згорання транспортуються через котел-утилізатор V при закритому димовій клапані VI. При зупинці котла-утилізатора або ексгаустера продукти згорання видаляються димовою трубою при закритому клапані VIII. Клапан переміщується електроприводом 2 з дистанційним управлінням.

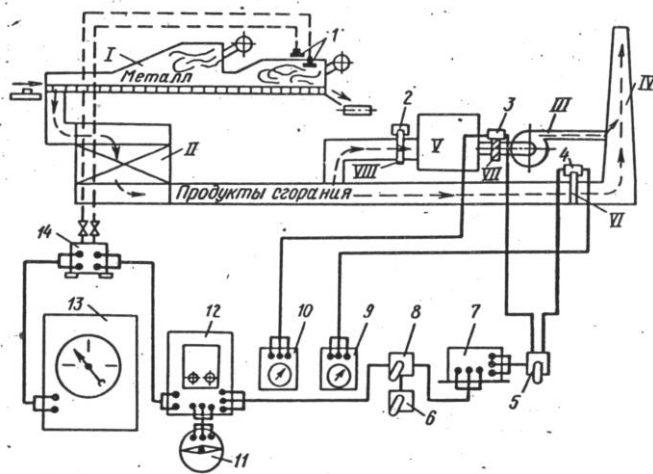
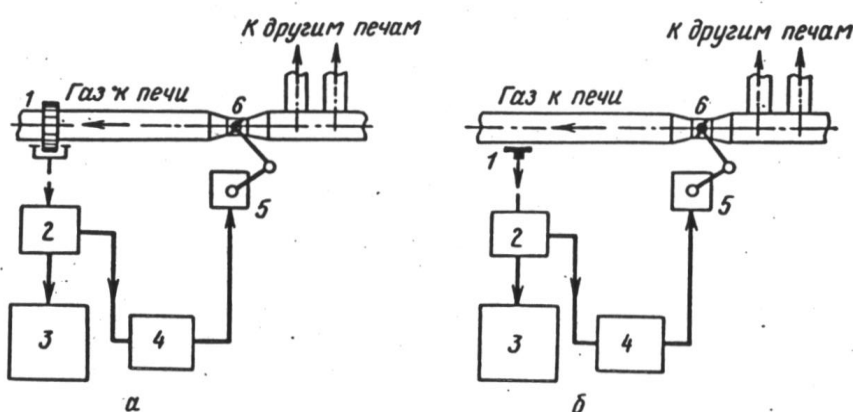


Рис. 4.6 - Схема регулювання тиску в печі

Вимірювання тиску здійснюється добірним пристроєм 1 через звід печі в томільній зоні. Імпульсна і компенсаційна лінії підводять до дифманометру 14, сигнали з електричних датчиків якого надходять на вторинний реєструючий прилад 13 і електричний регулятор 12 з задатчика 11. Через ключі 8 та 6 переводять систему з управління вручну на автоматичне; блок посилення 7 і ключ 5 управляє виконавчими механізмами 4 і 3 при регулюючих органах VI та VII. Ключ 5 служить для підключення регулятора до приводу 4 або 3 в залежності від режиму роботи агрегату. Димопроводи потужних промислових печей мають великі розміри і в них передбачені регулюючі органи, які потребують значних перестановочних зусиль. Тому в електричних схемах регулювання застосовують виконавчі механізми, комплектуємі з підсилювачами командних сигналів 7. Положення регулюючих органів контролюється за допомогою дистанційних покажчиків 10 та 9, що встановлюються на щиті автоматики печі.

При відхиленні тиску в печі від заданого рівня або при зміні завдання на вході регулятора 12 з'являються сигнали небаланса. Регулятор формує керуючий сигнал, який через виконавчі механізми 4 або 3 переміщує регулюючі органи VI або VII. При цьому змінюються розрідження в димопроводі і тиск в печі і усувається виникло відхилення параметра від завдання.

При відхиленні тиску в печі від заданого рівня або при зміні завдання на вході регулятора 12 з'являються сигнали небаланса. Регулятор формує керуючий сигнал, який через виконавчі механізми 4 або 3 переміщує регулюючі органи VI або VII. При цьому змінюються розрідження в димопроводі і тиск в печі і усувається виникло відхилення параметра від завдання.



4.1.5. Автоматичне регулювання витрат і тиску газу та рідини. У системах автоматики металургійних печей широко поширені вузли

автоматичної стабілізації витрат і тиску газу та рідини. Необхідність у автоматичної стабілізації витрат виникає, наприклад, при регулюванні теплової, навантаження мартенівської печі, регулювання витрати дуття на доменних печах, дозуванні витрат захисного газу в термічних печах автоматично і т.д. Стабілізація тиску газоподібного палива, кисню, повітря забезпечує номінальну роботу пальникових пристроїв; без підтримки заданого тиску газоподібної середовища неможливо точне вимірювання її витрати, так як автоматичні витратоміри розраховані на роботу з певним тиском вимірюється газу.

У контурах регулювання витрат і тиску застосовують електричну, пневматичних і гідравлічних апаратуру.

### Запитання для самоперевірки

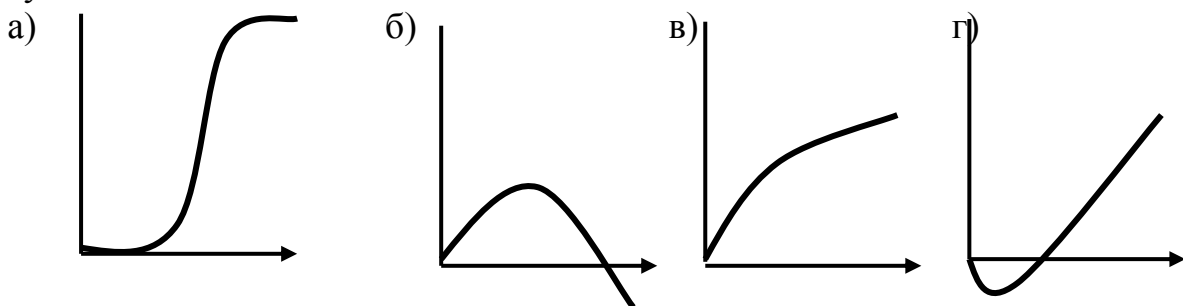
3. Що є ванна мартенівської печі як об'єкт автоматичного регулювання рівня?

- а) лінійний; б) нелінійний;
- в) з саморегулювання; г) без саморегулювання.

4. Що береться за основу роботи системи автоматики доменної печі?

- а) стабілізація температури та витрати шихти;
- б) стабілізація матеріального балансу теплоносія та робочого тіла, а також енергетичного балансу;
- в) стабілізація тиску в топці котла, горіння та витрати палива;
- г) стабілізація газодинамічного опору, тиск та температура дуття.

5. Визначте вид передавальної функції та графічне зображення часової характеристики повітряного циклону при обуренні навантаженням технологічного процесу:



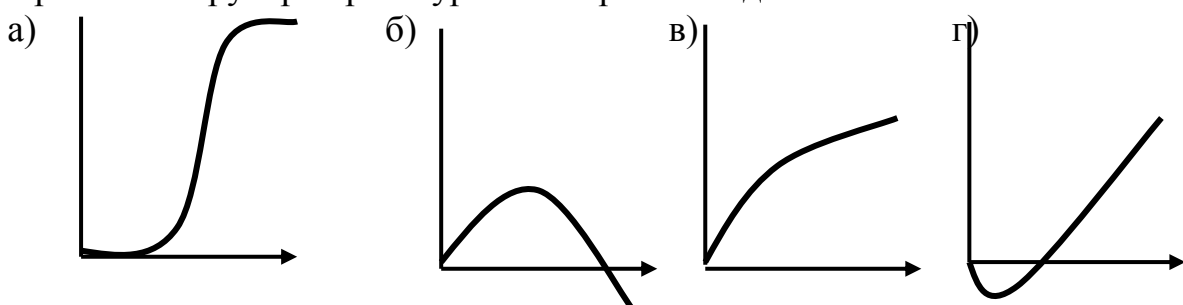
д)  $W(p) = \frac{1}{T_1 p} \cdot \frac{K}{T_2 p + 1}$

е)  $W(p) = \frac{1}{T_1 p} - \frac{K}{T_2 p + 1}$

ж)  $W(p) = \frac{1}{T_1 p} + \frac{K}{T_2 p + 1}$

з)  $W(p) = \frac{K}{T_2 p + 1} - \frac{1}{T_1 p}$

6. Визначте вид передавальної функції та графічне зображення часової характеристики скрубера при обуренні витратою води:



$$\text{д) } W(p) = \frac{1}{T_1 p} \cdot \frac{K}{T_2 p + 1} \quad \text{е) } W(p) = \frac{1}{T_1 p} - \frac{K}{T_2 p + 1} \quad \text{ж) } W(p) = \frac{1}{T_1 p} + \frac{K}{T_2 p + 1}$$

$$\text{з) } W(p) = \frac{K}{T_2 p + 1} - \frac{1}{T_1 p}.$$

7. Які використовуються системи регулювання рівня води в барабані котлоагрегата?

- а) одноімпульсні з реалізацією принципу за відхиленням параметра, що регулюється;
- б) одноімпульсні з реалізацією принципу за обуренням;
- в) двоімпульсні: за навантаженням та витратами підпиточної води;
- г) багатоімпульсні: основний імпульс за відхиленням параметра та допоміжні – за навантаженням та витратами підпиточної води.

8. За якими вхідними параметрами здійснюється регулювання продуктивності в установках хімічного очищення води?

- а) за расходом води до та після очищення;
- б) за расходом та тиском води;
- в) за рівнем та тиском води в резервуарі;
- г) за рівнем в резервуарі та витратами води на виході з резервуара.

9. В якому вигляді подається значення параметра на вхід регулятора деаераційних установок?

- а) у натуральному вигляді;
- б) чрез виконавчий механізм;
- в) через регулюючий орган;
- г) через перетворювач.

10. Які параметри регулюються в деаераторах?

- а) Витрати води, рівень води та вміст кисня;
- б) тиск, витрати пари, вміст азоту;
- в) рівень води, тиск;
- г) витрати пари, витрати води.

11. Які параметри контролюються в деаераторах?

- а) температура пари, температура очищеної води, вміст кисню у воді;
- б) рівень води, температура води на вході в деаератор, витрати пари;
- в) рівень води в деаераторі, тиск в деаераторі, вміст кисню у воді.

12. Які параметри регулюються у редуційно-охолоджувальній установці?

- а) температура та витрати острої пари;
- б) тиск та температура пари, що редуціюється;
- в) температура та витрати пари, що редуціюється;
- г) витрати острої пари та температура пари, що редуціюється.



13. Які параметри контролюються у редуційно-охолоджувальній установці?

- а) витрати, тиск та температура острої пари, температура пари, що редуцюється, витрати та температура води;
- б) витрати, тиск та температура острої пари, тиск пари, що редуцюється, тиск та температура води;
- в) витрати, тиск та температура острої пари, тиск і температура пари, що редуцюється;
- г) витрати, тиск та температура води, тиск і температура пари, що редуцюється.

14. Які способи регулювання температури використовуються в водо-водяних підігрівачах?

- а) за температурою зливу або конденсата шляхом зміни витрат гріючої пари;
- б) за температурою на прямому та обвідному каналах шляхом зміни витрат нагрітої води;
- в) за температурою підігрітої води або на зливі шляхом зміни витрат гріючої або холодної води по обвідному каналу;
- г) за температурою підігрітої води шляхом зміни витрат холодної води.

15. Яким чином здійснюється стабілізація температури води у паро-водяному підігрівачі?

- а) зміною витрат холодної або ж підігрітої води;
- б) зміною швидкості зливу конденсату або ж підігрітої води;
- в) зміною витрат холодної води або швидкості зливу конденсата;
- г) зміною співвідношення витрат холодної води по основному та обвідному каналу або витратою пари.