

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

КАФЕДРА ХІМІЇ І ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
(ОПОРНИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ)

**з дисципліни «Контроль та керування хіміко-
технологічними процесами виробництва альтернативних
палив»**

Укладач: к.т.н.,
доцент Трофімов І.Л.
(науковий ступінь, вчене звання, П.І.Б. викладача)

ЗМІС

Модуль №1. Головні поняття про автоматизацію

Лекція 1.1. Головні поняття про автоматизацію

Лекція 1.2. Елементи систем автоматизації та їх класифікація.

Лекція 1.3. Стійкість системи та критерії їх визначення

Лекція 1.4. Модульна контрольна робота №1

Модуль №2. Основи контролю та керування хіміко-технологічних процесів

Лекція 2.1. Задачі контролю та керування технологічних процесів

Лекція 2.2. Комплексна та часткова автоматизація. Види автоматизації

Лекція 2.3. Контроль та керування хіміко-технологічних та біотехнологічних процесів

Лекція 2.4. Контроль та керування виробництв хімічної технології

Лекція 1.1. Головні поняття про автоматизацію

Під *автоматизацією* розуміється процес в розвитку технологічних процесів, при якому функції контролю та керування, що раніше виконувались людиною, передається приладам і автоматичним пристроям.

Автоматизація полегшує фізичну працю, підвищує надійність роботи механізмів і машин, значно підвищує продуктивність праці та ефективність техніки в цілому.

Керування складною технікою і швидкоплинними процесами без автоматизації не завжди можливо, через те що людина має певну точність рухів, реакцію і надійність.

Необхідність автоматизації визначається значним зростанням потужності, продуктивності, обсягів, інтенсифікацією технологічних процесів.

Система промислових приладів і засобів автоматизації забезпечує можливість розробки автоматичних пристроїв і їх впровадження за єдиним принципом, правилами і нормами.

Державна служба приладів (ДСП) – це сукупність виробів (елементів), призначених для одержання, обробки, віддзеркалення, видачі командної інформації та використання її в процесах автоматичного вимірювання, контролю, регулювання та керування (управління).

ДСП будується за модульно-блочним принципом з додержанням метрологічного, функціонального, енергетичного та конструктивного спряження.

Вироби, що входять в ДСП, побудовані на основі базових конструктивно-завершених елементів, що мають високий ступінь уніфікації та підвищеним рівнем технологічності їх виробництва.

Стандартні уніфіковані конструкції відкривають можливість компоновки різноманітних за призначенням і призначенням автоматичних пристроїв і систем з обмеженого числа елементів.

Умовно основними вважають системи автоматичного вимірювання, контролю, регулювання і управління (САВ, САК, САР, САУ).

За сутністю функціонування виробів ДСП використовують поняття „інформація” та „сигнал”.

Інформація – в системах автоматики це відомості про характер і стан процесів, що виражені за допомогою сигналів на заданій алгоритмічній мові.

Сигнал – фізична речовина чи енергетична величина, що передає необхідні відомості у процесі роботи автоматичного пристрою.

Речовинну величину сигналу представляють знаками або символами на перфокартах чи перфострічках; енергетичну – у вигляді електричної, пневматичної чи гідравлічної енергії.

За формою сигнали можуть бути безперервні (аналогові) і перервні (дискретні).

Сигнали у аналоговій формі широко застосовуються в автоматичних пристроях технічних засобів.

Дискретна форма сигналу визначається параметрами поєднання імпульсів чи цифровим кодом. Дискретна форма все більше замінює аналогову, що дозволяє широко застосовувати в автоматичних пристроях мікропроцесори та інші цифрові вироби.

Класифікація автоматичних пристроїв

Автоматичні системи та їх функціональні елементи класифікують за:

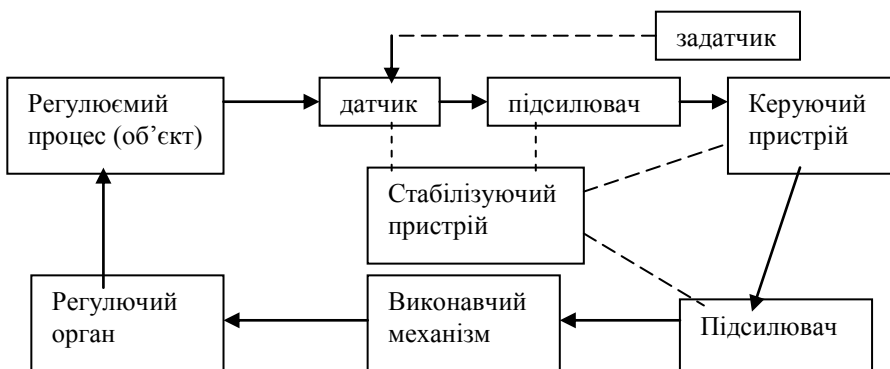
- функціональним призначенням;
- видом енергії;
- стійкістю до механічних впливів;
- захищеністю від дії оточуючого середовища;
- стійкістю до впливу температури, вологості оточуючого повітря;
- класом точності.

За функціональним призначенням вся багатоманітність автоматичних пристроїв (елементів) можна об'єднати у чотири основні групи:

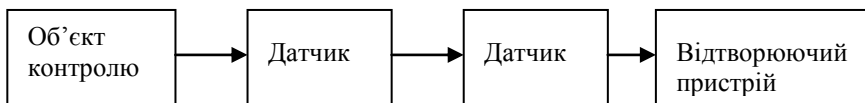
- I група – для одержання інформації про стан процесу (датчики – первинні перетворювачі);
- II група – для перетворення і передачі інформації (перетворювачі і підсилювачі);
- III група – для обробки інформації та вироблення команд управління (керування) (задатчики, елементи порівняння, керуючі пристрої);

IV група – для формування команди впливу на регулюємі процеси чи для забезпечення необхідною інформацією оператора (виконавчі механізми і відтворюючі механізми).

Функціональні елементи автоматичних пристроїв в залежності від їх взаємодії умовно об'єднують у замкнуті системи автоматики (САР і САУ) і розімкнені системи (САВ і САК).



а)



б)

Рис.1. Структурні схеми автоматики:

а) – замкнена система; б) – розімкнена система.

Замкнена система автоматики (рис. 1а) застосовується для регулювання різних показників параметрів (наприклад, рівень рідини, тиску, температури, частоти обертання) і керування процесами.

Замкнена система працює таким чином. Датчик сприймає зміну показника параметру регулюємого процесу (об'єкта) і виробляє сигнал, який через підсилювач надходить на керуючий

пристрій, де він порівнюється з величиною регулюємого параметра, встановленого задатчиком, і де виробляється керуючий сигнал, що надходить через підсилювач на виконавчий механізм, який через регулюючий орган впливає безпосередньо на регулюємий процес. Відбувається відновлення регулюємого параметру, при цьому стабілізуючий пристрій забезпечує необхідну стійкість і точність регулювання.

Розімкнена система (рис. 1б) застосовується для автоматичного вимірювання параметрів об'єкта контролю. При роботі цієї системи зміни параметрів об'єкта контролю діють на датчик, сигнал якого через підсилювач надходить на сприймаючий пристрій, де відбувається автоматично реєстрація параметрів.

Системи автоматики, пов'язані з кодуванням, дешифруванням і передачею сигналів на значній відстані по каналах зв'язку, називаються *телемеханічними*.

За видами енергії автоматичні пристрої на:

- електричні;
- пневматичні;
- гідравлічні;
- механічні;
- комбіновані;
- пристрої без використання додаткової енергії.

По стійкості до механічних впливів автоматичні пристрої поділяються на звичайного і вібростійкого виконання.

За захищеністю від впливу оточуючого середовища автоматичні пристрої мають виконання:

- звичайне;
- пило захищене;
- вибухозахищене;
- брызкозахищене;
- герметичне;
- вологозахищене;
- захищене від агресивного середовища;
- поєднання елементів різних виконань.

За стійкістю до температури і вологості оточуючого повітря (відносна вологість 30 – 80%) автоматичні пристрої поділяються на чотири групи:

I група -50°C...+50°C;

II група $-30^{\circ}\text{C}\dots+50^{\circ}\text{C}$;

III група $+5^{\circ}\text{C}\dots+50^{\circ}\text{C}$;

IV група $+10^{\circ}\text{C}\dots+35^{\circ}\text{C}$.

Клас точності автоматичних пристроїв встановлюють з умови забезпечення заданих відхилень показників параметрів процесу, що регулюється і метрологічного спряження з вимірювальними приладами.

Вимірювальні перетворювачі, регулятори, виконавчі пристрої автоматичних систем регулювання (АСР)

В теперішній час при розробці вимірювальних пристроїв, регуляторів та інших засобів автоматизації передбачається їх стандартизація в рамках Державної системи приладів і засобів автоматизації (ДСП).

ДСП – це сукупність виробів, що слугують для одержання, обробки та використання інформації; її пристрої призначені для локальних АСР, САК технологічних процесів тощо.

Вироби ДСП будуються на основі базових конструкцій з уніфікованими структурами, сигналами, джерелами живлення, конструктивними параметрами. Це дозволяє мати загальну технологічну базу для виробництва виробів, що забезпечує їх взаємокомплектність і взаємозамінність, високу точність і довговічність.

В ДСП стандартизовані параметри вхідних і вихідних сигналів і джерел енергії, елементи, блоки і модулі приладів і пристроїв, їх приєднувальні, габаритні і монтажні розміри.

В нормалізований ряд приладів і засобів автоматизації входять первинні перетворювачі і вимірювальні прилади, перетворювачі для одержання нормативних сигналів, регулятори, обчислювальні, функціональні і логічні блоки, запам'ятовуючі пристрої, вторинні прилади, цифродрукуючі пристрої, виконавчі пристрої та інші.

По роду енергії, що використовується для передачі інформації і команд управління (керування), в ДСП є три гілки:

- 1 – електрична – пристрої якої мають високу точність, швидкодію, забезпечують велику дальність і ємкість каналів передачі інформації;

- 2 – пневматична – пристрої якої характеризуються безпечністю роботи у легкозаймистих і вибухонебезпечних середовищах;
- 3 – гідравлічна – пристрої якої забезпечують точне пересування виконавчих органів і значні (великі) перестановці зусилля (силові циліндри).

За функціональним призначенням технічні засоби автоматизації поділяються в ДСП на такі групи:

- засоби одержання інформації про стан об'єкта;
- засоби перетворення, обробки, зберігання інформації і формування команд керування (управління);
- пристрої для використання командної інформації з метою впливу на технологічний процес;
- засоби перетворення інформації для передачі по каналах зв'язку.

Ці технічні засоби застосовуються для складання різноманітних систем автоматизації. Виходячи з особливостей процесів хімічних технологій переважно розповсюдження мають прилади і засоби автоматизації пневматичної гілки ДСП.

Основні функціональні елементи автоматичних пристроїв

Основними функціональними елементами автоматичних пристроїв є:

- датчики;
- перетворювачі;
- підсилювачі;
- керуючі пристрої;
- задатчики;
- виконуючі механізми;
- регулюючі органи.

Датчики автоматичних пристроїв призначені для одержання інформації про стан об'єкта автоматизації та її первинного перетворення в сигнал (пневматичний, електричний, гідравлічний, механічний).

В автоматичних пристроях застосовуються наступні датчики:

- тиску;
- різниці тиску;

- розрідження;
- миттєвої, сумарної і порційної витрати рідини і газ/рідини;
- рівня;
- температури;
- маси, сили, складу газів і рідини;
- акустичних, оптичних величин і іонізуючих випромінювань;
- пересувань.

Датчики рівня для роботи з електропровідною та неелектропровідною рідиною.(а,б,в,г,д,е)

Рис.2а. Датчик рівня електропровідної рідини – контактний, електричний: 1 – електрод, 2 – ізолятор, 3 – вивід.

При торканні рідиною електрода датчика замикається електричний ланцюг, з'являється електричний струм, що відповідає стану датчика „сигнал є”. Сигнал надходить на електричне реле, яке вмикає світлову та звукову сигналізацію чи вмикає насос. Акумуляторні батареї технічних засобів (МНУК-40, ПСК-50М і МНУК-50 – засоби перемички електропровідної рідини) позитивним (+) виводом під'єднуються до корпусу („маси”), через те що в протилежному випадку електрод датчика при роботі буде інтенсивно розчинятись.

Датчик рівня для неелектропровідної рідини (рис. 2б) – електричний з магнітокерованим герметичним контактом. Датчик складається з поплавця 1 з вмонтованим постійним магнітом, герметичної труби 4, в якій закріплено герметичний контакт (геркон) 5, і виводи 3.

При заповненні ємкості рідиною поплавець 1 переміщується вгору і, проходячи поруч геркона 5, замикає магнітом його контакт. Сигнал у вигляді електричного струму надходить на електричне реле, яке вмикає звукову і світлову сигналізацію. Датчик застосовується в АЦМ-7-255Б, водозаправнику ВС3-375 та інших технічних засобах.

Датчик рівня автоматичного роздавального крана (рис. 2г) – пневматичний, струменевий. Він слугує для одержання сигналу про верхній рівень рідини в баці, резервуарі.

При заправці паливо через патрубок 11 і сопло 13 надходить в бак 15. Доки паливо не досягло верхнього рівня, датчик працює в режимі „сигналу нема”, отвір 1 імпульсної трубки 12 не закритий паливом і через нього відбувається всмоктування повітря, розрідження мембраною 10 не створюється.

При досягненні паливом верхнього рівня отвір 1 закривається, з імпульсної трубки 12 відбувається інтенсивне відсмоктування повітря за рахунок розрідження біля сопла 13. Тиск під мембраною стає меншим атмосферного, що веде до її пересування. Мембрана діє на спусковий механізм запірною клапана 14, який перекриває потік рідини. Датчик застосовується в автоматичних роздавальних кранах АК-25, АК-38, АКТ-25, АКТ-32.

Датчик витрати рідини (рис. 2в) – електрогідравлічний, індукційний. Цей датчик слугує для виміру витрати і об’єму рідини, складається з гідродвигуна 1 з вимірювальною камерою, приводу магніту 7, індукційної обмотки 6. При роботі насоса 8 рідина потрапляє у гідродвигун 1, який обертає постійний магніт 7 з частотою, пропорційною витраті, при цьому в обмотці 6 індукується синусоїдальна електрорушійна сила (е.р.с.), тобто електричний сигнал. Електричний сигнал через підсилювач надходить на електронний обчислювальний пристрій, табло якого висвітлює цифри, що відповідають об’єму рідини, яка пройшла через гідро двигун. Датчик застосовується в АЗ:5Л62А та 5Л22А.

Датчик автоматичного пожежегасіння (рис. 2д) – термоелектричний – слугує для одержання інформації про початок загоряння і складається з трьох послідовних з’єднань термодпар 1: „хром-копель” чи „хром-алюмель”. Термо е.р.с. пропорційна температурі нагріву. При нагріванні вище встановленої температури датчик виробляє сигнал, подає на підсилювач 9 і далі на піропатрон – спрацьовує, мембрана руйнується, вуглекислота за рахунок тиску в балоні надходить в зону пожежі. Датчик застосовується на заправниках ВСЗ-66, ЗСЖ-66, ВСЗ-375.

Датчик теплового захисту електродвигуна (рис. 2е) – тепловий, механічний – слугує для захисту електродвигунів від перегріву по струму.

Струм до двигуна проходить через теплові нагрівачі 1. При роботі електродвигуна на номінальному режимі тепловий нагрів

біметалічних пластин недостатній, щоб розімкнути контакти 17 чи 18, які ввімкнені послідовно з електромагнітом 19 магнітного пускача; контакти 16 замкнені, електродвигун робить на номінальному режимі.

При роботі електродвигуна в режимі перенавантаження по струму (перенавантаження на валу, обрив однієї з фаз) біметалічні пластини розмикають контакти 17 і 18 в ланцюгу електромагніту, який знеструмлюється, контакти 16 магнітного пускача розмикаються, електродвигун відключається. Датчик застосовується в колонках КЭР-160-0,5, КЭР-40-0,5 та КМР-10Э-1,0.

Застосовуються і інші датчики іншого призначення і принципу дії, але сутність їх одна – одержання корисного сигналу (інформації) про стан об'єкта автоматизації.

Перетворювачі та підсилювачі призначені для: комутації перетворення і підсилення сигналів датчиків і керуючих пристроїв. Конструктивно це різні пристрої для нормування сигналу. В системах телеавтоматики в якості перетворювачів використовуються різні кодуючі пристрої (шифратори і дешифратори).

Знайшли застосування:

- механічні перетворювачі і посилювачі сигналів у вигляді важелів, штоків, тяг, штовхачів тощо;
- електричні перетворювачі і посилювачі сигналів електронних пристроїв;
- пневматичні і гідравлічні перетворювачі і підсилювачі сигналів пневматичних і гідравлічних пристроїв.

Керуючі пристрої і задатчики призначені для порівняння величини сигналу з заданою задатчиком величиною і виробки команд управління (керування).

До них відносяться:

- електричне реле;
- пневмо- та гідро-золотникові пристрої.

До складу керуючих пристроїв можуть входити схеми порівнянь і логічні елементи.

Керуючий пристрій – електромагнітне реле обмеження наповнення.

Рис.3. Керуючі пристрої:

а) з використанням електромагнітного реле;

б) з використанням золотника.

1 – „сигнал”; 2 – електромагніт; 3 – сигнальна лампа; 4 – звук/сирена; 5 – контакт реле; 6 – повітря; 7 – клапан з мембранним приводом; 8 – повітропровід; 9 – золотник; 10 – поплавець.

Електромагнітне реле як керуючий елемент автоматичних пристроїв застосовується часто. Воно має:

- електромагніт 2 (рис. 3а);
- якір і контакти 5.

При проходженні сигналу 1 датчика рівня у вигляді електричного струму обмотка реле намагнічується і замикає контакти 5, через які силовий струм надходить на лампу 3 і звукову сигналізацію 4, які сигналять про досягнення рідиною верхньої межі (рівня) (АЦ-4,4-131, АЦ-5,4-375)

Керуючий пристрій – золотник обмежувача наливу (рис. 3б) призначений для керування роботою пневмоклапана.

Золотник 9 – це триходовий кран з важіль-приводом. За нормальних умов золотник 9 пропускає потік 6 повітря на мембранний привід клапана 7; клапан відкритий, рідина заповнює циліндр.

При досягненні рідиною верхнього рівня виштовхуюча сила рідини пересуває поплавець 10, який своїм важелем повертає керуючий орган золотника 9 у положення, що перериває потік 6 повітря і відкриває вихід повітря з мембранного приводу трубопроводу 8 в атмосферу; клапан 7 замикається, доступ рідини в циліндр зупиняється. (АЦ-5-375).

Виконавчі механізми (електромагнітний, електромашинний, мембранний, поршневий, поплавецьовий, піропатрон, біметалічний, відцентровий) через регулюючі органи безпосередньо впливають на процес, що регулюється і представляє собою різноманітні види приводів у комбінації з різними запірними, регулюючими та іншими пристроями (вентиллями, засувками, шибер, кран, зчеплення).

Комбінація виконавчого механізму і регулюючого органу визначається як видом прийнятого конструктивного виконання, так і функціональним призначенням автоматичного пристрою. Наприклад: виконавчий механізм відцентрового типу з

регулюючим органом „заслінка” забезпечує регулювання частоти обертання двигуна; виконавчий механізм поршневого типу з регулюючим органом „зчеплення” забезпечує автоматичне вимикання двигуна; електромагнітний виконавчий механізм з регулюючим органом „засувка” може забезпечувати автоматичне перекриття потоку рідини і газу.

Прямі і непрямі (опосередковані) вимірювання

Пряме вимірювання характеризується тим, що шукане значення фізичної величини відносять безпосередньо порівнянням зі взірцевою мірою цієї величини. Наприклад: вимірювання ваги порівнянням з вагою тарованих гир (мірою ваги); вимірювання в'язкості рідини порівнянням з в'язкістю еталонної рідини (мірою в'язкості).

До прямих методів в широкому розумінні відносяться всі вимірювальні пристрої з безпосереднім відліком. Через те, що виміряне значення, яке зчитується зі шкали, є результатом вимірювання, шкала вимірюваного пристрою повинна бути проградуйована за взірцевою мірою.

Непрямий метод вимірювання характеризується тим, що шукане значення, яке вимірюється, залежить від інших фізичних величин і визначається на основі використання цієї залежності. Так, еталони похідних величин одержують з основних еталонів шляхом непрямих вимірювань. Наприклад, при вимірюванні тиску вантажопоршневим манометром його визначають розрахунковим шляхом виходячи з площі поршня, маси і гравітаційної сталої.

При непрямому методі вимірювання слід розрізнати значення, що вимірюється, і результат вимірювання.

Аналогові та цифрові методи вимірювання

Значення, що вимірюється представляє собою добуток числового значення X на розмір відповідної одиниці. В процесі вимірювання інформація про це числове значення (вимірювальна інформація) передається за допомогою сигналів.

При *аналоговому способі вимірювання* встановлюється прямий зв'язок між значенням величини, що вимірюється і значенням фізичної величини сигналу. Так, наприклад, у ртутному термометрі висота стовпчика відповідає певній температурі. Таким

чином, використовується не саме числове значення, а аналогова величина.

В протилежність цьому *цифровий метод вимірювання* характеризується тим, що результат вимірювання, точніше чисельне значення (розмір) виробляється у вимірювальному пристрої або виводиться з нього. При цьому обробка сигналів проводиться числовим методом, як у цифрових обчислювальних машинах (ЦОМ).

Ці принципово різні методи мають свої переваги і недоліки в обробці сигналів і у виводі даних.

При цифровому відліку помилок практично немає. При відліку аналогового показання, перетворення його в число проводиться оператором, причому точність відліку заздалегідь не визначена і залежить від кваліфікації оператора до інтерполяції. Тому відлік аналогових показань принципово вміщує похибки.

Перевага аналогового виводу вимірюваного значення полягає у більшій наочності. Спостереження за стрілочним приладом на щиті управління суттєво простіше, ніж за цифровими показаннями. Крім того, аналоговий регістратор передає суттєво більше інформації, ніж низка чисел цифродрукуючого пристрою. Цей факт підтверджується тим, що для інтерполяції ряду чисел часто вдаються до графічного зображення, що еквівалентно перетворенню цифрової інформації в аналогову.

Цифрова обробка значення, що вимірюється, ґрунтується на оперуванні з числами. Таким способом можна одержати суттєво більш високу точність, ніж на аналоговій техніці. Однак при цифровому методі обробка чисел відбувається послідовно, при цьому протяжність циклу обробки швидко зростає зі зростанням точності.

Аналогова обробка навпаки здійснюється безперервно, одночасно, що суттєво покращує динамічні властивості вимірювальної системи. Це особливо важливо при вимірюванні фізичних величин, що змінюються в часі.

Аналогові методи представлення величин, що вимірюються, порівняно з цифровими є менш точними. Однак, ці методи основані на безперервних фізичних процесах, роблять доступними для вимірювальної техніки виключно велику різноманітність фізичних ефектів; до того ж їх дуже просто реалізувати. Часто аналогові

методи представляють єдину можливість сприйняти значення, що вимірюється.

Цифрові методи мають специфічну перевагу при передачі значення, що вимірюється. Порівняно з аналоговим способом представлення результату вимірювання точність цифрового показання чітко визначена. При передачі вимірювальної інформації на значну відстань цю точність значно легше зберегти, ніж точність сигналу, представленого в аналоговій формі.

Безперервні та дискретні методи

При *безперервному методі* вимірювання усі елементи вимірювального пристрою працюють безперервно в часі.

Дискретна система вміщує хоча б один елемент, що працює переривчасто. Вочевидь, що при дискретному методі вимірювання інформація втрачається. Однак дискретний метод часто використовується і без аналогово-цифрового перетворення. Прикладом цього може слугувати так званий друкований пристрій з точковим записом.

Метод відхилення та компенсаційний метод

Метод відхилення (прямого перетворення) характеризується тим, що порівняння величини, що вимірюється, з мірою веде до відхилення механізму порівняння, і це використовується для індикації значення вимірюваної величини.

Структурна схема цього методу вимірювання характеризується послідовним ланцюгом проходження впливів (Рис. 4). В цій структурі, у загалі, нема проблем з точки зору динаміки. Ланцюг сталий, якщо стійкі усі елементи.

Рис. 4. Приклади методу вимірювання по відхиленню стрілки показчика

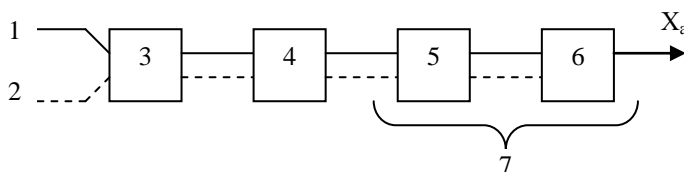


Рис. 5. Приклад структурної схеми методу вимірювання по відхиленню

1 – вимірювання; 2 – градуювання; 3 – сприйняття; 4 – перетворення; 5 – утворення відхилення; 6 – шкала; 7 – пристрій порівняння.

При реалізації цього методу виникають певні труднощі. Перша – якість обчислювальних операцій, а саме – порівняння вимірювальної величини з мірою. Доволі часто мірою є сила каліброваної пружини. Перша трудність полягає в забезпеченні точності та лінійності її характеристики при великих відхиленнях. Крім того, при зростанні відхилення збільшується також сила, що діє в механізмі порівняння.

Параметри елементів механізму, наприклад опір, вибираються для умов максимального відхилення; при цьому погіршується чутливість механізму. Це веде до похибок (особливо поблизу нижньої межі вимірювання) і до небажаної нелінійності.

Друга трудність полягає у можливості зворотної дії процесу вимірювання на величину, що вимірюється. Енергія чи потужність, необхідна для вимірювання за методом відхилення, часто відбирається від процесу, що веде до викривлення величини, яка вимірюється.

Рис. 6. Приклади компенсаційного методу вимірювання

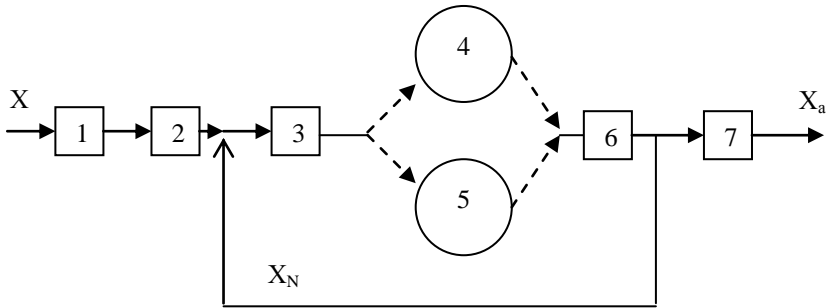


Рис. 7. Приклад структурної схеми методу компенсації
1 – чутливий елемент; 2 – перетворювач; 3 – нуль-прилад;
4 – людина; 5 – обчислювач; 6 – змінна міра; 7 – пристрій
представлення.

Величина, що вимірюється, компенсується величиною, відтвореною мірою. Різниця цих величин підтримується малою, незалежно від розміру, величиною, що вимірюється. Тому нуль-прилад може бути розрахованим для роботи тільки в області нуля. Завдяки цьому досягається його чутливість і усувається нелінійність при великих відхиленнях вимірюваної величини. У врівноваженому стані нуль-прилад не навантажений, завдяки чому виключається зворотній вплив на процес.

При нульовому методі відтворюєма міра використовується для компенсації величини, що вимірюється у всьому діапазоні змін, а також для показання значення. Тому для здійснення цього метода необхідна змінна міра високої якості.

Близьким до методу компенсації є *метод заміщення*, що використовується головним чином при використанні терезів. В цьому випадку величина, що вимірюється, доповнюється змінною мірою до значення, компенсуючого значення постійної міри. Тут діють усі переваги компенсуючого метода. Крім того, завдяки постійності навантаження вузлів нуль-приладу (наприклад,

коромисел терезів і опор) систематична похибка не залежить від змінної величини.

На відмінну від метода вимірювання „по відхиленню” в останніх двох методах виникає замкнений ланцюг впливів (контур регулювання). Внаслідок цього стійкість окремих компонентів вже не забезпечує загальної стійкості. Процес балансування вимагає певного часу і не може бути прискореним без зниження запасу стійкості.

Похибки вимірювань та причини їх виникнення

1. Представництво величини, що вимірюється.

Існують дві основні передумови процесу вимірювання, згідно яким і величина, що вимірюється, і міра повинні бути попередньо визначені. Але треба виконати ще одну умову: значення величини, що вимірюється повинно бути представницьким для процесу чи стану.

1.1. Представницькі величини.

Про температуру в приміщенні кажуть взагалі, хоча поле температур неоднорідне. Зазвичай вибирають деяке значення температури як еквівалент вимірюваної величини.

Місце вимірювання повинно бути вибрано на основі знання поля, в загальному випадку, цільовій функції вимірювального пристрою. Аналогічно вирішується питання визначення місця відбору проб, наприклад, рідин, повітря, перемішування газів. Ці питання частково висвітлюються в нормах і інструкціях по встановленню вимірювальних елементів.

1.2. Представництво результату вимірювання.

При непрямих методах, коли слід розрізнати результат вимірювання і виміряне значення, вибір представницьких значень величин набуває особливу важливість.

Технічне рішення, що використовується у вимірювальних приладах, наприклад, спосіб і повнота перемішування проби, можуть вирішити питання представництва вимірюваного значення.

2. Узагальнена блок-схема вимірювальної системи з урахуванням похибок.

Кожне вимірювання відбувається з певною похибкою. Необхідно класифікувати похибки за джерелом виникнення і за специфічним впливом на вимірювальну систему. Для наочного уявлення можна скористуватись узагальненою блок-схемою системи вимірювання з похибкою (Рис. 8). Виходячи з цієї блок-схеми в подальшому будуть пояснені окремі поняття.

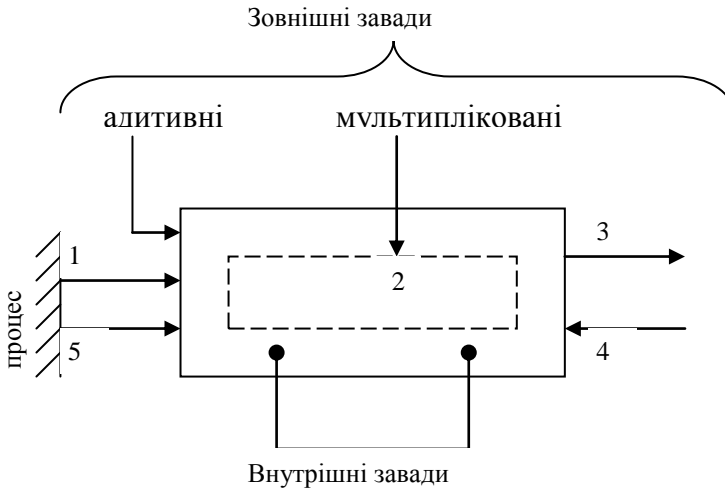


Рис. 8. Блок-схема вимірювальної системи з похибкою
 1 – величина, що вимірюється; 2 – передаточна характеристика; 3 – виведення результату; 4 – зворотна дія приймального пристрою; 5 – зворотна дія.

2.1. Похибка. Поправки.

Під похибкою ε розуміють різницю значення показника X_a і дійсного значення X :

$$\varepsilon = X_a - X.$$

Дійсне (істинне) значення – це значення, що вимірюється, показане ідеальним вимірювальним приладом, вільним від похибок.

Практично це значення замінюється дійсним значенням, що визначається за допомогою взірцевої міри чи взірцевого приладу, який має більш високу точність вимірювання.

Під корекцією β , яку також називають поправкою, приймають величину, чисельно рівною похибці, але яка має протилежний знак:

$$\beta = X - X_a.$$

Дійсне значення одержується як сума виміряного значення і поправки. Визначена таким чином похибка (поправка) є результатом дій багатьох завод.

2.2. Зворотна дія процесу вимірювання на величину, що вимірюється.

Першим чинником, яким визначається похибка вимірювання є зворотна дія вимірювального пристрою на процес. Чутливий елемент, призначений для сприйняття вимірювального значення, здійснює певний вплив на процес, на величину, що вимірюється.

При вимірюванні температури рідини, що знаходиться в адіабатичній ізольованій посудині, за допомогою термометра після введення останнього встановлюється нова температурна рівновага між рідиною і термометром. При цьому термометр показує температуру, викривлену зворотною дією.

Зворотна дія чутливого елемента на процес особливо сильно проявляється при зондових вимірюваннях параметрів потоку, через те, що введення зонда суттєво порушує форму поля величини, що вимірюється.

2.3. Адитивні зовнішні завади.

Блок-схема (Рис. 8) показує, що a вимірювальний пристрій разом з величиною, що вимірюється, діють також і інші величини. Ці небажані впливові величини – завади – є джерелом похибки. Доволі часто зустрічаються Адитивні (такі, що накладаються) зовнішні завади. Їх дія накладається на вимірювальний сигнал і, відповідно, на показання. При цьому похибка не залежить від значення фізичної величини, що вимірюється. Прикладами адитивних завод можуть слугувати накладання на вимірювальний сигнал напруги, наведеної змінним магнітним полем, і зміщення «нуля» приладу.

2.4. Мультиплікативні зовнішні завади.

На рис. 8 всередині вимірювального пристрою виділена ділянка, що символіку передаточну характеристику вимірювального приладу.

Передаточна характеристика – цілком загальна залежність між вхідною і вихідною величинами вимірювального пристрою незалежно від того, чи змінюється у часі певна величина, чи залишається постійною.

Мультиплікаційними чи деформуючими завадами називають завади, які впливають на передаточну характеристику вимірювального пристрою.

При мультиплікаційних завадах результуюча похибка залежить від величини, що вимірюється.

Залежно від характеру впливу завади на передаточну характеристику похибка може залежати як від значення, що вимірюється, так і від швидкості вимірювання його у часі.

Прикладом мультиплікаційної завади є однокілий нагрів важільних терезів сонячним промінням. Внаслідок теплового подовження одного плеча важеля співвідношення плечей важелів змінюється. При цьому величина похибки вимірювання залежить від ваги, що підлягає визначення.

Якщо температура рідини, що рухається, визначається термометром, то швидкість потоку є мультиплікаційною зовнішньою завадою.

Вона (швидкість) впливає на теплообмін між рідиною і чутливим елементом температури, і разом з іншими чинниками визначає інерційність вимірювального приладу.

2.5. Внутрішні завади.

Внутрішніми називають завади, причинами яких є внутрішньооприладні ефекти.

Наприклад:

- люфт під час механічних перетворень;
- тертя опор.

Ці та подібні ефекти ведуть, як правило, до нелінійностей і, як наслідок, до похибок вимірювання.

3. Похибки, пов'язані з процесом вимірювання.

3.1. Систематичні та випадкові похибки.

Систематичні похибки залишаються постійними чи закономірно змінюються при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини.

Якщо вимірювання багатократно повторювати при відомих і невідомих умовах, то вимірюване значення буде коливатися близько очікуваного значення (математичне очікування), яке являє собою середнє значення результатів нескінченно багатьох вимірів.

Відтворюваність окремого вимірювання характеризується відхиленням від математичного очікування, видом цього відхилення, його розміром і його повторюваністю (частотою).

Точність, з якою може бути визначено (із заданою ймовірністю) вказане очікуване значення, можна оцінити статистично. Цю точність результату вимірювання не слід плутати з його правильністю.

3.2. Статичні та динамічні похибки.

У лінійного вимірювального приладу, який використовується для визначення величин, що не змінюються в часі, передаточною характеристикою є константа.

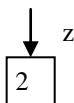
В приладах з нелінійною характеристикою залежність між вихідною і вхідною величинами описується алгебраїчним чи трансцендентним рівнянням. В цих випадках похибки залежать лиш від розміру значення, що вимірюється, і не є функціями часу.

Це статистичні похибки вимірювання. При вимірюванні фізичної величини, що змінюється в часі зв'язок між вхідною та вихідною величинами описується диференціальним рівнянням. При цьому похибки, що виникають, залежать не тільки від розміру величини, що вимірюється, але і від характеру вимірювання її у часі.

Так, незмінна у часі температура може бути виміряна термометром „безпомилково”, а швидка зміна температури відслідковується неточно.

3.3.1. Принцип екранування завод.

Якщо на заводи, адитивні чи мультиплікативні, можна впливати до входу їх у вимірювальну систему, то можна намагатись вилучити їх вплив завдяки екрануванню (Рис. 9).



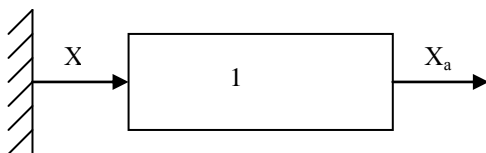


Рис. 9. Принцип екранування сигналу екранування

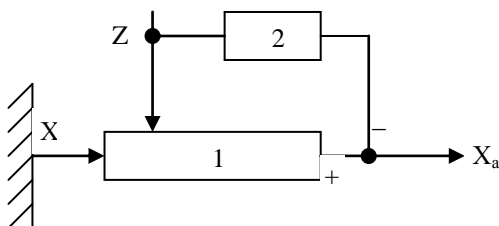
Наприклад, вплив температури на аналітичні терези виключається термостатуванням. Інший спосіб зменшення впливу температури оточуючого середовища полягає в нагріванні чутливих елементів до такої високої температури, що коливання температури оточуючого середовища не впливають на точність вимірювання.

Перевага екранування завод полягає в тому, що воно дозволяє успішно боротися і з мультиплікативними заводами.

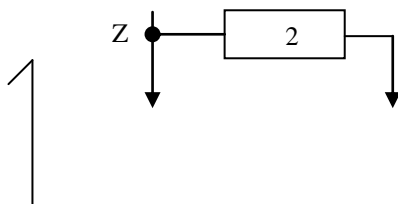
3.3.2. Принцип компенсації похибки.

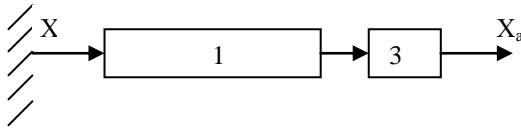
Принцип компенсації похибки ґрунтується на тому, що збурюючий вплив завод на вимірювальний прилад залишається, але її ефект обчислюється, і похибка, що виникає, компенсується.

Компенсація адитивних завод суттєво простіша, через те що її дія складається з вимірювальним сигналом, і корекція зводиться до віднімання цієї дії (Рис. 10).



а)





б)

Рис. 10. Принцип компенсації завод: а) – адитивний; б) – мультиплікативний

1 – вимірювальний пристрій; 2 – сприйняття сигналу завади; 3 – обчислювач.

Для компенсації мультиплікативної завади необхідна додаткова обробка вимірювального сигналу і сигналу завади у обчислювачі (Рис. 10 б).

Найбільш відомим прикладом застосування цього принципу у випадку адитивної завади є компенсація температури при зміні деформації за допомогою тензометрів (Рис. 11)

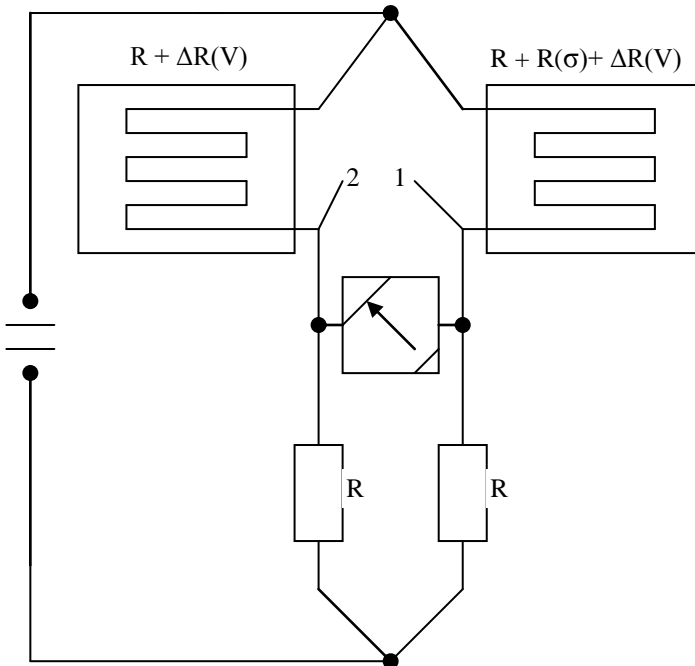


Рис. 11. Мостове вмикання активного і пасивного тензорезисторів як приклад компенсації мультиплікативної завади: 1 – активний тензометр; 2 – пасивний тензометр.

Температурна зміна опору робочого тензорезистора компенсується точно також зміною опору у пасивному компенсуючому тензорезисторі.

Прикладом компенсації мультиплікативних завад може також слугувати компенсація впливу зміни температури і тиску газу на вимірювання його витрати за допомогою вимірювальної діафрагми (Рис. 12).

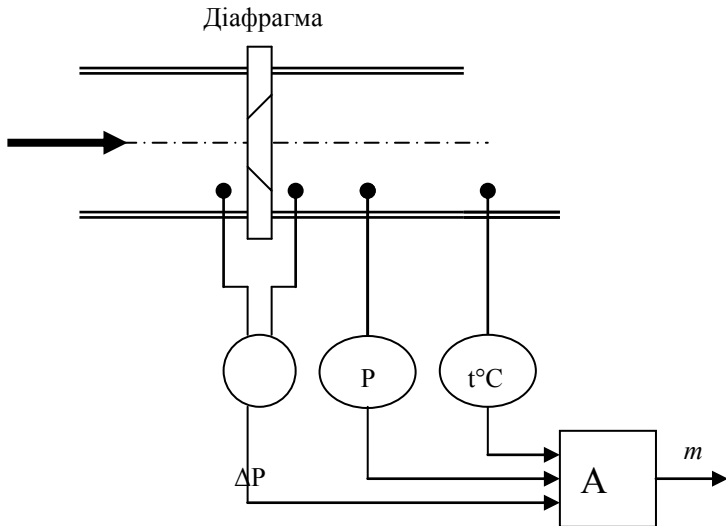


Рис. 12. Приклад компенсації мультиплікативних завад (тиску і температури) при вимірюванні витрати за допомогою вимірювальної діафрагми; A – керуючий обчислювач.

Принцип зворотного зв'язку

Цей принцип може бути застосованим для усунення впливу як адитивних так і мультиплікативних завад. Його перевага полягає у тому, що він може бути використаний тоді, коли завади не можуть бути визначені.

Як видно з рис. 13, цей принцип оснований на тому, що вихідна величина визначається і порівнюється з сигналом чутливого елемента. Якщо виникає розходження цих величин, то вихідна величина змінюється підсилювачем чи інтегруючим пристроєм до одержання відповідності між вихідною і вхідною величинами.

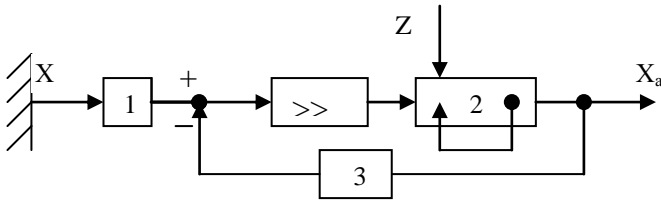


Рис. 13. Принцип введення зворотного зв'язку для виключення впливу завад:

1 – чутливий елемент; 2 – вимірювальний пристрій; 3 – перетворювач.

Якість співвідношення входу до виходу суттєво залежить від якості порівняння цих величин. Нелінійність вимірювального приладу і впливу завад, що діють на прилад, в значній мірі знижуються. Вимірювальний прилад зі зворотним зв'язком представляє собою систему регулювання.

Принцип зворотного зв'язку знаходить застосування у вимірювальній техніці перш за все там, де вимагається порівняно велика вихідна потужність і присутні внутрішньопріладні завади. Застосування цього принципу є єдиною можливістю боротьби з такими внутрішніми завадами, як тертя, люфт тощо.

Системи керування та регулювання

Для успішного вирішення задач по проектуванню технологічних процесів, грамотної експлуатації устаткування і обладнання промислових об'єктів необхідні глибокі знання принципів дії і побудови систем керування. Перш за все необхідно знати загальні положення, що застосовуються в автоматичній незалежно від області техніки чи галузі промисловості, до яких належить система.

У широкому розумінні процеси – це явища, що відбуваються в оточуючому людину світі. Осмислені дії людини на процеси зводяться до керування чи управління. При цьому один з процесів керуючий – той що діє на інший, а інший керований – яким керують.

В більш вузькому технічному розумінні процес – це певна взаємодія елементів і компонентів установки, машини, агрегату, яка характеризується визначеними співвідношеннями параметрів. Умисна дія на технічні процеси з метою одержання необхідних параметрів від якогось пристрою або їх сукупності і буде керуванням в технічних системах.

Керування, що здійснюється без безпосередньої участі людини, називається автоматичним. Процес, в якому керування ведеться людиною, називається ручним. При сумісному керуванні людиною і спеціальним пристроєм процес називається автоматизованим, а керування напіваавтоматичним.

Окремим випадком керування є регулювання – умисна дія на пристрій, коли контролюємі параметр відхиляється від необхідного, зазвичай стабілізованого, значення. Регулювання, як і керування, може бути ручним, напіваавтоматичним і автоматичним.

Система – це сукупність елементів, певним чином пов'язаних і взаємодіючих між собою. Для будь-якої системи обов'язковою умовою є наявність „входу” та „виходу”. Під „входом” системи розуміється та її частина, на яку подається вплив з зовні (вхідний вплив $X_{\text{вх}}$ (рис. 14)), а під „виходом” – друга частина цієї системи, яка сама діє на зовнішнє середовище (за допомогою вихідного впливу $X_{\text{вих}}$ (рис. 14)).

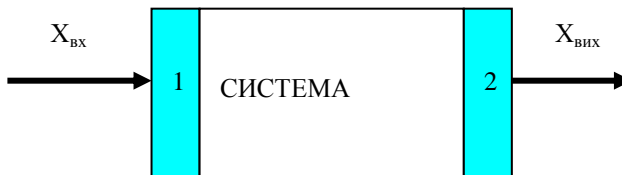


Рис. 14. Схема система
1 – вхід системи; 2 – вихід системи.

Будь-яка вхідна дія повинна вести до зміни вихідної дії, якщо тільки система спроможна сприйняти цю вхідну дію.

Шлях (сукупність частин системи), по якому відбувається передача дій від зовнішнього середовища до системи чи між її окремими частинами, називається ланцюгом взаємодій. Сигналами є вхідні ($X_{вх}$) і вихідні ($X_{вих}$) дії.

Взаємозв'язок вхідної та вихідної дій визначається законом (алгоритмом) керування (регулювання), який може бути представлений описом словами процесу і умов його виконання або у вигляді графіка, схеми, таблиці тощо.

У фізичних системах, з якими ми оперуємо, такий закон часто вдається виразити аналогічно диференційним або алгебраїчним рівнянням. Коефіцієнти і сталі, що входять до рівняння, визначають властивості системи.

За порядком рівняння усі системи, що використовуються в сучасних технологіях, можна віднести до систем нульового, першого, другого і вищого порядків. Багато систем мають так звані зворотні зв'язки.

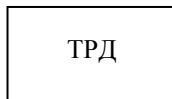
Системи зі зворотнім зв'язком

В автоматичні системи зі зворотнім зв'язком виконують дуже важливу роль. Застосування їх дозволяє одержати процеси, що підлягають керуванню, близькими до бажаних при мінімальних похибках як в динаміці, так і в статиці.

Інформація про зовнішні та внутрішні дії на систему передається за допомогою певного зв'язку. Зв'язок між входом і виходом системи називається прямим, а між виходом і входом – зворотнім.

В техніці зворотні зв'язки вводяться в системи керування для самих різних цілей. Так, для регулювання числа обертів турбореактивного двигуна (ТРД) (рис. 15) передбачається наявність зв'язку між двигуном і керуючим пристроєм (регулятором).

P_n^*, T_n^*



n

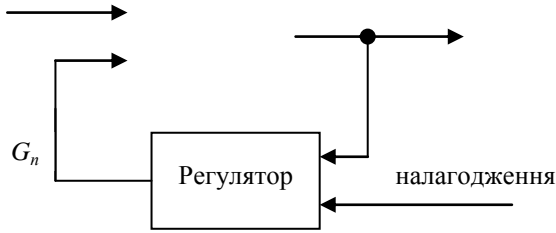


Рис. 15. Схема системи регулювання числа обертання ТРД

Вхідний сигнал з двигуна – число обертів n – одночасно є вхідним сигналом регулятора, а вихідний сигнал регулятора – подача палива G_n – вхідна для двигуна. Це так звана замкнена система, що охоплена головним зворотнім зв'язком.

Часто в системи входять додаткові (місцеві) зворотні зв'язки, які передають дії від якогось наступного (за ланцюгом проходження сигналу) елемента попередньому (рис. 16):

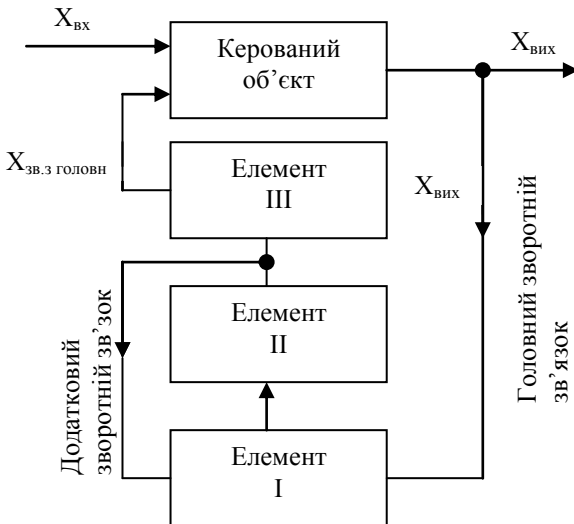


Рис.16.

Зворотній зв'язок, що збільшує вплив вхідного сигналу на вихідний, зветься позитивним, а зменшуючий цей вплив – від'ємним. При позитивному зворотному зв'язку в спеціальному пристрої 1 (сумуючий пристрій) відбувається складання основного сигналу $X_{вх}$ з сигналом $X_{зв.зв.}$, що надходить по ланцюгу 2 зворотного зв'язку, а при від'ємному – віднімається (рис. 17)

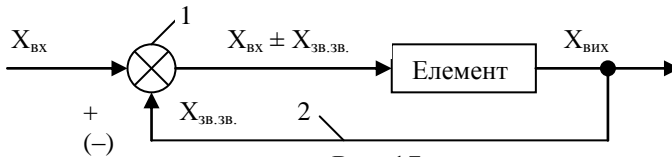


Рис. 17

В техніці переважного поширення знайшов від'ємний зворотній зв'язок, що підвищує швидкість і стабільність роботи системи.

Визначимо ще декілька термінів додатково до тих, що були розглянуті раніше.

Технічний пристрій, що піддається автоматизації, називається *об'єктом керування* (об'єктом регулювання).

Елементи конструкції об'єкта керування, зміною положень яких здійснюється дія на об'єкт, називається *регулюючими органами*.

Процес керування (регулювання) в об'єктах здійснюється з метою одержання необхідної величини якогось параметру чи параметрів, що характеризує процес в об'єкті. Такий параметр називається *керованою величиною* (регульованим параметром). Задачею системи є підтримання цієї величини постійною або змінювати її відповідно певної програми.

Основні функції вимірювальної системи

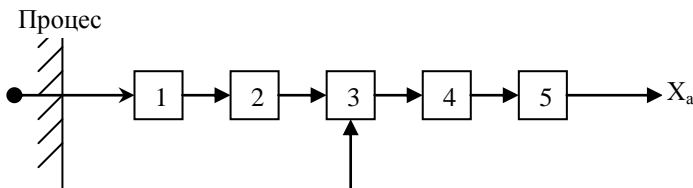


Рис. 18. Функціональна блок-схема вимірювальної системи
 1 – сприйняття величини, що вимірюється; 2 – перетворення вимірювальної інформації, підсилення; 3 – обчислювальні операції; 4 – передача вимірювальної інформації; 5 – відображення вимірювальної інформації.

1. Сприйняття величини, що вимірюється.

Первинним завданням будь-якої вимірювальної системи є сприйняття фізичної величини. Часто так званий чутливий елемент перетворювача не є в прямому сенсі самостійним елементом приладом, а суміщений з іншим його елементом. В процесі вимірювання величини виникають проблеми представництва і односпрямованості перетворення.

Основною задачею є вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для подальшої її обробки при мінімальній зворотній реакції системи (завадах, енергетичних витратах).

2. Перетворення вимірювальної інформації та її підсилення.

При використанні для вимірювань певних фізичних явищ, виникає необхідність перетворювати сигнал, функціонально зв'язаний з фізичною величиною, що вимірюється, в іншу фізичну величину (наприклад, тиск → напруження; температура → тиск тощо).

Разом з перетворенням вимірювальної інформації часто виникає необхідність підсилення сигналу, наприклад, його потужності, перетворення вихідного опору або зміни рівня сигналу.

3. Обчислювальні операції.

Кожен вимірювальний прилад виконує (часто у неявному виді) якусь обчислювальну операцію. Як відомо, вимірюванням називають порівняння з так званою мірою. У найпростішому випадку операція нормування сигналу представляє собою градування шкали. Крім того, при обробці вимірювальної інформації разом з чотирма основними арифметичними операціями

виконуються піднесення у степінь, вилучення кореня, інтегрування, логарифмування та інше.

Такі операції необхідні у тому випадку, якщо залежність між первинною сприйнятою датчиком вимірюваною величиною і представленою покажчиком величиною нелінійна (наприклад, при визначенні швидкості потоку за перепадом тиску).

Визначення величини, що відображається, по декількох одночасно вимірним величинам також проводиться шляхом обчислення (наприклад, при вимірюванні теплових потоків). В залежності від необхідності і видам наступної обробки даних застосовуються різні технічні засоби, які будуть розглянуті в подальшому.

4. Обробка і передача вимірювальної інформації.

Одержані значення величин використовуються не тільки для миттєвого відображення, але найчастіше піддаються обробці – ущільненню інформації. При цьому разом з виконанням подальших обчислювальних операцій, в загальному випадку необхідне тимчасове запам'ятовування вимірювальних величин. така обробка вимірювальної інформації здійснюється перш за все у зв'язку з аналізом сигналів у часовому, відповідно частотному діапазоні (одержання середніх значень, аналіз частотного спектра тощо). За допомогою ЕОМ можуть бути виконані, крім того, будь-які аналітичні і логічні операції.

5. Відображення вимірювальної інформації.

Якщо вимірювальна інформація не підлягає подальшій автоматичній обробці, а передається візуально спостерігачу, то вимірювання закінчується її відображенням. Для цього існує багато можливостей. Спосіб відображення вимірювальної інформації необхідно враховувати при аналізі похибок. Зараз нерідко вибір метода вимірювання визначається видом відображення вимірювальної величини. Так, наприклад, якщо вимагається цифрова інформація, то доцільно на ранні стадіях вимірювання переходити до дискретних методів.

Вимірювання фізичної величини

Похибки вимірювання фізичної величини.

Функціональна залежність між тим, що надходить на вхід чутливого елемента фізичною величиною і тим, що видається сигналом називається статичною характеристикою.

Чутливий елемент, характеристика якого представляє собою лінію, називається лінійним чутливим елементом. Для такого елемента математична залежність між вхідною величиною E і вихідною величиною A описується рівнянням:

$$A = A_0 + \kappa \cdot E.$$

Для більшості чутливих елементів $A_0 = 0$, тобто вихідний сигнал A пропорційний вхідному сигналу E і рівняння має вигляд:

$$A = \kappa \cdot E.$$

Постійний множник κ називається коефіцієнтом передачі, чутливості чи крутизною характеристики чутливого елемента. Якщо характеристика відрізняється від лінійної, то чутливий елемент називають нелінійним. Такий елемент має в різних точках діапазону вимірювання різною чутливістю (або крутизною характеристики S (рис. 19)), значення якої у точці P визначається залежністю:

$$S_p = \left(\frac{dA}{dE} \right) \cdot E = E_p \cdot$$

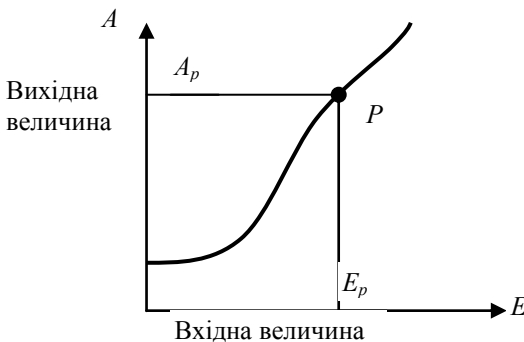


Рис. 19. Нелінійна характеристика чутливого елемента

Очікувана залежність між величиною, що надходить на вхід чутливого елемента, і величиною, що видається на виході, називається номінальною характеристикою.

Істинна характеристика, яка визначається в процесі вимірювань, у більшому чи меншому ступені відрізняється від номінальної. Ці розходження є систематичними похибками. Абсолютні похибки знаходять по різниці істинної і номінальної характеристик чутливого елемента.

При розходженні гілок характеристики, одержаних при зростанні і спаданні вимірювальної величини, має місце гістерезис чутливого елемента.

Первинне перетворення фізичної вимірюваної величини

Перетворення неелектричних величин в електричні можуть здійснюватися таким чином:

- активним перетворенням енергії одного виду в енергію іншого виду, в результаті чого виробляються електричні величини (напруга, струм, заряд);
- дією не електричні величини (пасивне перетворення), що вимагає допоміжної енергії:
 - а) на основі безпосереднього застосування фізичних залежностей. Наприклад, можуть бути використана залежності від вимірюваної величини таких фізичних величин, як опір, провідність, магнітна та діелектрична проникності, індуктивність, напруга, інтенсивність зарядів і випромінювань;
 - б) шляхом механічних впливів. Ці впливи дозволяють змінювати такі величини, як опір, індуктивність, ємність;
 - в) методом компенсації (таким способом можна змінити силу струму). Компенсацією можна здійснювати вручну або автоматично.

Неелектричні фізичні величини можна також перетворювати в інші не тільки електричні величини.

Види первинних перетворювачів

Вимірювальне перетворення можна здійснювати безпосередньо, при цьому чутливий елемент перетворює фізичну

величину, що вимірюється, у величину, придатну для подальшої її обробки (наприклад, при вимірюваннях довжини та п'езоелектричному методі вимірювання сили).

В іншому випадку чутливий елемент дає на вході пересування, яке перетворюється далі у електричну або пневматичну величину. В цьому випадку механо-електричному перетворенню передують механо-механічні перетворення фізичної величини, що вимірюється.

Ефекти, що використовуються для первинного перетворення. Чутливі елементи

1. Чутливі елементи з механічним вихідним сигналом.

В багатьох випадках доцільно включати перед механо-електричним вимірювальним перетворювачем механо-механічний перетворювач масштабу чи виду величин (табл.1).

При вимірюванні температур часто використовують чутливий елемент, який перетворює температуру у пересування (за рахунок температурного подовження), що вимірюється потім електрично. В якості прикладу можуть бути названі біметалічні та монометричні температурочутливі елементи.

Таблиця 1

Вимірювальні перетворювачі

Назва	Вхідна величина	Вихідна величина
Перетворювачі масштабу		
Важелі I та II роду	Пересування, сила	Пересування, сила
Зубчата передача	кут повороту, крутний момент, число обертів	кут повороту, крутний момент, число обертів
Перетворювачі виду величин		
Зубчата рейка	кут повороту, лінійне пересування	лінійне пересування, кут повороту
Ланцюг і ланцюгове колесо	кут повороту, лінійне пересування	лінійне пересування, кут повороту
Пласка пружина	деформація, сила	деформація, сила
Гвинтова	деформація, сила	деформація, сила

пружина		
Спіральна пружина	кут пересування, момент	кут пересування, момент

Зусилля і подовження можуть визначатись за їх дією на частоту механічного вібратора (струнний тензометр та струнний вимірювач тиску). На цьому принципі ґрунтується вимірювання густини газів (камертонний вимірювач густини), частота коливань якого вимірюється електрично.

2. Чутливі елементи з пневматичним вихідним сигналом

При гідростатичному (п'єзометричному) вимірюванні рівня через рідину безперервно продувають газ. Тиск газу є мірою рівня у контролюємій ємкості. Вхідною величиною даного перетворювача є рівень, тобто лінійна величина, вихідна – тиск газу, який вимірюється механічно чи електрично.

При вимірюванні витрат газів і рідин методом перепаду тисків, мірою витрати є різниця тисків до і після пристрою, що звужується. Вхідною величиною перетворювача є витрата середовища, вихідною – перепад тисків, який можна виміряти будь-якими методами визначення тиску.

3. Чутливі елементи з електричним вихідним сигналом

3.1. Активні чутливі елементи.

3.1.1. П'єзоелектричні чутливі елементи.

Принцип дії п'єзоелектричних чутливих елементів ґрунтується на використанні властивостей деяких пристроїв утворювати на своїх гранях електростатичні заряди під дією пружних деформацій. Цей так званий п'єзо ефект виникає на кристалах кварцу, турмаліну, сегнетової солі (калійно-натрієва сіль винної кислоти), титанату барію та деяких інших речовин. П'єзоелектричні чутливі елементи дозволяють контролювати швидкоплинні процеси, через те що заряди утворюються практично безінерційно. Для вимірювань майже завжди застосовують кварц, який має низьку температурну чутливість і велике значення модуля пружності ($8 \cdot 10^{10}$ Н/м²), що дозволяє здійснювати вимірювання при найменших переміщеннях.



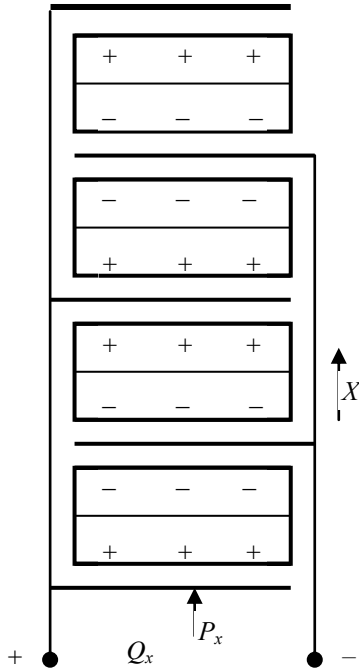


Рис.20. Чутливий елемент з декількома кварцовими пластинами

Для вимірювання електричних зарядів, які виникають на гранях кварцової пластини, останні покривають металевим шаром, утворюючи конденсатор (рис.20).

$$Q_x = C \cdot U,$$

де C – ємність конденсатора;

U – напруга на кристалі.

Характеристика п'єзоперетворювачів:

- *вхідна величина*: сила, тиск;
- *вихідна величина*: заряд;
- *переваги*: широкий діапазон робочих температур, мінімальні пружні деформації, дуже широкий діапазон вимірювань, висока чутливість;

- *недоліки*: необхідність забезпечення дуже високого опору ізоляції, непридатність для статичного вимірювання.

3.1.2. Електродинамічні чутливі елементи.

При зміні магнітного потоку, що пронизує обмотку, в ній індукується напруга, яка пропорційна кількості витків N і зміні магнітного потоку $d\Phi / dt$. При постійній щільності магнітного потоку B і довжині дротів обмотки l напруга пропорційна швидкості V їх взаємного переміщення.

Через те що має значення лише відносна (по відношенню до обмотки) зміна потоку, то байдуже, чи змінюється магнітний потік при нерухомій обмотці або, навпаки, обмотка переміщується у постійному магнітному полі.

В залежності від конструкції розрізняють перетворювачі з обертовою котушкою чи з обертовим магнітним полем. Вихідна напруга чутливого елемента з обертовою котушкою, пропорційна швидкості її переміщення, може бути перетворена у величину, пропорційну її переміщенню чи прискоренню, шляхом електричного диференціювання чи інтегрування.

Значення напруги, що індукується, визначається відповідно закону магнітної індукції:

$$U = N \cdot \frac{d\Phi}{dt},$$

де Φ – магнітний потік;

N – число витків обмотки;

U – напруга в обмотці.

При постійному магнітному потоці, який направлений перпендикулярно площині обмотки, напруга, що індукується, буде:

$$U = N \cdot B \cdot l \cdot V_x,$$

де l – довжина обмотки.

Електродинамічні чутливі елементи застосовують також для генерації імпульсів. В цьому випадку зубчатий ротор, що обертається, набраний зі сталевих пластин, і, який імпульсно моделює магнітний потік, встановлюють у повітряному зазорі постійного магніту.

Електродинамічний метод може застосовуватись для вимірювання не тільки лінійних, але й кутових швидкостей. Подібні тахометричні генератори утворюють напругу, пропорційну частоті обертання ротора. Внаслідок труднощів, пов'язаних з необхідністю використання колектора і зношуванням щіток, часто застосовують тахогенератори перемінної напруги з подальшим його випрямленням.

Характеристика електродинамічних чутливих елементів:

- *вхідна величина*: швидкість;
- *вихідна величина*: напруга;
- *частотний діапазон*: $0 \dots 10^3$ Гц (перетворювач з рухомою обмоткою); $0 \dots 10^2$ Гц (генератор постійного струму);
- *переваги*: малі похибки (перетворювач з рухомою обмоткою); можливість індикації обертання (тахогенератор постійного струму);
- *недоліки* тахогенератора з рухомою обмоткою: обмежене переміщення, наявність рухомих струмопроводів, необхідність застосування важких постійних магнітів;
- *недоліки* тахогенераторів постійного струму: наявність завад, що викликаються зношуванням контактних кілець.

Незважаючи на визначений недолік, генератори постійного струму знайшли широке застосування в якості первинних перетворювачів частоти обертання.

3.1.3. Термопары.

У відповідності до ефекту Заєбека, термопара являє собою два провідника з різнорідних металів чи сплавів, два кінці яких запаєні чи зварені, а два інших – вільні. При температурі вільних кінців t_1 і температурі спаю t_2 між вільними кінцями провідників (дротів) виникає напруга:

$$U = k \cdot (t_1 - t_2) = k \cdot \Delta t,$$

де k – постійний коефіцієнт, який не залежить від геометричних розмірів і визначається тільки матеріалом обох провідників.

Напруга, що генерується при $\Delta t = 1\text{К}$, називається терморушійною силою (ТРС) і складає декілька мікрвольт.

Практичне значення мають наступні комбінації металів:

- залізо-константан;

- мідь-константан;
- ніхром-нікель;
- платинородій-платина;
- хромель-копель;
- хромель-алюмель.

При зміні абсолютних температур вільний спай терморпар повинен знаходитись при постійній і відомій температурі (для лабораторних вимірювань використовують лід). При безперервних вимірюваннях застосовують термостати з постійною температурною установкою.

Характеристика терморпар:

- *вхідна величина*: температура;
- *вихідна величина*: напруга;
- *діапазон вимірювання*: терморпар з неблагородних металів – $-200 \div +700^{\circ}\text{C}$; терморпар з благородних металів – $0 \div 1500^{\circ}\text{C}$;
- *похибки вимірювань*: $\pm (2 \div 0,5)\%$ кінцевого значення шкали.

Динамічні характеристики:

- постійна часу дорівнює декільком хвилинам для армованих терморпар; не більше 0,1 с – для так званих мініатюрних терморпар;
- переваги: можливість забезпечення малої інерційності; широкий діапазон і незначні похибки вимірювання;
- недоліки: необхідність забезпечення постійної температури холодних спаїв.

3.1.4. Фотодіоди.

У фотодіодах перетворення світлового потоку здійснюється за рахунок фотоелектру заірному шарі *p-n*-переходу. При освітленні *p-n*-переходу на ньому виникає напруга. Для вимірювань найбільш широко застосовують селеновий і кремнієвий фотоелементи. При освітленні на клеммах фотоелемента виникає електрична напруга U_0 ; одночасно знижується його внутрішній опір R_i . При з'єднанні фотоелемента з зовнішнім опором R_a у ланцюгу виникає фотострум:

$$J = \frac{V_0}{R_i + R_a}.$$

Встановлено, що струм короткого замикання $J_{\kappa} = \frac{V_0}{R_i}$ пропорційний освітленню E , хоча U_0 і R_i є нелінійними функціями. Спектральна характеристика селенового елемента близько співпадає з характеристикою ока.

Характеристика фотоелементів:

- *вхідна величина*: освітленість;
- *вихідна величина*: постійний струм;
- *чутливість*: $0,25 \div 1$ мА/лм;
- *похибка*: декілька відсотків;
- *температурна похибка*: $0,25$ %/°С;
- *частотний діапазон*: $0 \div 500$ Гц;
- *переваги*: активний чутливий елемент; можливість підстроювання до спектральної чутливості ока;
- *недоліки*: інерційність, недостатня точність.

3.2. Пасивні чутливі елементи

3.2.1. Резисторні чутливі елементи.

Омічний опір провідника довжиною l , площею перерізу q і питомим опором матеріалу ρ , визначається по відомій формулі:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{q}.$$

Як відомо, зміна опору може бути викликана зміною питомого опору, довжини чи площі перерізу провідника. Всі три можливості використовують в конструкціях чутливих елементів.

Реостатні датчики.

Найпростішим способом зміни опору резистора за рахунок зміни довжини є переміщення відводу (ковзаючого контакту).

Реостатні датчики – потенціометри – виконуються з поздовжнім чи круговим переміщенням. Часто застосовуються вимірювальні потенціометри, зміна опору яких пов'язана нелінійною залежністю з переміщенням повзуна. Ці функціональні

потенціометри можуть мати квадратичну, синусоїдальну чи іншу характеристику, що відповідає спеціальним вимогам.

Велике значення має роздільна здатність чутливого елемента, яка визначається зміною опору між двома сусідніми витками обмотки.

Характеристики реостатних датчиків:

- *вхідна величина*: лінійне чи кутове переміщення;
- *вихідна величина*: зміна опору;
- *діапазон вимірювання*: лінійний – до 60 мм; кутовий – до 355°;
- *похибки від не лінійності характеристики*: 0,1 – 0,3%;
- *переваги*: малі похибки не лінійності; висока роздільна здатність; можливість використання в обчислювальній техніці;
- *недоліки*: зношування обмотки і повзуна, порушення контакту.

Динамічні характеристики (частотний діапазон): залежить від параметрів механічних перетворювачів, ввімкнутих перед потенціометром; при лінійних і кутових вимірюваннях до 5 і до 1000 Гц відповідно.

Тензорезистори.

При розтягненні чи стискуванні провідника змінюється його довжина, площа перерізу і питомий опір, тобто з трьох величин, що визначають значення опору, жодна не замикається постійною.

Вказані зміни залежать від напрямку прикладення сили і в межах пружності пропорційній їй. В ненавантаженому стані опір R провідника, який має довжину l , визначається його перерізом q і питомим опором ρ :

$$R = \rho \cdot \frac{l}{q}.$$

При розтягненні довжина стає $l \cdot \left(1 + \frac{\Delta l}{l}\right)$, а переріз $q \cdot \left(1 - 2 \cdot \mu \cdot \frac{\Delta l}{l}\right)$, де μ – коефіцієнт Пуассона, що визначає

відношення поперечного стискання до розтягування $\Delta l/l$ (для більшості металів $\mu = 0,3$).

Змінюються також і питомі опори. Якщо позначити відносну зміну питомого опору $\Delta \rho/\rho$ через τ і відносну зміну розтягнення $\Delta l/l$ через ε , то опір розтягнутого дроту (провідника) визначається залежністю:

$$R' = \frac{l \cdot (1 + \varepsilon) \cdot \rho \cdot (1 + \tau)}{q \cdot (1 - 2 \cdot \mu \cdot \varepsilon)},$$

або, якщо враховувати, що $R = \rho \cdot \frac{l}{q}$ (не розтягнутий провідник):

$$R' = R \cdot (1 + \varepsilon) \cdot (1 + \tau) \cdot (1 + 2 \cdot \mu \cdot \varepsilon) \cong R \cdot (1 + \varepsilon + 2 \cdot \mu \cdot \varepsilon + \tau),$$

звідки відносна зміна опору дорівнює:

$$r = \frac{R' - R}{R} = \varepsilon + \tau + 2 \cdot \mu \cdot \varepsilon.$$

Таким чином, крутизна характеристики κ (тензочутливість) дорівнює:

$$\kappa = \frac{1}{\varepsilon} = 1 + 2 \cdot \mu + \frac{\tau}{\varepsilon}.$$

Для забезпечення достатніх для вимірювань змін опору чутливого елемента його виготовляють з тонкого дроту, який наклеюють у вигляді петель з паралельними нитками на підложку з просоченого паперу чи штучних смол. Чутливий елемент може також виготовлятися способом фотохімічного травлення покритою тонким шаром металу ізоляційної пластини. Такі тензорезистори називають фольговими на відміну від дротяних.

Напівпровідникові тензорезистори: зі зміною геометричних розмірів значно змінюється питомий опір, внаслідок чого тензочутливість досягає 180 і більше.

Діаметр троту: 20...30 мкм, що забезпечує великі опори і достатню еластичність, яка дозволяє дроту рухатись за деформацією матеріалу.

Характеристики тензорезисторів:

- *вхідна величина*: переміщення;

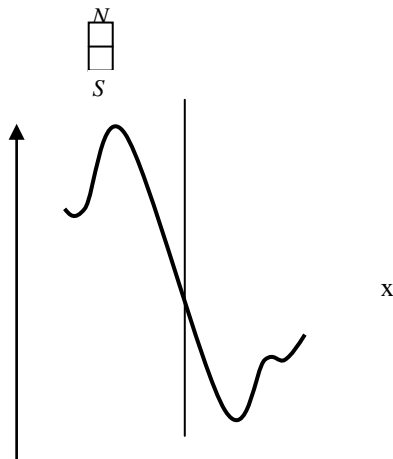
- *вихідна величина*: зміна опору;
- *діапазон вимірювання*: 5мкм;
- *похибки не лінійності*: 0,05%;
- *частотний діапазон*: 0 ÷ 10 Гц.

Елементи Холла і магнітоопори.

При розміщенні твердого тіла (пластини), що передає струм, товщиною S в магнітне поле носії зарядів, які утворюють при своєму русі електричний струм, відхиляються полем у напрямку, перпендикулярному напрямкам струму і магнітного поля. В результаті зміщення зарядів у тілі утворюється поперечно направлене електричне поле і на бічних поздовжніх гранях виникає різниця потенціалів – е.р.с. Холла U_H (рис. 21а), яка визначається:

$$U_H = R_H \cdot \frac{I \cdot B}{S},$$

- де I – сила струму;
 B – магнітна індукція;
 S – товщина пластини;
 R_H – коефіцієнт Холла.





± 0,01

б)

Рис. 21. а) Ефект Холла; б) Характеристика датчика положення з перетворювачем Холла.

Значення коефіцієнта Холла (R_H) для звичайних напівпровідникових матеріалів дорівнює $\sim 200 \text{ см}^3/\text{А}\cdot\text{с}$.

За допомогою зонда з елементом Холла, розташованого у магнітному полі, можна перетворити кутове переміщення в напругу. Відповідне профілювання дозволяє одержати лінійну залежність.

Важлива область застосування елементів Холла – вимірювання положення рухомих деталей без механічного контакту з ним з видачею напруги, амплітуда якої залежить від швидкості руху.

На рис. 21б наведена характеристика такого датчика положення. Положення нульового значення напруги Холла репродукується (відтворюється) з точністю 0,01 мм. Елементи Холла дозволяють здійснювати кодоване вимірювання пересувань, наприклад, за допомогою намагніченого відповідно певному коду, феромагнітного обертового диску, який „опитується” рядом елементів Холла. Подібний пристрій звичайно виконується як датчик повороту (кодуючий диск).

Описаний вище ефект відхилення електронів магнітним полем веде до зростання опору і використовується у так званих магніторезисторах. Вони являють собою омичні опори, чутливі до магнітного поля, причому при зміні індукції на $1 \text{ В}\cdot\text{с}/\text{м}^2$, омичний опір збільшується більше ніж у 20 разів. Магніторезистори можна використовувати не тільки для вимірювання індуктивності магнітних полів, але і, подібно зондам Холла, в якості кінцевих вимикачів, безконтактних перетворювачів переміщень.

Чутливі елементи, опір яких залежить від вологості.

При вимірюваннях вологості визначають вологовміст твердих і газоподібних речовин. Через те що електропровідність твердих та сипучих матеріалів залежить від їх вологовмісту, то для його виміру можуть застосовуватись будь-які методи вимірювання опору. Наприклад, застосовують пристрої, які складаються з двох електродів певних геометричних розмірів, поміж яких розміщують дослідну речовину.

Для вимірювання вологості газів застосовується хлористолітєвий елемент, принцип дії якого ґрунтується на визначенні точки роси.

Характеристики вологоміра:

- *вхідна величина*: вологовміст;
- *вихідна величина*: зміна опору;
- *діапазон вимірювання*: $0 \div 30\%$ відносної вологості;
- *похибка*: декілька відсотків відносної вологості;
- *переваги*: швидкодійність, простота обслуговування;
- *недоліки*: результати вимірів і їх відтворюваність залежить від стану підконтрольного матеріалу і температури оточуючого середовища (для гранул – навіть від величини гранул).

Чутливі елементи, опір яких змінюється під дією світла.

Фоторезисторами називаються напівпровідникові конструктивні елементи, які змінюють свою провідність при зміні освітлення.

Опір високоомних типів фотоелементів складає $\sim 10^8$ Ом і зменшується при освітленні у 100 лк до 10^5 Ом.

В якості матеріалів світлочутливого шару застосовують селен, сульфід цинку, олово, кадмій, германій, кремній, закис міді та інші елементи та їх сполуки.

З метою вимірювання краще всього підходить селенисто-кадмієвіфото опори.

Фотодіоди – це напівпровідникові конструктивні елементи з заміряним шаром (*p-n*-переходу), які працюють в залежності від схеми ввімкнення як фотоелемент чи як фотоопір.

Фототранзистор. Як і у діодів, при надходженні світлових квантів на замірний шар фототранзистора в ньому вивільнюється носій зарядів. У фототранзисторах фотоелектричний ефект

фотодіода суміщається з ефектом підсилення транзистора, що забезпечує більш ніж тридцятикратне підвищення чутливості.

Характеристика фототранзисторів:

- *вхідна величина*: освітленість;
- *вихідна величина*: опір;
- *чутливість*: 30 мА/лм (фотодіод) і 130 мА/лм (фототранзистор);
- *частотний діапазон*: $0 \div 50^3$ Гц (діод), $0,3 \cdot 10^4$ Гц (танзистор);
- *переваги*: мала інертність;
- *недоліки*: велика залежність „темного” струму від температури.

Терморезистори. Залежність опорів провідників і напівпровідників від температури використовується для вимірювання. На рис. 22 наведені температурні характеристики опорів деяких провідників і напівпровідників.

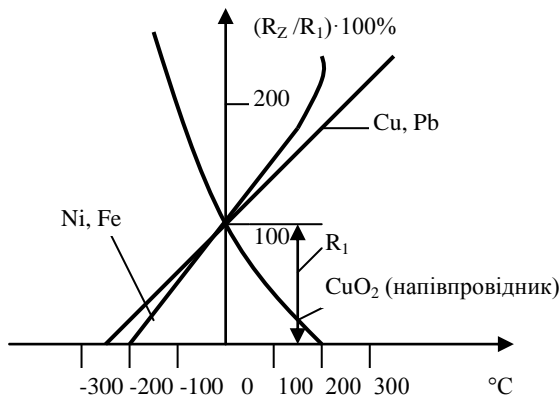


Рис.22. температурні характеристики провідників і напівпровідників

Металевий (дротяний) термометр опору. Температурний коефіцієнт опору твердих нелегованих металів $\alpha \cong 0,004^{\circ}\text{C}$. Якщо позначити відповідно температурі t_1 опір R_1 , а температурі t_2 опір R_2 , то з достатнім ступенем точності у діапазоні до 100 $^{\circ}\text{C}$ справедлива залежність:

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + \alpha \cdot (t_2 - t_1)].$$

Таким чином, зміна опору ΔR пропорційна різниці температур Δt .

Найкращим матеріалом для виготовлення термометрів опору є платина ($\alpha = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), яка дозволяє охопити температурний діапазон $(-200) \div (+850) \text{ } ^\circ\text{C}$.

Нікель має температурний режим $\alpha = 6,17 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, завдяки його низькій вартості використовується для вимірів температур, які не перевищують $150 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Каркаси дротяних термометрів опору виготовляють із слюди, тугоплавкого скла і спеціальної кераміки. Такий чутливий елемент розміщують у захисному балоні (чохлі) з легованої сталі або бронзи. Захисний балон і каркас акумулюють тепло. Внаслідок теплової інерції постійна часу складає 1...2 хвилини, тому такі чутливі елементи застосовують тільки для статичних вимірювань температур.

Похибка вимірювань за допомогою термометрів опору залежить від не лінійності статичної характеристики, впливу температури на з'єднувальні дроти і коливання живлячої напруги.

Характеристика термометрів опору:

- *вхідна величина*: температура;
- *вихідна величина*: опір;
- *діапазон вимірювань*: для нікелевих чутливих елементів $(-200) \div (+150) \text{ } ^\circ\text{C}$; для платинових – $(-30) \div (+850) \text{ } ^\circ\text{C}$;
- *похибка*: від $\pm 0,5$ до $\pm 6 \text{ } ^\circ\text{C}$ в залежності від схеми вимірювання;
- *переваги*: можливість забезпечення високої точності вимірювання;
- *недоліки*: велика інертність.

Напівпровідникові термометри опорів (терморезистори).

Характерною особливістю напівпровідників є наявність великого від'ємного температурного коефіцієнта омичного опору. Опір терморезистора зменшується при підвищенні температури. При нагріванні зміна опору терморезистора підлягає залежності:

$$R = \alpha \cdot e^{b/T},$$

де α – значення опору, яке залежить від величини і концентрації носіїв зарядів напівпровідникового матеріалу;

b – енергетичний коефіцієнт;

T – абсолютна температура.

Температурний коефіцієнт опору залежить від температури:

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R \cdot \Delta T} = \frac{b}{T^2}.$$

Енергетичний коефіцієнт може бути розрахований по результатам двох вимірів опору і відповідних їм значеннях температур:

$$R_1 = \alpha \cdot e^{b/T_1}; \quad R_2 = \alpha \cdot e^{b/T_2};$$

$$\frac{R_1}{R_2} = e^{b \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)};$$

$$b = \frac{\ln R_1 - \ln R_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}.$$

Коефіцієнт b не є постійною величиною, однак його зміни стають помітними лише при більш високих температурах. Завдяки великим питомим опорам напівпровідникових матеріалів терморезисторні чутливі елементи мають малі габарити і в незначній мірі акумулюють тепло. Тому терморезистори мають малі розміри і прийнятні для динамічних вимірювань температур, а також для визначення температурних полів шляхом вимірювань в окремих точках.

Інші чутливі елементи з опором, що змінюється.

Вугільні чутливі елементи для вимірювання тиску (чутливі елементи контактного опору). Ці чутливі елементи складаються зі складених у стовпчики вугільних дисків. При зміні тиску, що діє на диски, змінюється контактний опір між ними. Залежність опору від навантаження володіє гістерезисом від 1 до 3%.

Вугільні чутливі елементи конструктивно прості, допускають значні перевантаження мають потужності потужними вихідними

сигналами, які не потребують подальшого підсилення, а також гарними динамічними властивостями.

Термоанемометри. Провідник, що має опір R , по якому протікає струм I , розсіює в одиницю часу при стаціонарних умовах теплову енергію, що дорівнює:

$$Q = I^2 \cdot R \text{ [Дж/с, Вт]}.$$

При постійній швидкості потоку, який обтікає провідник, встановлюється певна різниця температур провідника і оточуючого середовища. Зміна швидкості потоку, а також температури оточуючого середовища викликає зміну температури провідника, яка впливає на його опір. В основному термоанемометричні чутливі елементи застосовують для вимірювання швидкостей потоків, визначення їх напрямків, а також для динамічних вимірювань температур.

3.2.1. Індуктивні чутливі елементи.

Рівняння, що визначає індуктивність обмотки, має такий вигляд:

$$L = \frac{\omega^2}{Rm},$$

де ω – число витків;

Rm – магнітний опір.

При $Rm = 1/\mu \cdot A$ $L = \omega^2 \cdot \mu \cdot A/l$,

де A – площа поперечного перерізу магнітного ланцюга;

l – довжина магнітного ланцюга;

μ – магнітна проникність.

З цього рівняння витікає, що зміну індуктивності L можна досягнути зміною довжини l (повітряний зазор), поперечного перерізу A чи магнітної проникності μ . Довжина і переріз магнітопровода є геометричними розмірами; магнітна проникність може бути змінена, наприклад, шляхом прикладання механічних зусиль (магнітопружні чутливі елементи).

Чутливі елементи з рухомим якорем.

При переміщені зображеного на рис. 23 залізного якоря Fe в котушці Sp перерозподіляється число силових ліній, які проходять

всередині якоря чи у повітрі, що викликає зміну магнітного опору Rm , а відповідно, індуктивність L .

Зміна індуктивності залежить від переміщення якоря S нелінійно. Найчастіше застосовують пристрій, показаний на рис. 23, який представляє собою диференційно ввімкнуті системи.

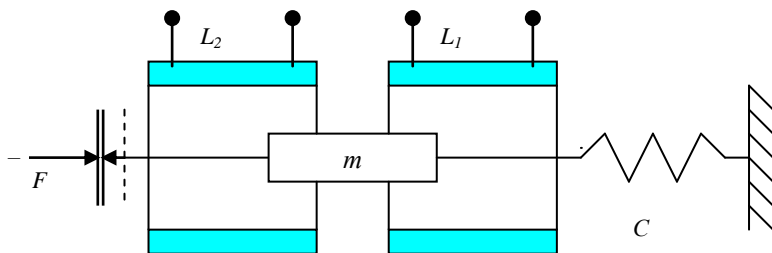


Рис. 23. Індуктивний датчик з якорем, що переміщується, для вимірювання зусилля F

У цьому випадку при ході якоря S індуктивність однієї котушки збільшується на $+\Delta L$, а індуктивність іншої зменшується на рівне значення $-\Delta L$. За допомогою, наприклад, мостової схеми різниця змін індуктивностей $L_1 - L_2 = 2\Delta L$ може бути перетворена в електричну напругу. Відповідне профілювання котушок і якоря дозволяє використовувати чутливий елемент цього типу для вимірювання кутів нахилу.

Характеристика елементів:

- *вхідна величина*: лінійне переміщення, кут відхилення;
- *вихідна величина*: зміна індуктивності, перемінна напруги;
- *діапазон вимірювання*: 80% довжини катушки;
- *похибка від не лінійності*: 1 - 3%;
- *переваги*: висока чутливість, простота конструкції, відсутність зношування, можливість застосування при великих переміщеннях якоря;
- *недоліки*: нелінійність характеристики, чутливість до зовнішніх магнітних полів.

Чутливі елементи з поперечним переміщенням якоря.

Індуктивний чутливий елемент з поперечним переміщенням якоря (рис. 24) призначений для вимірювання малих переміщень і їх змін:

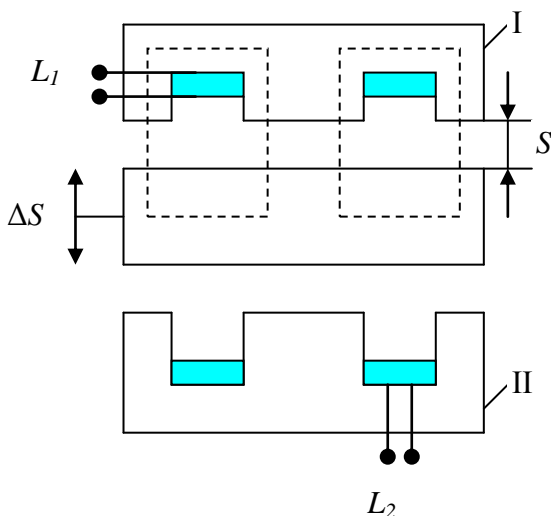


Рис. 24. Індуктивний датчик з поперечним (відносно поля) переміщенням якоря

Для досягнення можливо більшої чутливості і лінійності характеристики чутливий елемент виконують у вигляді здвоєної котушки з повітряним зазором. Котушки 1 і 2 однакові, якір розташований між двома магнітопроводами з зазором S . Наявність двох диференційно ввімкнених індуктивностей не тільки забезпечує подвоєну чутливість порівняно з однокотушковою системою і покращену лінійність характеристики, але й одночасно компенсує вплив змін температури і потоку розсіювання.

Характеристика елементів:

- *вхідна величина*: переміщення;
- *вихідна величина*: індуктивність;
- *діапазон вимірювання*: до 1 мм;
- *похибка від нелінійності*: 1 - 3%;
- *переваги*: надвисока чутливість, конструктивна простота;

- *недоліки*: нелінійність, незначний діапазон вимірювання, чутливість до зовнішніх магнітних полів, велике вимірювальне зусилля.

Магнітопружні чутливі елементи.

У розглянутих вище індуктивних чутливих елементах індуктивність змінювалась внаслідок зміни положення якоря – його переміщення. Магнітна проникність μ ряду речовин, особливо залізонікелевих сплавів, які вміщують $\sim 80\%$ нікелю, змінюється під дією прикладених механічних напруг. В деяких сплавах механічні напруження 100 Н/мм^2 змінюють магнітну проникність приблизно на 40% , причому залежність змін магнітної проникності від прикладених навантажень близька до лінійної.

Магнітопружні чутливі елементи сприймають безпосередньо прикладені зусилля і використовуються в якості силовимірювачів, які працюють у важких умовах експлуатації в тих випадках, коли підвищені похибки порівняно з тензOMETричними чутливими елементами не мають першоступеневого значення, а вибір вимірювача визначається вимогою великого за потужністю вихідного сигналу, що не потребує підсилення.

Характеристика елементів:

- *вхідна величина*: сила;
- *вихідна величина*: зміна магнітної проникності;
- *діапазон вимірювання*: від 100 Н до вкрай високих зусиль;
- *похибка від нелінійності*: до 3% ;
- *переваги*: велика потужність вихідного сигналу, простота конструкції;
- *недоліки*: не лінійність характеристики.

3.2.3. Ємнісні чутливі елементи

Ємність плоского конденсатора без врахування краєвого ефекту визначається рівнянням:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d},$$

де $\varepsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ А} \cdot \text{с}/(\text{В} \cdot \text{м})$ – діелектрична стала;

ε_r – відносна діелектрична проникність середовища, яка знаходиться між пластинами конденсатора;

A – площа пластини;

d – відстань між ними.

Ємність конденсатора змінюється при зміні площі пластин, відстані між ними (зазору) і діелектричної проникності матеріалу.

Чутливі елементи з зазором, що змінюється.

При зміні зазору d між пластинами конденсатора (рис. 25) на величину Δd , ємність конденсатора визначається рівнянням:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}{d + \Delta d} \approx \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}{d} \cdot \left[1 - \frac{\Delta d}{d} + \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 \right].$$

Тільки при малих відносних змінах зазору $\Delta d/d$ залежність між $\Delta C/C$ і $\Delta d/d$ практично лінійна.

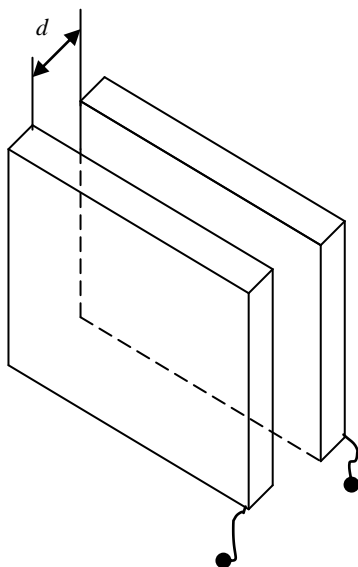


Рис. 25. Плоский конденсатор із змінним зазором.

При $\Delta d/d = 0,1$ нелінійність складає 10%, при $\Delta d/d = 0,01$ – приблизно 1%.

Для забезпечення лінійності в широкому діапазоні використовують диференційний конденсатор (рис. 26). При

переміщенні середньої пластини на відстань Δd , при відповідній схемі підключення (мостовій схемі), зміна ємності дорівнює:

$$C = C_1 - C_2 = -\frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}{d} \cdot \left[2 \cdot \frac{\Delta d}{d} + 2 \cdot \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 \right].$$

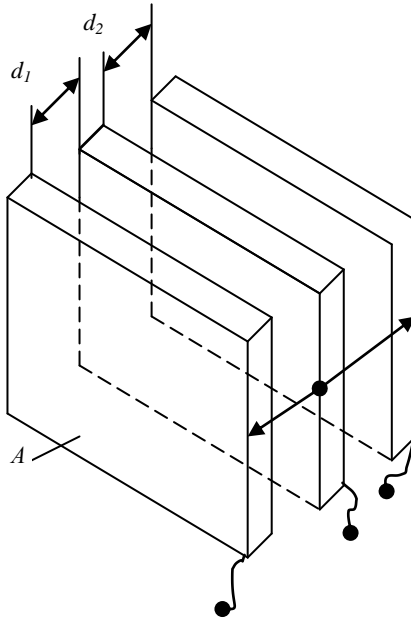


Рис. 26. Диференційний конденсатор. Середня пластинка може переміщуватись у поперечному напрямку.

Подібно індуктивному чутливому елементу з поперечним переміщенням якоря і здвоєними обмотками, диференціальний принцип і в цьому випадку разом з подвоєнням чутливості забезпечує розширення лінійного діапазону.

При $\Delta d/d = 0,1$ нелінійність характеристики такого конденсатора складає 1%.

Характеристика елементів:

- *вхідна величина*: переміщення;
- *вихідна величина*: зміна ємності;

- *діапазон вимірювання*: до 1 мм;
- *похибка від нелінійності*: 1 - 3%;
- *переваги*: мала величина необхідних для вимірювання зусиль, достатня чутливість при високих температурах;
- *недоліки*: чутливість до електричних завад.

Чутливий елемент зі змінною площею пластин.

У рівнянні ємності конденсатора величина A представляє собою площу взаємного перекриття пластин. Зміщення обох пластин відносно одна одної на величину s можна змінити площу їх перекриття. При чому для пластин прямокутної форми залежність $A = \epsilon \cdot s$ – лінійна (рис. 27). Через те що величина A знаходиться у чисельнику рівняння ємності конденсатора, то ємність лінійно залежить від величини s .

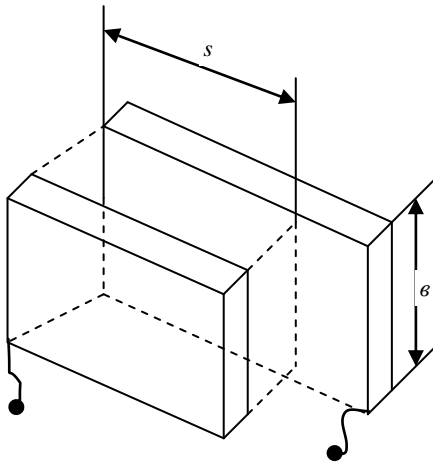


Рис. 27. Плоский конденсатор зі змінним перекриттям пластин

Використання пластин різної форми дозволяє одержувати квадратичні, логарифмічні та інші залежності. Конденсатор перемінної ємності, який складається з круглих поворотних пластин, може застосовуватися для виміру кутів повороту.

Характеристика елемента:

- *вхідна величина*: лінійне і кутове переміщення;
- *вихідна величина*: зміна ємності;
- *діапазон вимірювання*: декілька сантиметрів, кутове переміщення до 180°;
- *переваги*: лінійність характеристики;
- *недоліки*: чутливість завад.

Чутливі елементи з діелектричною проникністю змінного зазору.

Ємнісні чутливі елементи, основані на вимірюванні зміни ε , застосовують головним чином для визначення складу речовин (при повному заповненні зазору контролюємим середовищем) і для вимірювання рівня при змінному заповненні зазору. Рівень можна змінювати як вздовж, так і в поперек пластин. При контролі складу твердих речовин (наприклад, піску, пилу, гравію), а також рідин (пари, газів чи вологих матеріалів) їх можна розмішувати всередині плоского чи циліндричного конденсатора. Для повністю заповненого вимірювального конденсатора існує пропорційна залежність:

$$\frac{C_m}{C_{LU}} = \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_{LU}}.$$

Через те що, наприклад, вода порівняно з повітрям має значно більшу діелектричну проникність, то за допомогою вказаної залежності можна визначити вологовміст різних ізоляційних матеріалів. При порівняльних вимірюваннях важливо, щоб діелектричні проникності досліджуваних матеріалів різнилися у незначній мірі. Суттєва відмінність діелектричної проникності повітря від діелектричної проникності багатьох рідин і твердих матеріалів, перш за все води, дозволяє вимірювати ємність методом положення рівня і стану заповнення посудин, а також товщину льоду. В цьому випадку розглядають дві паралельно з'єднані ємності, причому через те що $\varepsilon_{ri} = 1$, то:

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{h_2}{h} \cdot (\varepsilon_{ri} - 1).$$

При практичному використанні цього метода у контролюємий резервуар занурюють два циліндричних або пласких електроди і визначають ємність між ними, по значенню якої при відомому ϵ_{r2} контролюємого середовища розраховують висоту рівня заповнення. Шкала показуючого приладу градується в одиницях рівня. Метод – безінерційний, через те що ємність змінюється одночасно зі зміною рівня заповнення h_2 .

При зміні товщини шарів електроізоляційних матеріалів (плівок, тканин, товщини лакових покриттів) досліджуємий матеріал пропускають у зазорі між вимірювальними обкладками конденсатора.

Характеристика елемента:

- *вхідна величина*: переміщення;
- *вихідна величина*: вимірювання ємності;
- *переваги*: безконтактність, придатність для вимірювання товщини ниток та плівок;
- *недоліки*: нелінійність, високоємність.

Перетворення і підсилення вимірюваних величин

1. Мета та значення перетворення.

Вимірювання – це порівняння (надходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів). Не завжди існує шкала значень порівняльних величин (мір), однотипних з тією, що вимірюється, тому шукані величини мають бути приведені у відповідність з іншою фізичною величиною, значення якої піддається прямому вимірюванню. Таке співставлення називається вимірювальним *перетворенням* величини.

Перетворення вимірюваної величини здійснюється з метою уніфікації різних величин при здійсненні контролю комплексних технічних установок чи при дослідженні нових організмів.

У великому об'ємі перетворення вимірюваних величин здійснюються в системах керування (управління). При використанні ЕОМ в системах керування технологічними процесами необхідно представляти вимірювані величини у вигляді електричних імпульсів.

Вимірювальне перетворення є проблемою багатьох областей наук і техніки, здійснюється багатьма способами.

В загальному випадку перетворення є підсиленням, тобто збільшенням рівня потужності представлення величин, що підлягає вимірюванню.

2. Основні поняття.

Вхідні сигнали вимірювальних перетворювачів вкрай різноманітні і принципово не піддаються уніфікації, якщо не розглядаються нормовані сигнали проміжних вимірювальних перетворювачів.

Число фізичних величин, які можуть бути використані у якості вихідних сигналів, обмежено. Для фізичних величин, що переважно використовуються, – напруга, сила струму і тиск – маються погодження, які визначають амплітудні діапазони величин і часові характеристики. Розрізняють аналогові, частотні і дискретні вихідні сигнали.

Аналоговими електричним сигналами переважно є значення вимірюваної величини напруги і струму, що визначаються. Аналогово вимірюємі опори характерні для датчиків вимірюваних величин. В залежності від характеру вихідного сигналу перетворювачі можуть представляти собою, наприклад, джерело напруги з незначним (дуже малим) внутрішнім опором чи джерело струму, що має по можливості безкінечно великий вихідний опір. Відповідно розуміється під цим, що напруга не знижується під навантаженням, або струм не залежить від опору зовнішнього ланцюга. Такі граничні характеристики перетворювачів забезпечуються завдяки використанню принципів автоматичного регулювання.

Часто нульовому значенню вимірюваної величини відповідає позитивне кінцеве значення вихідного сигналу, наприклад, 4 мА для струменевих сигналів. Це не тільки дозволяє контролювати справність роботи (дії) перетворювача, але й забезпечує можливість його живлення через ланцюг вихідного сигналу.

Перетворювачем може бути також пневматичний елемент – джерело тиску стиснутого повітря, яке визначається значенням вхідної величини і лише у незначній мірі змінюється при змінах витрати.

У вимірювальних перетворювачах з електричним вихідним сигналом в якості останнього можуть бути використані постійний струм, миттєві значення якого пропорційні вимірювані величини, а також змінний струм і змінна напруга постійної частоти з амплітудою і фазою, що змінюються.

Перетворення аналогових електричних сигналів у дискретні у теперішній час є звичайною операцією.

Між представленням вимірюваної величини у вигляді аналогового і у вигляді дискретного сигналів здійснюється частотна модуляція, при якій частотою змінної напруги чи послідовністю імпульсів керує вимірювана величина, що визначає значення цих величин.

Принципово вимірювальний перетворювач представляє собою каскадний ланцюг ланок, замкнений контур керування або їх комбінацію. При каскадному з'єднанні ланок сигнал, що проходить послідовно по ланцюгу, перетворюється необхідним (відповідним вимогам) чином, причому кожна наступна ланка не впливає на попередню.

Закон перетворення якісно і кількісно визначається характеристиками усіх ланок. Відхилення істинних характеристик ланок від теоретичних, а також похибки, які виникають в ланках, впливають на кінцевий результат вимірювань (згідно законам розповсюдження похибок).

В замкненому контурі (рис. 28) значення вхідного сигналу X_a співставляється зі значенням аналогічного сигналу зворотного зв'язку, що видає ланцюг 2 і, який залежить в свою чергу від значення вихідного сигналу підсилювача X_a .

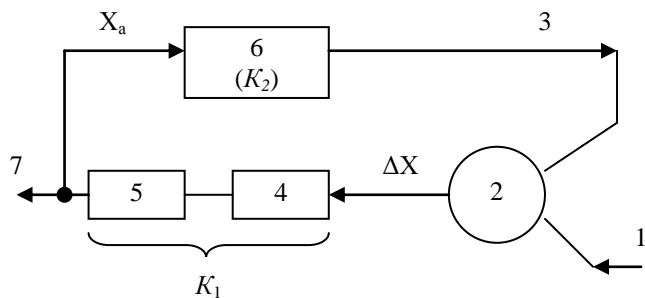


Рис. 28. Вимірювальний перетворювач у вигляді замкненого контуру регулювання.

1 – вхідна величина; 2 – елемент порівняння; 3 – компенсуюча величина; 4 – перетворювач зв'язку; 5 – підсилювач; 6 – логічний елемент лінії зворотного зв'язку; 7 – вихідна величина.

Сигнал непогодження, що виникає внаслідок порівняння, надходить в перетворювач 4 і підсилювач 5, в результаті чого контур замикається. У відповідності з теорією керування вхідний сигнал є задаючою величиною, вихідний сигнал – керуючою дією. Зображені у нижній гілці ланки представляють собою регулятор, а ланка зворотного зв'язку 6 – об'єкт керування.

Справедлива залежність:

$$X_a = K_1 \cdot \Delta X; \Delta X = X_e - K_2 \cdot X_a,$$

з якої:

$$X_a = X_e \cdot \frac{K_1}{K_1 \cdot K_2 + 1}.$$

При $K_1 \cdot K_2 \gg 1$ останнє рівняння спрощується:

$$X_a \cong \frac{1}{K_2} \cdot X_e.$$

При достатньо великому коефіцієнті підсилення в ланцюгу зворотного зв'язку $K_1 \cdot K_2$ передаточна характеристика вимірювального перетворювача визначається тільки значенням K_2 .

Залежність між X_a і X_e , а також похибка перетворення практично визначається тільки ланкою зворотного зв'язку 6.

Через те що значення K_1 не ввійшло у вираження X_a , то значення вихідного сигналу не залежить від навантаження. Це справедливо і у тому випадку, якщо перед замкненим контуром встановлені додаткові ланки, тобто для визначення сполучень замкненого контуру і ланцюжка ланок.

Якщо вихідним сигналом є сила струму, то вона в широкому діапазоні не залежить від омичного опору зовнішнього ланцюга;

якщо вихідним сигналом є напруга, то при зміні провідності ланцюгу навантаження воно зберігає своє значення.

Фізичні і фізико-хімічні явища, що визначають залежність між вхідним і вихідним сигналами вимірювальних перетворювачів

1. Матриця логічних перетворень.

Перетворення величин здійснюється на основі використання фізичних і фізико-хімічних ефектів. Ці ефекти можуть бути використані як окремо, так і у комбінації один з одним. Слід враховувати, що у перетворювачах з замкненим контуром в лінії проходження сигналу двічі відбувається перетворення різного роду величин – до і після елемента порівняння. При цьому напрямки цих перетворень протилежні.

Тим не менш ефекти, які використовуються при перетвореннях, не повинні бути взаємно протилежними.

В таблиці 2 наведені фізичні ефекти, на основі яких можуть здійснюватись перетворення вимірюваних величин. Для наочності таблиця дана у вигляді матриці. Вкрай важко запропонувати загальні критерії вибору ефекту, на основі якого в кожному конкретному випадку доцільно здійснювати перетворення. Цей вибір обмежується характером вихідних сигналів: слід віддати перевагу електричним і пневматичним. Тому, з одного боку, розглядаються ефекти, що дозволяють перетворювати будь-які фізичні величини в електричні струми, напруги опори, з іншого боку – ефекти, що встановлюють зв'язок вхідних фізичних величин з тисками, а також фізичні явища, які дозволяють здійснювати зворотні перетворення. В теперішній час застосовується велике число вимірювальних перетворювачів різних принципів дії.

3.3. Перетворення неелектричних сигналів в електричні.

3.3.1. Механічні величини.

В якості приклада механічних величин, що надходять на вхід перетворювача безпосередньо від досліджуваного процесу або від первинного чутливого елемента, вибрані переміщення і сила.

В якості прикладу перетворювача, оснований на принципі перетворення переміщення, на рис. 29 схематично показаний

вимірювальний перетворювач різниці тисків. Конструкція передбачає наявність чутливого елемента – сільфона, перетворюючого спочатку різниці тисків в зусилля, а за тим це

Таблиця 2

Фізичні ефекти, які використовуються для перетворення вимірюваної величини

Вихідна величина	Вхідні величини					
	механічна	теплова	магнітна	електрична	оптична	молекулярна
механічна	Закон важеля. Пружність. Фізичний маятник.	Теплове розширення. Тиск парів.	Сили, що діють в магнітному полі. Магнітострикція.	Сили, що діють в електричному полі. Електрострикція. П'єзоелектричний ефект.	Тиск випромінювання. Радіометр.	Сорбція. Десорбція. Набухання. Електрофорез.
Теплова	Адіабатична зміна стану. Теплота тертя.	—	Вихрові струми.	Джоулева теплота. Діелектричні втрати тепла. Вихрові струми.	Абсорбція + залежність опору від температури. Т.Е.Р.С. чи піроелектричний ефект.	Питома теплоємність. Теплопровідність
магнітна	Конвективні потоки.	Закон Кюрі-Вейсса.	Діа-параферо-	Електромагнітні	Абсорбція + закон Кюрі-	—

	Магнітний ефект.		магнетизм. фото опір.	вимірювальні прилади. Сили, що діють в магнітному полі.	Вейсса	
електрична	Індукція. П'єзорезистивні і п'єзоелектричні ефекти	Залежність опору від температури. Термоелектричний ефект. Піроелектричний ефект.	Ефект Холла. Ефект Томпсона. Індукція.	Електрична Індукція (інфлюенція) проходження струмів в рідинах, газах і твердих тілах	Зовнішній і внутрішній фотоелектр. фотоопір.	Напруга Вольта. Контактна різниця потенціалів. Електролітичність. Провідність. Концентраційний потенціал

Продовження табл. 2

Вихідна величина	Вхідні величина					
	механічна	теплова	магнітна	електрична	оптична	молекулярна
оптична	Інтерференція. Триболюмінесценція	Теплове випромінювання. Затухання.	Ефект Фарадея. Ефект Зеемана.	Ефект Керра. Електролюмінесценція.	Модулятори перетворення довжин хвиль за	Емісія і абсорбція. Молекулярні спектри

		Флуоресценція		Лазер.	допомогою електронно-оптичних перетворювачів або люмінофорів.	
молекулярна	—	Термофарба.	—	Гальванічна чарунка.	Фотоемульсія. Використання електрооптичних перетворювачів	—

зусилля в пружну деформацію – переміщення жорсткого центра.

Це переміщення трансформується у розтягнення і стиснення шарів гнучкої пружини з приклеєним до них зверху і знизу тензорезисторами, які перетворюють їх в електричний сигнал.

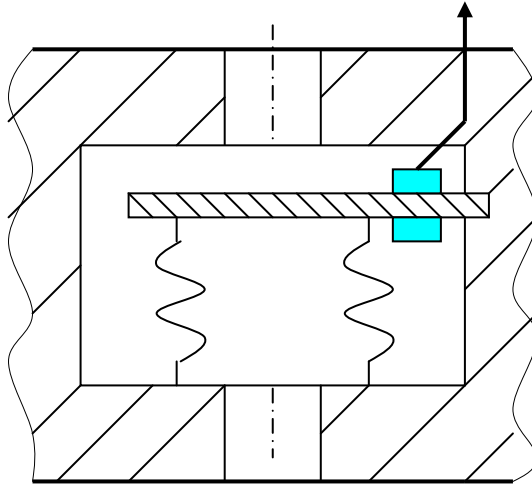


Рис. 29. Перетворювач різниці тисків з тензорезисторами.

3.3.2. Теплові величини.

При перетворенні теплових величин сигнал, що подається датчиком (термопарою чи терморезистором), надходить на підсилювач, який виконаний у вигляді операційного підсилювача, і далі на показуючий пристрій чи пристрій обробки даних. Окремі ланки вимірювального ланцюга були вже розтягнуті.

Розглянемо тільки два метода, які відрізняються тим, що їх допомогою здійснюються перетворення температури у частоту.

Перший метод передбачає використання в якості чутливого елемента терморезистора. Залежність його опору від температури визначається рівнянням:

$$R_t = R_0 \cdot \exp(\alpha \cdot t); t = T - T_0.$$

Терморезистор в якості ланки, що задає частоту, увімкнений в схему генератора. На рис. 30 показана відповідна схема

увімкнення. Паралельне і послідовне приєднання до R_T постійних опорів дозволяє змінити його температурну характеристику для того, щоб забезпечити лінійну залежність частоти від температури.

Другий метод ґрунтується на залежності частоти кварцового генератора від температури. Використовуючи вирізану з природного чи штучного кристалу кварцу пластинку, різним чином орієнтовано відносно кристалічних осей, можна забезпечити різний характер і ступінь залежності від температури.

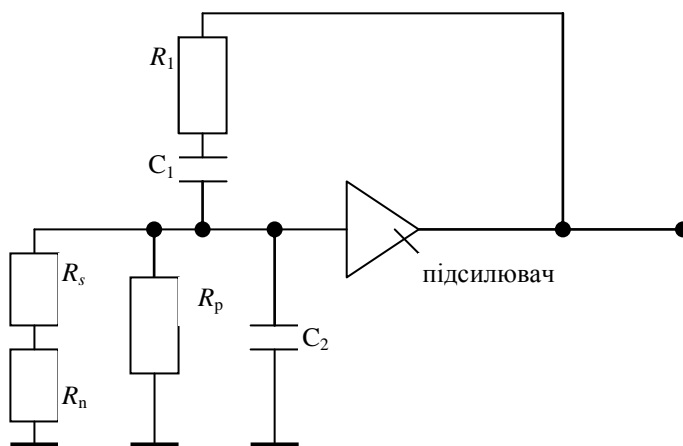


Рис. 30. Лінійне перетворення „температура-частота”

Для кварцових генераторів, призначених для утворення шкали часу, необхідно забезпечити сувору постійність (сталість) частоти. На рис. 31 показано пристрій, за допомогою якого можна одержати числове співвідношення між цифровим відліком і температурою. Для цього, крім транспозиції, необхідне налагодження інтервалів рахунку. Перша встановлює положення „нуля”, друга – кут підйому характеристики „температура-частота”. За допомогою двох кварцових генераторів, що мають протилежно направлені характеристики „частота-температура”, різницю температур двох точок може бути перетворена у частотний сигнал. Далі необхідно розглянути перетворення теплової властивості матеріалів, а саме питомої теплоємності твердих тіл чи рідин в електричний сигнал.

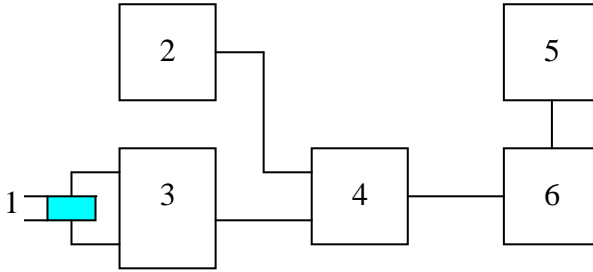


Рис. 31. Вимірювання температури за допомогою кварцового генератора частоти.

1 – термочутливий кварцовий кристал; 2 – опорний генератор; 3 – вимірювальний генератор; 4 – змішувач; 5 – регулюємий часовий масштаб; 6 – лічильник.

Метод такого перетворення оснований на застосуванні адіабатичного колориметра з програмованою зміною температури.

Питоною теплоємністю одиниці маси однорідної речовини ϵ :

$$C_p = \frac{1}{m} \cdot \frac{d}{dt} \cdot H(t),$$

де H – ентальпія;

t – температура;

m – маса досліджуваної проби.

Для рідин і твердих речовин, які мають вкрай малу стисливість і мале теплове розширення, питома теплоємність C_p приймається при постійному тиску. В адіабатичному колориметрі з електропідігрівом посудини з пробєю згідно визначенню $\Delta H = E$, де E – електрична енергія, що підводиться до колориметра. При лінійному законі зміни температури $dt / d\tau = const$:

$$C_p = \frac{1}{m} \cdot \left[P \cdot \left(\frac{dt}{d\tau} \right)^{-1} - w \right],$$

де w – теплоємність посудини з обігрівуючим пристроєм;

P – електрична потужність, що підводиться.

Лінійний закон наростання температури забезпечується пристроєм програмного регулювання.

3.4. Перетворення електричних сигналів.

3.4.1. Перетворення вимірюваних електричних величин одного виду в електричні величини іншого виду.

Найбільш поширеними видами вхідних електричних сигналів, які видаються первинними вимірювальними перетворювачами і чутливими елементами, є напруга, струм, потужність, фаза, частота та опір.

Розглянемо перетворення цих сигналів у величини, придатні для подальшої обробки, тобто нормований струм, напругу, частоту, число імпульсних і цифрові сигнали.

Способи, які можна застосовувати для таких перетворень вказані в таблиці 3.

Таблиця 3.

Вид вихідного сигналу	Вид вхідного сигналу	
	Напруга, струм	Потужність
Нормована напруга	Підсилювач з послідовним або паралельним зворотнім зв'язком	Тепловий перетворювач; елемент Холла
Нормований струм	Від'ємний зворотній зв'язок по струму	Електродинамічний вимірювальний пристрій з автоматичною компенсацією. Множення за допомогою імпульсної модуляції
Частота	Релаксаційні генератори	—
Цифровий сигнал	Аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП)	АЦП з множим пристроєм.

Поява транзисторних операційних підсилювачів створило нову основу для обробки електричних сигналів. За допомогою зовнішніх схем електричні параметри цих елементів, що забезпечують велике підсилення (не тільки вхідні і вихідні опори,

але й динамічні характеристики) можуть варіюватись в широких межах.

Перетворення потужності є добутком струму і напруги, в аналогові напруги і струми можливі на основі аналогових напівпровідникових схем множення чи за допомогою широтно-амплітудних перетворювачів. Застосовуються також автоматичні компенсаційні, динамометричні вимірювальні пристрої. Для перетворення значення опорів в аналогові напруги разом з мостовими схемами можуть застосовуватись схеми з стабілізованими джерелами струму.

У відповідності з законом Ома вихідна напруга цих схем пропорційна опорю, що перетворюється. За допомогою дискримінаторів частотні сигнали можуть бути перетворені в напругу і струм. Для цього разом з коливальними контурами мостовими схемами Віна застосовуються методи перезарядки конденсаторів за допомогою електронних перемикачів. Перетворення частот і фаз у аналогові і цифрові сигнали відносяться до області електричних вимірювань часу. Фазовий дискримінатор, в якості якого зазвичай застосовують фазочутливий випрямляч, дозволяє безпосередньо перетворювати неузгодження фаз в аналогову постійну напругу. Перетворення величини в цифрову форму можливо шляхом їх співставлення з опорним сигналом, перетворення моменту переходу характеристики через „нуль” в імпульси і вимірювання інтервалів між ними за допомогою підрахунку періодів нормальної частоти.

3.4.2. Перетворення електричного сигналу в сигнал іншого виду.

Перетворення електричних сигналів в оптичні вже давно застосовують в техніці зв'язку, наприклад в телеграфії і телефонії, при використанні модульованого світла. До цієї ж області відносяться оптичний запис звуку і передача телевізійного зображення.

Зростаючого значення набувають оптоелектронні елементи зв'язку (оптрони), які представляють собою комбінацію світловипромінюючих діодів та фотодіодів. Ці елементи дозволяють гальванічно розв'язувати ланцюги з великою різницею потенціалів, що викликають хибні зв'язки і завади, зазвичай вони

виникають при прямих гальванічних чи трансформаторних з'єднаннях.

Електро механічне перетворення сигналів здійснюється, наприклад, при звукозапису на грамофонні платівки. Цей вид перетворення є основним при індикації і реєстрації електричних сигналів і не обмежуються тільки аналоговими сигналами.

Значні труднощі виникають при перетворенні високочастотних сигналів з макроскопічними амплітудами. За допомогою п'єзоелектричних і магнітострикційних перетворювачів дуже високі частоти можуть передаватись на достатньому рівні сигналу. Подібні перетворення використовуються також для затримки сигналу і його запам'ятовування.

Електрогідролічне перетворення має особливе значення в області регулювання. Це перетворення проводиться у дві стадії: спочатку струм за допомогою електромагнітного пристрою перетворюють у переміщення, яке потім безпосередньо діє на потік рідини.

На рис. 32 показаний принцип дії пристрою, який представляє собою свого роду гідролічний міст, що вміщує два постійних і два змінних гідролічних опори, що змінюються в протилежних напрямках. Значення перемінних опорів залежить від положення якоря A , який визначається струмом I обмотки S , індуктивністю поля постійного магніту і жорсткістю пружини F . Різниця тисків у вершинах моста E є функцією тиску мережі гідролічного живлення і струму.

Рис. 32. Електрогідролічний перетворювач.

1 – тиск живлення.

Таким чином, пристрій являє собою типовий регулюючий орган.

Стабільність і лінійна відповідність між струмом і різницею тисків принципово може бути забезпечена за допомогою від'ємного зворотного зв'язку.

Перетворення дискретних електричних сигналів в гідролічні можливе за допомогою електромагнітних засувки, які сприймають

кодові сигнали і встановлюють дискретно ступінчаті гідравлічні опори.

При електропневматичному перетворенні вимірювана величина часто спочатку електрично перетворюється в зусилля, яке порівнюється з тим зусиллям, що розвивається тиском робочого середовища. Різниця зусиль переміщує пневматичний керуючий елемент (система „сопло-заслінка”), вихідний тиск якого розвиває урівноважуюче зусилля.

Вимірювання витрат

Витратою називається кількість речовини, що протікає через переріз трубопроводу в одиницю часу.

Розрізняють об'ємну витрату, що вимірюється в одиницях об'єму, поділену на одиницю часу $q_v = V/t$ і масову витрату m/t .

Відповідність цих витрат:

$$q_m = \rho \cdot q_v,$$

де ρ – густина рідини.

Об'ємна витрата визначається за показниками об'ємних лічильників чи як добуток:

$$q_v = \omega \cdot S,$$

де ω – середня швидкість потоку;

S – площа поперечного перерізу потоку.

Об'ємні методи вимірювання витрат

Об'ємні методи передбачають послідовне підсумовування порцій середовища, що проходить через вимірювальні камери певного об'єму чи тих, що використовуються з його камер при безперервному обертанні лопать лічильника.

Огляд об'ємних методів.

Класифікація методів вимірювання об'ємних витрат наведена в таблиці 4.

Таблиця 4.

Класифікація об'ємних лічильників

Метод вимірювання	Тип лічильника	Чутливий елемент	Модель	Контрольні середовища
Об'ємні лічильники безперервної дії	Об'ємні лічильники з нерухомими стінками вимірювальних камер	Нерухомі камери. Перекидальні камери. Камери обертів.	Камери з автоматичним перемиканням. Перекидальні лічильники. Барабанні лічильники	Рідини
	Об'ємні лічильники з переміщуємими стінками камер (витискуючі лічильники)	Поршень. Обертвий поршень. Запірна рідина. Пружний чутливий елемент	Лічильники однопоршневі; багатопоршневі; кільцеві; з овальними шестернями; сухі газові; мокрі газові; дискові	Гази
Непряме вимірювання об'ємів (лічильники без вимірювальних камер)	Об'ємні лічильники лопатні (турбінні лічильники)	Аксіальна турбіна. Тангенціальна турбіна	Лопатні; лічильники Вольтмана; роторні лічильники; шнекові лічильники	Рідини, рідини + гази

В залежності від принципу дії лічильники поділяються на дві великі групи:

- об'ємні;
- безкамерні.

Об'ємні лічильники безперервної дії, в яких послідовно відмірюються певні об'єми рідини, які визначаються розміром і формою вимірювальних камер і за допомогою лічильного механізму підраховується число порцій, що пройшли крізь лічильник.

Лічильники цього типу поділяються на ті, що спорожняються і ті, що витискаються.

Лічильники, що спорожняються мають жорсткі камери, з яких контрольоване середовище вільно витікає. Лічильники цього типу не придатні для вимірювання витрати газів. Лічильники витискання можна застосовувати для вимірювання витрати як рідини, так і газів.

Рухома стіна мірної камери витискує контрольоване середовище, звільняючи камеру для наступної порції.

Безкамерні лічильники, в яких об'єм визначається різними непрямими методами, наприклад шляхом вимірювання пересування чи швидкості потоку, інтегруванням витрат за часом. При цьому необхідно враховувати густину контролюемого середовища.

Об'ємні лічильники з нерухомими стінками вимірювальних камер (лічильник, що спорожняється)

Принцип дії та характеристики.

В об'ємних лічильниках цього типу заповнення вимірювальних камер забезпечується подачею контролюемого середовища під невеликим тиском, а їх спорожнення – перекиданням або автоматичним відкриттям випускного клапана. Втрати тиску на лічильниках невеликі, для заповнення камер зазвичай достатньо невеликий надлишковий рівень. В той же час регулювати спорожнення неможливо, через те що злив відбувається без протитиску.

Конструкція дозволяє вимірювати об'єм сильно забруднених рідин, через те що вимірювальні камери спорожняються через великі випускні отвори шляхом перекидання чи під дією вібрації. Похибки кращих моделей лічильників менше 0,1%.

Значною перевагою є можливість вимірювання малих витрат, через те що лічильники чутливі до малих кількостей середовища, що надходить до вимірювальної камери.

Барабанні лічильники

Принцип дії та конструкція.

Барабанний лічильник є типовим прикладом перекидного лічильника.

Рис. 33. Схема барабанного лічильника

У наведеному на рис. 33 приладі вимірювальна камера 2 майже цілком заповнена контрольованим середовищем. Після її остаточного заповнення рідиною через щілину починає потрапляти у камеру 3, в результаті чого центр тяжіння системи зміщується вліво і барабан повертається у напрямку стрілки.

При цьому вимірювальна кромка 4 виходить з контрольованого середовища; при подальшому обертанні рідина з камери 2 виливається через випускний отвір 5. Одночасно камера 3 знову наповнюється. Для видалення повітря з вимірювальної камери при її заповненні передбачена трубка 1.

Об'ємні лічильники з роздільним елементом, що переміщується (витискуючі лічильники)

Принцип дії.

У витискаючих лічильниках контрольоване середовище приводить в рух рухомі стінки вимірювальних камер. Похибки вимірювання викликаються головним чином щілинними втратами, тобто витоками між нерухомими і рухомими стінками вимірювальних камер. Суттєву роль при цьому грає в'язкість контролюемого середовища. Крім того, фізичні характеристики потоку у середині щілини впливають на втрати.

При малих витратах похибка гіперболічно зростає, далі зі збільшенням витрати повільно зменшується.

Джерела похибок. Зношування матеріалу, яке швидко зростає при перенавантаженні лічильника, сприяє збільшенню щілинних витоків. З цим пов'язано швидке зростання похибок при малих витратах. Через те що зазор між корпусом вимірювальної камери і її рухомою стінкою незначні, лічильники цього типу особливо чутливі до забруднення контролюемого середовища, що обумовлює необхідність ретельної її фільтрації. Внаслідок забруднення підвищується тертя, а за ним зростають похибки.

Область застосування. Лічильники цього типу застосовують у всіх випадках, коли точність витратомірів з дросельним пристроєм недостатня. Значні переваги витискуючих лічильників є підвищена точність при вимірюванні пульсуючих потоків.

Внаслідок існування щілинних витоків ці лічильники не можуть застосовуватись для вимірювання малих потоків.

В останній час з'явилися витратоміри, в яких витискаючі лічильники приводяться в рух не за рахунок енергії потоку контрольованого середовища, а сервомотором.

В процесі вимірювання число обертів сервомотора змінюється таким чином, що різниця тисків на вході і виході витратоміра дорівнює нулю. В діапазоні витрат $0,15 \div 150$ л/год досяжні похибки $\pm 0,25\%$.

Лічильники з кільцевим поршнем (кільцеві лічильники)

Принцип дії та конструкція.

Лічильник складається з двох порожніх концентрично встановлених і з'єднаних між собою перегородкою циліндрів, показаних на рис. 34.

Рис. 34. Принцип дії лічильника з кільцевим поршнем.

В утворену таким чином вимірювальну камеру поміщено кільцевий поршень з радіальним прорізом. Під час руху кільцевий поршень переміщується радіально вздовж роздільної перегородки вимірювальної камери; одночасно вісь поршня Z ковзає по внутрішній стінці внутрішнього циліндра. Таким чином, поршень переміщується по внутрішній і зовнішній стінкам вимірювальної камери.

Для входу і виходу рідини передбачені на одному чи на протилежних торцях вимірювальної камери входні (E) і вихідні (A) отвори.

Конструкція виключає можливість їх з'єднання при заповненні і спорожненні об'ємів V_1 і V_2 .

Точність кільцевого лічильника не залежить від напрямку потоку рідини. Для нормальної роботи лічильника необхідна попередня фільтрація рідин. Похибка залежить від точності виготовлення поршня і вимірювальної камери.

Область застосування.

Кільцеві лічильники застосовують в основному в якості побутових лічильників витрат води у тих випадках, коли точність лічильників Вольтмана і лопатних лічильників недостатня.

Лічильники цього типу особливо підходять для точного вимірювання малих витрат.

Лічильники з овальними шестернями

Принцип дії та конструкція.

У вимірювальній камері лічильників розміщені дві овальні шестерні, які перебувають у зубчатому зачепленні.

Рис. 35. Принцип дії лічильника з овальними шестернями.

Як показано на рис. 35, в положенні 1 рідина, що надходить у лічильник, створює на овальні шестерні O_1 крутний момент. Крутні моменти, що розвиваються потоком на шестерні O_2 , взаємно урівноважуються. При цьому обертання шестерень відбувається у напрямку стрілок, а контрольована рідина переміщується в просторі між верхньою шестернею O_2 і стінкою вимірювальної камери. В положенні 2 на обидві шестерні діє крутний момент, який забезпечує подальше їх обертання у тому ж напрямку; при цьому рідина з верхньої частини камери витискується з лічильника, після чого нижня шестерня перекидає відповідну частину об'єму камери. Число обертів однієї з шестерень фіксується лічильним механізмом.

Завдяки високій точності вимірювання в широкому діапазоні витрат, незалежність показань від в'язкості контролюемого середовища, малим витратам тиску і значному обертовому моменту навіть під час пуску, а також завдяки тривалій працездатності лічильники з овальним шестернями знайшли широке застосування в якості вимірювачів витрати рідин і газоподібних середовищ, а також в якості вимірювальних перетворювачів (датчиків) і сигналізаторів в системах керування та регулювання.

Роторні газові лічильники

Принцип дії та конструкція.

Основними елементами лічильника є встановлені у легко рухомих підшипниках ротори лемніскатної форми, що обкатують один одного в камері, яка виконана у вигляді нерухомих циліндрів, неповного кругового перерізу (рис. 36). Ротори з'єднані з шестеренчастим редуктором, залитим оливою. Через те що зазор між поверхнями роторів дорівнює $0,05 \dots 0,1$ мм, при обертанні, яке викликається контролюемым потоком газу, ротори не торкаються.

Характеристики.

Похибка роторних лічильників змінюється в залежності від витрати аналогічно похибці рідинних лічильників витискання. При

зміні витрат газів високого тиску втрати тиску на лічильнику зростають зі збільшенням абсолютного його значення внаслідок підвищення в'язкості середовища, що не збільшує похибки, через те що завдяки підвищенню в'язкості щільності втрати у вимірювальній камері скорочуються.

Лічильники втрат чутливі до забруднення контрольованого середовища.

Очищення лічильника здійснюється вбудованим промивальним пристроєм. При вимірюваннях об'ємних витрат похибка менше 1% може бути забезпечена тільки при застосуванні роторних лічильників.

Область застосування.

Роторні лічильники застосовують в основному для встановлення на газопроводах дальнього газопостачання і при вимірюваннях витрат дороговартісних газів.

Їх використання невідворотне при низьких тисках газу і вимогах підвищеної точності вимірювання, незважаючи на високу вартість. Висока точність вимірювання може бути забезпечена при врахуванні реальних параметрів контролюемого газу (тиску, температури, вологості) і безперервному корегуванні показників.

„Мокрі” газові лічильники

Принцип дії та конструкція.

За допомогою запірної рідини в „мокрих” газових лічильниках відокремлюється частина об'єму. Вимірювальна камера включає частину цього об'єму і обертається навколо осі під тиском контролюемого середовища, яке надходить через вхідний отвір *E* (рис. 36). При обертанні вимірювальна камера заповнюється, за тим відсікається подальше надходження середовища і відбувається її витиснення з вимірювальної камери запірною рідиною.

Рис. 36. Принцип дії „мокрих” газових лічильників

Характеристики.

Відсутність в лічильнику заслінок і вентилів дозволяє контролювати мінімальну кількість газів, що може надходити в нього.

„Мокрі” газові лічильники – найточніші прилади, за допомогою яких визначають об’єм газів при їх малих витратах. Для вимірювання значних витрат необхідні лічильники з камерами великих розмірів, через те що при недостатньому об’ємі камер швидкість обертання барабану збільшується і рівень рідини погано встановлюється.

Залежність похибок і втрат тиску від витрати для стандартного контрольного газового лічильника наведені на рис. 37.

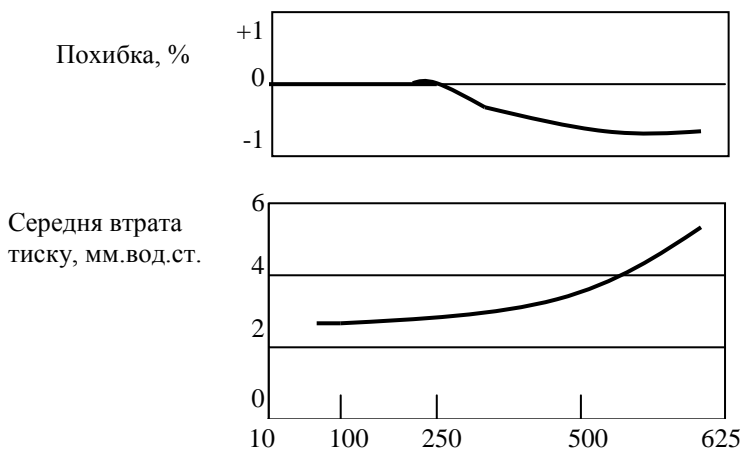


Рис. 37. Залежність похибок і втрат тиску від витрати

Висока точність вимірювання забезпечується за умови точного нівелювання рівня запірної рідини, який підтримується за допомогою переливного пристрою.

Область застосування.

Малогабаритні лічильники широко застосовуються в лабораторіях для калібрування витратомірів інших типів, а також у якості контрольних лічильників у промислових умовах.

Об’ємні лічильники з лопатками (турбінні лічильники)

У розглянутих об’ємних лічильниках кожному переміщенню чи повороту чутливого елемента відповідав точно обмежений об’єм рідини.

Далі розглянемо лічильники, які забезпечують непряме визначення витрати, у якості чутливого елемента застосована турбіна з лопатками, що обертаються контролюємим потоком.

При використанні такого приладу в якості об'ємного лічильника число обертів турбіни Z повинно бути пропорційне об'єму рідини, що протікає:

$$Z = K \cdot V.$$

Лічильники Вольтмана

Принцип дії та конструкція.

Існують лічильники двох типів:

- 1) зі шнековою турбіною, вісь якої співпадає з напрямком потоку і з'єднана передачею з лічильником обертів – так звані лічильники з аксіальною турбіною (рис. 38);
- 2) з турбіною, вісь якої перпендикулярна до напрямку потоку і несе на собі лічильник обертів – так званий лічильник з вертикальною турбіною (рис. 39).

Рис. 38. Лічильник з аксіальною турбіною

Рис. 39. Лічильник з вертикальною турбіною

Принцип дії приладів обох типів оснований на вимірюванні швидкості обертання турбіни потоком рідини, що контролюється.

Для безперервної роботи лічильника необхідна відсутність завихрення потоку, що надходить на турбіну. На рис. 40 наведена залежність усереднених похибок від витрати для лічильників Вольтмана обох типів:

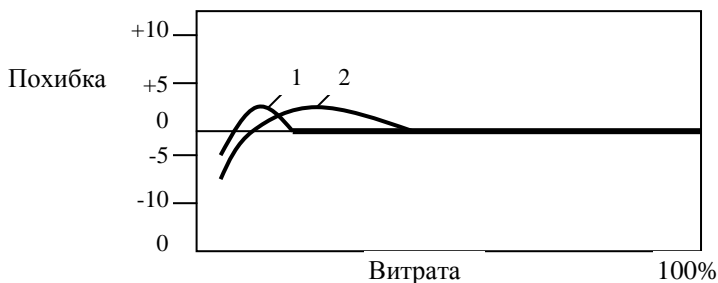


Рис. 40. Графік усереднених похибок лічильників Вольтмана
1 – з аксіальною турбіною;
2 – з тангенціальною турбіною.

Турбінні лічильники з безконтактним електронним перетворювачем

При вимірюванні малих витрат турбінними лічильниками з механічною передачею енергетичні втрати в системі передачі від турбінки до лічильника числа обертів викликають значні похибки.

Індуктивне перетворення швидкості обертання турбінки в електричній сигнал вимірювача швидкості знижує енергетичні втрати.

Розглянемо конструкцію приладу такого типу (рис. 41).

Рис. 41. Витратомір типу „Поттер” (фірма De Havilland Ltd) і епюра вимірювання тиску

1 – струменновипрямлячі; 2 – ротор; P_1 – тиск на вході; P_3 – тиск на виході

Постійний магніт вбудований в одну з лопатей або у маточину турбінки, розміщеної у корпусі з аустенітної сталі або пластмаси. При обертанні турбінки магніт індукує в розташований на зовнішній частині корпусу обмотці імпульси напруги, частота яких пропорційна числу обертів турбінки. Принцип дії витратоміра Поттера аналогічний принципу дії лічильника Вольтмана з аксіальною трубкою. Встановлення на вході і виході вимірювальної камери струменновипрямляча усуває нерівномірне набігання потоку на лопаті турбін.

В іншому конструктивному варіанті (рис. 42) пару чи декілька пар лопатей і маточин турбіни виготовляють з феромагнітного матеріалу, а на зовнішній частині корпусу розташовують по колу чи паралельно осі один чи декілька постійних магнітів з індуктивними котушками.

Рис. 42. Поздовжній розріз приладу Rotoquant (фірма Voop a. Reuthert)

При обертанні турбіни під дією потоку рідини змінюється повітряний зазор магнітного контуру, а відповідно, і магнітний потік. Зміна потоку збуджує в обмотках змінну напругу, частота якого пропорційна числу обертів турбіни, а отже – витраті.

Характеристики.

Лічильники Поттера мають малі габарити і високу точність. Необхідні для них лічильні пристрої достатньо складні і відповідно дорого коштують.

У приладі Rotoquant багатополісній системі перетворюють число обертів турбіни в напругу високої частоти, легко і точно піддаються вимірюванню на рис. 43 наведено графік залежності похибок приладу Rotoquant від витрати рідини.

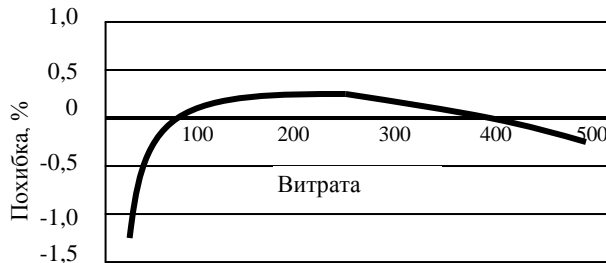


Рис. 43. Графік похибок приладу Rotoquant.

Контрольована рідина – вода; число імпульсів на літр – 28,9; умовний прохід $D_y = 40$.

Лінійна витрата, що визначається цим приладом (поріг чутливості) залежить від кінематичної в'язкості ν і числа Рейнольда Re контролюемого потоку, а також від номінального розміру прохідного перерізу корпусу турбіни $D_{ном}$ і визначається залежністю:

$$Q_{min} = \frac{Re \cdot \nu}{D_{ном}}$$

Завдяки відносно великому прохідному перерізу лічильники цього типу мало чутливі до наявності у контролюемому потоці зважених часточок. Втрати тиску при високих швидкостях потоку незначні.

Мала інерційність турбінки забезпечує можливість застосування лічильників цього типу для вимірювання пульсуючих потоків.

Область застосування.

Застосування лічильників Поттера обмежено високими видатками, внаслідок чого ці прилади використовують у якості вимірювачів витрати пального на літаках, а також для дистанційного вимірювання на нафтопроводах.

Тангенціальні лічильники

Одноструменеві лічильники (рис. 44) характеризуються наявністю прямого гладкого каналу, по якому протікає контрольоване середовище.

Рис. 44. Одноструменевий лічильник

Потік рідини тангенціально підводиться до турбінки і приводить її до обертання.

В багатоструменевих лічильниках (рис. 45) навпаки, необхідний спеціальний корпус турбінки, який забезпечує за допомогою спрямовуючого пристрою розподілення струменя рідини по всьому її принципу.

Рис. 45. Багатоструменевий лічильник

Характеристики.

Тангенціальні лічильники дозволяють контролювати менші витрати, ніж лічильники Вольмана. Однак при однаковому D_y допустима тривалість роботи тангенціальних лічильників у випадку збереження допустимих втрат тиску менші, ніж лічильників Вольмана.

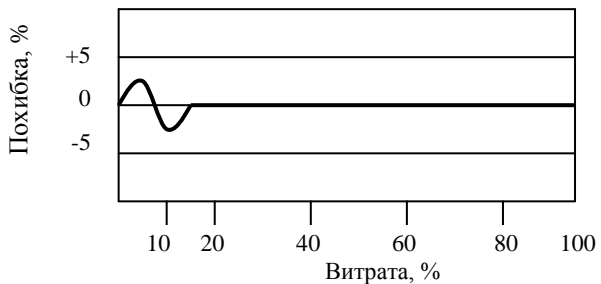


Рис. 46. Графік похибок багатоструменевих лічильників з тангенціальною турбінкою

На рис. 46 наведено графік, що віддзеркалює залежність похибок багатоструменевого лічильника від витрати контрольованої рідини.

Вимірювання витрати по перепаду тиску

Ці методи основані на використанні енергетичних залежностей, які визначають залежність кінетичної енергії потоку, а отже, його швидкості від фізичного стану середовища.

Згідно рівнянню Бернуллі, в стаціонарних, вільних від тертя потоках, сума кінетичної енергії, потенціальної енергії положення і тиску вздовж потоку – постійні. Для одиниці маси потоку нестисненої рідини, що має об'єм $V = 1/\rho$, рівняння Бернуллі має вигляд:

$$\frac{\omega^2}{2} + g \cdot h + \frac{P}{\rho} = const, \quad (1)$$

де ω – швидкість потоку;
 h – висота над рівнем моря;
 P – абсолютний тиск;
 ρ – густина.

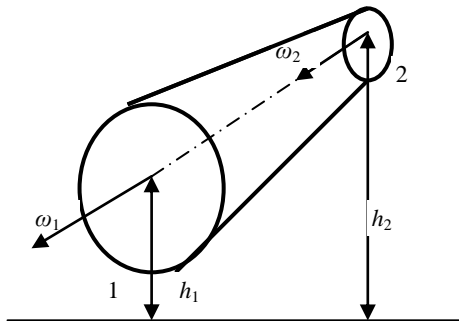


Рис. 47. Переріз потоку рідини

Для двох перерізів одного потоку рівняння Бернуллі має вигляд:

$$\frac{\omega_2^2}{2} + g \cdot h_1 + \frac{P_1}{\rho} = \frac{\omega_1^2}{2} + g \cdot h_2 + \frac{P_2}{\rho} \quad (2)$$

Рівняння (2) для рідин, що стискуються:

$$g \cdot h_1 + \frac{\omega_1^2}{2} = g \cdot h_2 + \frac{\omega_2^2}{2} + \int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{\rho}.$$

Сумарна кінетична енергія рідини, що протікає в одиницю часу дорівнює:

$$\frac{\rho}{2} \cdot \int_0^A \omega^2 \cdot dA.$$

Середня кінетична енергія, віднесена до одиниці маси речовини, визначається як:

$$\frac{1}{2 \cdot A \cdot \varpi} = \int_0^A \omega^3 \cdot dA = \beta \cdot \frac{\varpi^2}{2},$$

де ϖ – усереднена по перерізу A швидкість потоку, яка дорівнює:

$$\varpi = \frac{1}{A} \cdot \int_0^A \omega \cdot dA,$$

де β – безрозмірний коефіцієнт, який враховує розподілення швидкостей потоку у перерізі A і тому зветься поправним показником на нерівномірність розподілення швидкості в цьому перерізі:

$$\beta = \frac{1}{A \cdot \varpi} \cdot \int_0^A \omega^3 \cdot dA.$$

Для більшості потоків $\beta = 1,04 - 1,06$; для ламінарних потоків $\beta = 2$. Таким чином, рівняння Бернуллі для перерізів 1 і 2 потоку з рідиною, що не стискується, має вигляд:

$$\beta_1 \cdot \frac{\varpi_1^2}{2} + g \cdot h_1 + \frac{P_1}{\rho} = \beta_2 \cdot \frac{\varpi_2^2}{2} + g \cdot h_2 + \frac{P_2}{\rho}. \quad (3)$$

І для потоків з рідиною, що стискується:

$$\beta_1 \cdot \frac{\varpi_1^2}{2} + g \cdot h_1 = \beta_2 \cdot \frac{\varpi_2^2}{2} + g \cdot h_2 + \int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{\rho}. \quad (3a)$$

При цьому h і P можуть змінюватись у будь-якому шарі потоку.

Для методу перепаду тиску, в якому використовується звуження перерізу (діафрагма, сопло, труба Вентури), рівняння (3) спрощується:

$$\beta_1 \cdot \frac{\varpi_1^2}{2} + \frac{P_1'}{\rho} = \beta_2 \cdot \frac{\varpi_2^2}{2} + \frac{P_2'}{\rho}.$$

При дроселюванні потоку встановленим у трубопроводі звужуючим пристроєм швидкість його збільшується і, відповідно рівнянню Бернуллі (3, 3a), потенціальна енергія тиску перетворюється в кінетичну.

За перепадом тиску, який виник на звужуючому пристрої може бути визначена витрата. Із рівності вагових витрат в обох перерізах трубопроводу одержимо рівняння нерозривності потоку:

$$\varpi_1 \cdot A_1 \cdot \rho = \varpi_2 \cdot A_2 \cdot \rho.$$

Одержане рівняння визначає вхідну швидкість потоку ϖ_1 і дозволяє визначити об'ємну витрату середовища, що контролюється:

$$q_v = \varpi_2 \cdot A_2 = \frac{A_2}{\sqrt{\beta_2 - \beta_1 \cdot \frac{A_2^2}{A_1^2}}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P_1' - P_2')}. \quad (4)$$

Слід розрізняти мінімальний переріз потоку A_2 , в якому вимірюється P_2' , і мінімальний переріз дросельного органу A_0 (рис.48).

Рис. 48.

Вводячи коефіцієнт звуження потоку $\mu = A_2/A_0$, і позначивши співвідношення площин перерізів $m = A_2/A_1$, перетворимо рівняння витрати (4):

$$q_v = \mu \cdot A_0 \cdot \varpi_2 = \frac{\mu \cdot A_0}{\sqrt{\beta_2 - \beta_1 \cdot m^2 \cdot \mu^2}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P'_1 - P'_2)} \quad (5)$$

Згідно DIN№1952, відбір тисків при вимірюванні витрати проводиться на торцьовому і зворотному боках звужуючого пристрою. Якщо ввести одержаний таким чином перепад тисків ($P_1 - P_2$) в рівняння витрати, то слід додати поправочний коефіцієнт на зміну положення точок відбору тиску:

$$q_v = \frac{\mu \cdot A_0 \cdot \xi}{\sqrt{\beta_2 - \beta_1 \cdot m^2 \cdot \mu^2}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P_1 - P_2)}. \quad (6)$$

Вплив таких факторів, як стискання струменя, зміна профілю швидкостей і положення точок відбору тиску враховується так званим коефіцієнтом витрати α :

$$q_v = \alpha \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P_1 - P_2)}, \quad (7)$$

де:

$$\alpha = \frac{\mu \cdot \xi}{\sqrt{\beta_2 - \beta_1 \cdot m^2 \cdot \mu^2}}. \quad (8)$$

α – є безрозмірним коефіцієнтом.

Значення α для звужуючих пристроїв змінюється в залежності від еквівалентних розмірів трубопроводу (наприклад, його діаметра), середньої швидкості потоку на вході дросельного пристрою ω і фізичних параметрів рідини (динамічної в'язкості η і густини ρ).

Сопла

Конструкція та основні положення.

Витратомірним соплом називається звужуючий пристрій з круглим отвором, що має частину, яка плавно звужується на вході і циліндричну частину на виході. На відміну від струменя, що вільно виходить з діафрагми, струмінь, який виходить з сопла, приймає його форму (рис. 49).

Рис. 49. Схеми стандартних сопел.

Вхідна частина сопла утворена дугами кіл, які переходять у циліндричну вихідну частину довжиною $0,3d$.

Відбір тиску здійснюється у кутовій частині. Вхідна частина видовженого сопла має форму еліпса. Гостре округлення нормалізованих (стандартних) сопел забезпечує постійність коефіцієнтів витрати при $Re > 10^5$; коефіцієнти витрати для видовжених сопел безперервно зростають зі збільшенням Re і стабілізуються лише при великих значеннях.

Вимірювання витрат середовищ, що стискаються.

При проходженні середовища, що стискається, через звужуючий пристрій внаслідок зниження тиску збільшується його об'єм; швидкість потоку зростає і перевищує швидкість потоку середовища, що нестискається, в результаті чого перепад тиску на звужуючому пристрої збільшується. Вказана зміна враховується поправочним коефіцієнтом $\varepsilon < 1$, що вводиться у загальне рівняння витрати (6), яке приймає вигляд:

$$q_v = \alpha \cdot \varepsilon \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_1} (P_1 - P_2)}, \quad (9)$$

де ρ_1 – фактична густина середовища на вході звужуючого пристрою.

Діафрагми

Конструкція і основні положення.

Конструкція рекомендованих міжнародною організацією по стандартизації (ISO) діафрагми показана на рис. 50.

Рис. 50. Конструкція стандартних діафрагм

1 – діафрагма з фланцевим відбором тиску; 2 – діафрагма з кутовим відбором тиску; 3 – діафрагма з відбором тиску Vena-Contracta; L – відстань, що варіюється; l – довжина циліндричної протоочки.

Різні модифікації відрізняються розташуванням місць відбору тисків. Діафрагми з кутовим відбором тиску (в кутах, утворених площинами діафрагми і стінками трубопроводу) нормалізовані DIN№1952. При фланцевому методі відбору приймальні отвори повинні бути розташовані на жорстко встановленій відстані $1 \pm 1/32$ " від передньої і задньої площин діафрагми.

У діафрагмах типу Vena-Contracta (США) приймальні отвори розташовуються в перерізі, починаючи з якого відчувається вплив діафрагми на потік (на відстані $D \pm 0,1 \cdot D$ до діафрагми), і в перерізі найбільшого стиснення струменя (мінімального тиску на діафрагмі).

Форма потоку в діафрагмі визначається вхідною кромкою, на якій відбувається відрив від стінки і подальше вільне формування струменю.

Струмінь звужується за кромкою, при чому коефіцієнт звуження має суттєвий вплив на коефіцієнт витрати (8).

Порівняння сопел і діафрагм

Значно менша вартість виготовлення обумовлює переважне застосування діафрагм у якості звужуючих пристроїв при вимірюванні витрат. Однак сопла мають деякі суттєві переваги:

- в процесі експлуатації в результаті корозії і забруднення вхідна кромка діафрагми закруглюється і набуває форму вхідного профілю сопла. В соплах також спостерігається осідання забруднюючих часточок на вході; проте основна вихідна частина сопла залишається довгий час чистою. На відмінну від діафрагм протягом забруднення сопел їх коефіцієнт витрати зменшується;
- основні конструктивні розміри сопел на відмінну від діафрагми визначаються кратними значеннями D і d , що відповідає вимогам геометричної подібності; основні розміри діафрагм (гострота кромки і довжина циліндричної частини) не можуть відповідати вказаній вимозі;

- перепади тиску, що виникають в соплах і діафрагмах, при однакових витратах і співвідношеннях розмірів прохідних перерізів зворотно пропорційні квадратам коефіцієнтів витрати, таким чином перепад тисків на соплах при однаковому значенні m складає лише 40% перепаду тиску на діафрагмі. Саме тому сопла застосовують для вимірювань таких витрат, при яких співвідношення розмірів перерізів діафрагм при заданому вимірювачі перепаду тиску виявляється дуже великими, наприклад при вимірюванні витрати пари високого тиску, коли внаслідок необхідності економії дороговартісних матеріалів застосовуються трубопроводи малих діаметрів і допускаються високі швидкості протікання пари.

Спеціальні форми звужуючих пристроїв

Сегментні діафрагми.

Сегментні діафрагми застосовують при вимірюваннях витрат забруднених середовищ, і вологовмісних газів.

Звужуючий переріз виконаний у вигляді кругового сегмента (рис. 51).

Рис. 51. Сегментна діафрагма
1 – сегмент.

Перевагою сегментної діафрагми є можливість легкого регулювання його прохідного перерізу. На відмінну від нормальних звужуючих пристроїв з постійною площею прохідного отвору, в яких витрата визначається по перепаду тиску, що змінюється, при застосуванні сегментних діафрагм вимірювання витрати проводиться при постійному перепаді тиску. При цьому вимірюється переміщення гострої кромки діафрагми a , що здійснюється вручну або автоматично, і забезпечує заданий перепад тиску, а по характеристиці діафрагми визначаються відповідні йому значення m і a , за якими обчислюється витрата.

Лекція 2.3. Автоматизація хіміко-технологічних та біотехнологічних процесів і виробництв.

При автоматизації технологічних процесів і виробництв технологічне обладнання оснащується приладами, регуляторами, керуючими машинами та іншими пристроями.

Для цього ретельно вивчається технологічний процес, виявляються величини, що впливають на його перебіг, перебувають у взаємозв'язку між ними.

У відповідності з заданою ціллю складається схема регулювання або керування технологічним процесом. При необхідності послаблення чи врахування внутрішніх взаємозв'язків, а також підвищення якості регулювання використовують багато контурні системи чи керуючі обчислювальні машини.

1. Проектування систем і зображення засобів автоматизації

Проектування. Перед проектуванням системи автоматизації складають функціональну схему технологічного процесу, на яку наносять:

- чутливі елементи;
- прилади, регулятори;
- обчислювальні пристрої;
- інші засоби автоматизації, необхідні для оснащення технологічного процесу.

Розміщують засоби автоматизації на щитах, пультах, технологічному обладнанні, трубопроводах; визначаються способи інформації про стан технологічного процесу і обладнання.

Розробку функціональних схем і вибір технічних засобів автоматизації виконують з урахуванням умов:

- пожежо- і вибухонебезпечності процесу;
- агресивності і токсичності оточуючого середовища;
- протяжності передачі сигналів інформації від місця встановлення вимірювальних перетворювачів, виконавчих пристроїв до пунктів керування і контролю;
- точності, що вимагається;
- швидкодії приладів і регуляторів.

Переважно необхідно використовувати прилади Державної системи промислових приладів (ДСП).

Перед проектуванням системи автоматизації складається завдання проектування з необхідними вхідними даними.

Вхідні дані:

- технологічні схеми з характеристиками обладнання і трубопровідних комунікацій;
- переліки контрольованих і регульованих величин з кресленнями технологічного обладнання і виробничих приміщень;
- схеми водопостачання і повітропостачання;
- вимоги до надійності системи автоматизації.

Зображення приладів і засобів автоматизації на схемах проводиться у відповідності з ОСТ 36-27-77 „Позначення умовні в системах автоматизації технологічних процесів”.

Стандарт встановлює умовні графічні позначення приладів і засобів автоматизації, а також позначення величин, що вимірюються, і функціональних ознак приладів.

Графічні умовні позначення деяких приладів:

Первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент);
прилад, встановлений по місцю: на технологічному трубопроводі, апараті, стіні, підлозі, колоні, металоконструкції;

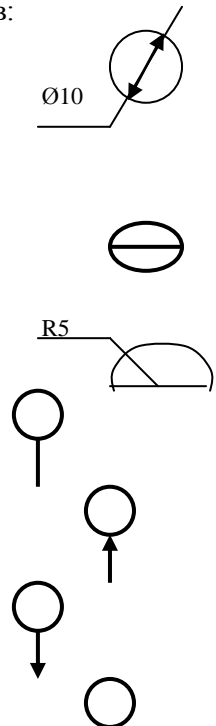
Прилад встановлений на щиті, пульті, технологічному обладнанні, трубопроводах;

Відбірний пристрій без постійно підключеного приладу (наприклад дослід);

Виконавчий механізм (загальне позначення);

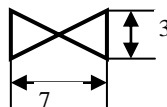
Виконавчий механізм, який відкриває орган при припиненні подачі енергії чи керуючого сигналу;

Виконавчий механізм, який закриває регулюючий орган при припиненні подачі енергії чи керуючого сигналу;



Виконавчий механізм, який замикає регулюючий орган в незмінному стані при припиненні подачі енергії чи керуючого сигналу;

Регулюючий орган;

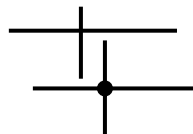


Лінія зв'язку;



Перетин ліній зв'язку;

Перетин ліній зв'язку зі з'єднанням;



Таблиця 5

Основні умовні позначення величин, що вимірюються і регулюються

Найменування величин	Позначення
Температура	T
Тиск, розрідження	P
Витрата	F
Рівень	L
Склад суміші, концентрація речовини	Q
Щільність, густина	D, d
Вологість	M
В'язкість	V
Радіоактивність	R
Будь-яка електрична величина	E
Розмір, положення, переміщення	G
Ручна дія	H
Час, часова програма	K
Декілька різнорідних вимірів	U
Автоматичне переключення, оббігання	I

Способи зображення: Стандарт встановлює спрощений і розгорнутий варіанти побудови умовних графічних позначень.

Спрощений спосіб використовується для зображення на технологічних схемах приладів і схем регулювання в цілому. При цьому багатофункціональні прилади і засоби автоматизації, що виконані у вигляді окремих блоків, зображують на кресленні поблизу місця вимірювання технологічної величини, а первинні вимірювальні перетворювачі і допоміжну апаратуру не показують.

Розгорнутий спосіб побудови умовних графічних позначень застосовують виконання функціональних схем автоматизації. В цьому випадку всі прилади і блоки, що входять в конкретну схему, показують окремими умовними позначеннями.

Відбірний пристрій спеціально не позначається, а представляється у вигляді тонкої суцільної лінії, яка з'єднує технологічний трубопровід або апарат з вимірювальним перетворювачем чи приладом.

Регулюючі органи з виконуючими механізмами встановлюються на технологічних трубопроводах.

Чутливі елементи і первинні перетворювачі систем вимірювання чи регулювання розташовують безпосередньо на трубопроводах або поблизу технологічного обладнання.

Проміжні перетворювачі, вимірювальні прилади, регулятори, сигналізатори тощо, що встановлені у цеху, по місцю, розміщуються у нижній частині листа технологічної схеми процесу.

Умовні позначення величин, що вимірюються і регулюються, наведені в табл. 5, а позначення функціональних ознак приладів і регуляторів – табл. 6.

Таблиця 6

Умовні позначення функціональних ознак приладів і регуляторів

Назва функціональної ознаки	Позначення
Основні	
Показання	I
Реєстрація	R
Регулювання, керування	C
Включення, відключення, переключення	S
Сигналізація	A
Верхня межа вимірюваних величин	H

Нижня межа вимірюваних величин	L
Допоміжні	
Первинний вимірювальний перетворювач, чутливий елемент	E
Проміжний вимірювальний перетворювач, передавальний вимірювальний перетворювач, дистанційна передача сигналів	T
Станція керування	K
Перетворювач сигналів, обчислювальний пристрій	Y

Побудову основних умовних позначень засобів автоматизації виконують наступним чином. У верхній частині графічного зображення (коло) наносять літерне позначення вимірюваної величини і функціональних ознак приладів, у нижній – нумерацію (цифрову чи літерну) позицій окремих елементів контуру вимірювання чи регулювання.

Літерне позначення розташовують у певному порядку зліва направо. Спочатку наводяться позначення основної вимірюваної або регульованої величини, за тим, у випадку необхідності – позначення її уточнююче і далі – позначення функціональних ознак приладу, які також розташовуються у наступному порядку: IRCSA (див. табл. 6)

Приклад побудови умовного позначення комплексу приладів для вимірювання, реєстрації і автоматичного регулювання перепаду тиску (ΔP):



При побудові умовних позначень приладів слід вказувати лише ті функціональні ознаки, які використовуються у даній схемі. Наприклад, при позначенні показуючих та самопишучих приладів у випадку, коли функція „показання” не використовується, слід писати TR, а не TIR; PR а не PIR і т.д.

При розглянутому способі побудови засобів автоматизації використовують також додаткові умовні позначення, що відображають функціональні ознаки приладів і, які можуть використовуватись для побудови, перетворювачів сигналів і обчислювальних пристроїв (табл. 7).

Таблица 7

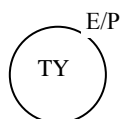
Додаткові умовні позначення перетворювачів сигналів і обчислювальних пристроїв

Найменування	Позначення
Род енергії сигналу: електричний пневматичний гідравлічний	E P G
Форма сигналу: аналоговий дискретний	A D
Операції, що виконуються обчислювальним пристроєм: сумування множення на коефіцієнт перемножування сигналів ділення величин одна на одну піднесення величини сигналу f на степінь n добування з величини сигналу кореня степеня n логарифмування диференціювання інтегрування зміна знаку сигналу обмеження верхнього знаку сигналу обмеження нижнього знаку сигналу	Σ K X : f^n $\sqrt[n]{}$ lg dx/dt \int $\chi(-1)$ max min
Зв'язок з обчислювальним комплексом: подача сигналу на ЕОМ виведення інформації з ЕОМ	B _i B ₀

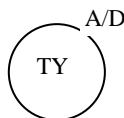
Додаткові умовні позначення перетворювачів сигналів і обчислювальних пристроїв, які розшифровують вид перетворення чи операції, що виконуються обчислювальним пристроєм.

Приклад позначення:

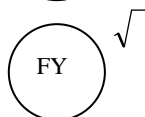
Електричний перетворювач температури



Перетворювач аналогового сигналу в дискретний



Обчислювальний пристрій, який виконує операцію добування квадратного кореня



Позиції регулюючих органів з виконавчими механізмами наносять поруч з їхнім зображенням.

Літера Е застосовується для позначення чутливих елементів, тобто пристроїв, які виконують первинні перетворення, наприклад, термоелектричних термометрів (термопар), термометрів опору, звужуючих пристроїв витратомірів.

Літера Т позначає проміжне перетворення – дистанційну передачу сигналу. Т – для позначення приладів з дистанційною передачею показань, наприклад, без шкальних манометрів (дифманометрів), манометричних термометрів з дистанційною передачею і інших подібних приладів.

Літера К застосовується для позначення приладів, які мають станцію керування, тобто перемикач для вибору виду управління (автоматичне, ручне) і пристрій для дистанційного керування.

Літера Y рекомендується для побудови позначень перетворювачів сигналів і обчислювальних пристроїв.

Порядок побудови умовних позначень з застосуванням літер наступний:

- на першому місці ставиться літера, що позначає вимірювану величину;
- на другому – одна з додаткових літер: Е, Т, К або Y.

Наведемо декілька прикладів:

- первинні вимірювальні перетворювачі температури (термометри термоелектричні, термометри опору та інші) – ТЕ;

- первинні вимірювальні перетворювачі витрати (звужуючі пристрої витратомірів, датчики індуктивності витратомірів та інші) – FE;
- без шкальні манометри з дистанційною передачею показників (показань) – PT;
- без шкальні витратоміри з дистанційною передачею – FT.

Літера U може бути використана для позначення приладу, який вимірює декілька різних величин. розшифрування цих величин проводиться біля приладу або на полі креслення. Для конкретизації вимірювальної величини біля зображення приладу символ величини, що вимірюється, наприклад „Напруга”, „Струм”, рН, O₂ тощо.

В позначенні пристроїв, призначених для ручних операцій, на першому місці повинна стояти літера H. Наприклад:

- перемикачі електричних ланцюгів вимірювання (керування), перемикачі газових (повітряних) ліній – HS;
- байпасні панелі дистанційного керування – HC;
- кнопки (ключі) для дистанційного керування, задатчики – H.

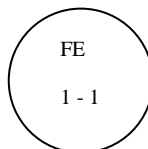
При одночасному вимірюванні різнорідних величин вимірювальні перетворювачі позначають у відповідності з вимірювальною величиною, а вторинний реєструючий прилад – UR.

На технологічному аркуші проекту при спрощеному і розгорнутому способах побудови кожній схемі контролю і регулювання присвоюється зліва (з номеру 1 і далі), який записується у нижній частині графічного зображення вимірювального або регулюючого комплексу приладу чи окремих його елементів. У свою чергу при розгорнутому способі побудови кожному елементу схеми контролю і регулювання додатково присвоюється цифровий чи літерний індекс за алфавітом у напрямку проходження контролюемого або регулюемого сигналу від сприймаючого елемента до вторинного або виконавчого пристрою.

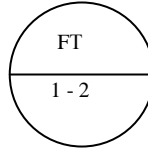
Наведемо декілька прикладів умовних позначень окремих елементів схем:

- При вимірюванні витрати речовини методом перемінного перепаду тиску:

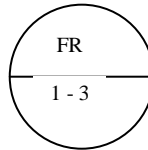
- звужуючого пристрою



- дифманометр з дистанційною передачею

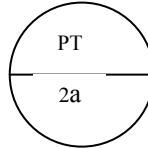


- вторинний прилад

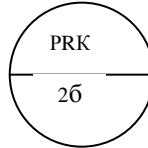


- При регулюванні тиску:

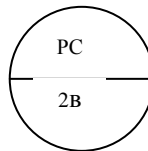
- манометр з дистанційною передачею



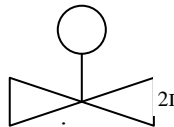
- вторинний прилад зі станцією керування



- автоматичний регулятор



- виконавчий механізм



Щити і пульти керування на функціональних схемах умовно зображують у вигляді прямокутників довільних розмірів, достатніх для нанесення графічних умовних позначень приладів, засобів автоматизації, апаратури керування і сигналізації за Держстандартом, що встановлений на них. Комплектні пристрої

(машини централізованого контролю, керуючі машини, напівкомплекти телемеханіки та інші) позначаються на функціональних схемах також у вигляді прямокутника довільних розмірів з зазначенням типу пристрою всередині прямокутника.

Функціональні зв'язки між технологічним обладнанням і встановленими на ньому первинними перетворювачами, а також з засобами автоматизації, встановленими на щитах і пультах, показують на схемах тонкими суцільними лініями. При цьому кожний зв'язок зображується однією лінією незалежно від фактичного числа дротів чи труб, що здійснюють зв'язок.

У великих і складних системах автоматизації, коли креслення безперервних ліній зв'язку веде до складних їх переплетінь, що утруднює читання креслення, можна розривати лінії зв'язку. При цьому для зручності читання схеми обидва кінці лінії зв'язку у місцях розриву нумеруються однією і тією ж арабською цифрою. Номери ліній зв'язку розташовують у горизонтальних рядах. У нижньому ряді (з боку щитових приладів) номери повинні слідувати у зростаючому порядку, у верхніх рядах – розташовуються довільно.

Для тих ділянок схеми, де нанесення безперервних ліній утруднене, допускається комбіноване зображення ліній зв'язку: безперервними лініями і адресним методом.

Для полегшення розуміння сутності автоматизованого об'єкту, можливості вибору меж вимірювання, шкал приладів і розташування регуляторів на функціональних схемах вказують граничні робочі (max чи min) значення вимірювальних чи регульованих величин, при усталених режимах роботи. Ці значення в одиницях вимірювання вказуються на лініях зв'язку від відбірних пристроїв вимірювальних перетворювачів до приладів.

Для приладів, що вбудовуються безпосередньо в технологічне обладнання або трубопроводи (термометри розширення, витратоміри постійного перепаду тощо) і розташованих поза прямокутниками, граничні значення величин вказують під позиціями приладів або поблизу позначень.

2. Автоматизація гідромеханічних процесів

До гідродинамічних відносять процеси переміщення рідин і газів, а також розділення і очищення неоднорідних систем.

Автоматизація процесів переміщення рідин і газів.

В хімічній промисловості для транспортування рідин по трубопроводах найчастіше застосовують відцентрові і поршневі насоси, для транспортування газів – поршневі компресори.

Регулювання роботи насосів і компресорів полягає у підтримці їх заданої продуктивності.

Характеристика відцентрового насосу (залежність між напором L і продуктивністю F) наведена на рис. 52а (крива 1).

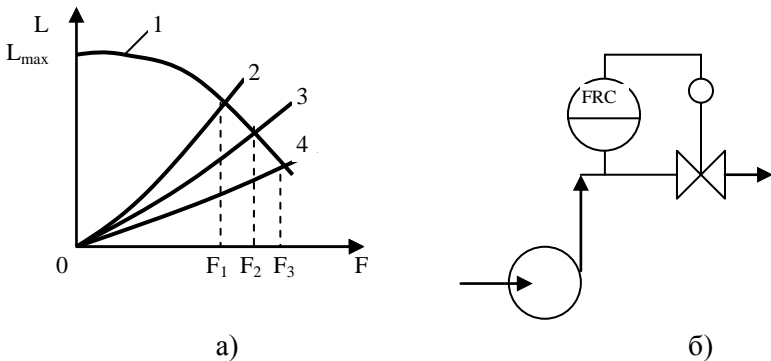


Рис 52. Характеристика роботи (а) і схема регулювання продуктивності (б) відцентрових насосів

1 – характеристика насоса; 2-4 – характеристика трубопроводу

Там же показані характеристики місцевих гідравлічних опорів нагнітального трубопроводу (криві 2-4). Кривій 2 відповідає найбільший гідравлічний опір і найменша продуктивність насосу F_1 , кривій 4 – найменший гідравлічний опір і найменша продуктивність F_3 . Таким чином, дроселюючи потік, можна змінювати продуктивність насосу. Такий метод регулювання продуктивності насосу не є економічним внаслідок додаткових втрат енергії, обумовлених подоланням гідравлічного опору дроселя; однак цей метод відрізняється простотою і тому його часто використовують.

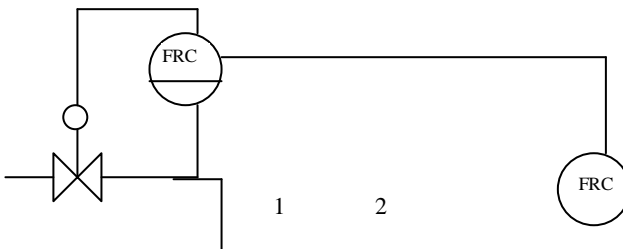
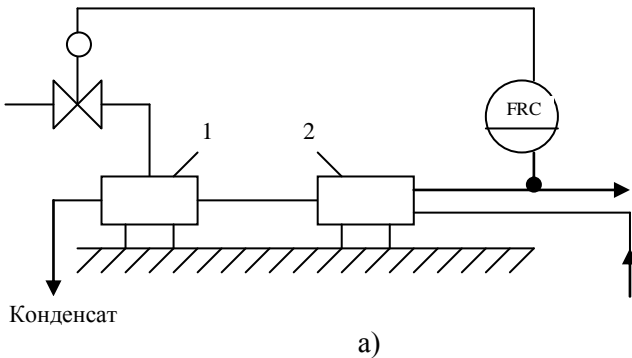
Схема регулювання продуктивності відцентрових насосів приведена на рис. 52б. Чутливий елемент САР, наприклад, діафрагма, монтується у нагнітальній лінії перед клапаном, що

забезпечує менші коливання процесу регулювання. При збільшенні витрати рідини прохідний переріз клапана зменшується, при цьому підвищується сумарний опір гідравлічної лінії, а витрата рідини зменшується до заданого значення.

Дроселювати лінію всмоктування відцентрових насосів не рекомендується, через те що це викликає кавітацію, яка веде до швидкого руйнування насоса, а також до різкого зниження продуктивності і напору насоса. В загальному випадку, клапан, встановлений у нагнітальній лінії насоса, може працювати і від регуляторів інших величин, що визначається вимогами технології.

У випадку застосування об'ємних поршневих насосів тиск рідини утворюється при її періодичному витискуванні з замкнутого об'єму зворотно-поступальним рухом поршня. Продуктивність поршневого насоса практично постійна і не залежить від напору. Поршневі насоси приводяться в дію паровими машинами або електродвигунами.

Продуктивність поршневого насосу з паровим приводом регулюється зміною подачі пари в циліндр приводу.



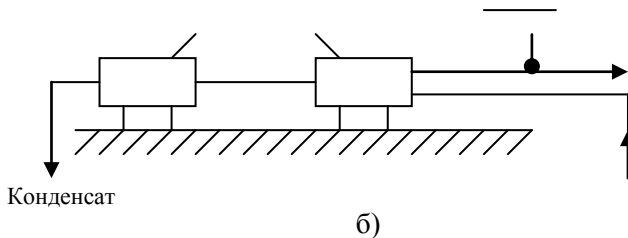


Рис. 53. Схема стабілізації (а) і каскадного регулювання (б) продуктивності поршневих насосів з паровим приводом:
1 – парова машина; 2 – поршневий насос.

Для цього на паропроводі (рис. 53) встановлюють клапан, при відкриванні прохідного перерізу його до приводу насоса буде подаватись різна кількість пари, яка задає число ходів поршня насоса і тим самим його продуктивність.

Керуючу дію на клапан подають від регулятора витрати, а чутливий елемент системи встановлюють в нагнітальну лінію насоса (рис. 53а). Порівняно з дроселюванням це більш раціональний метод. При часто і різко змінному тиску пари застосовують каскадну систему регулювання по витраті продукту, що нагнітається (рис. 53б).

Регулювання продуктивності поршневих насосів з приводом від електродвигуна здійснюють шляхом перепуску частини рідини з нагнітальної лінії на всмоктувальну (рис. 54). Таким же чином регулюють продуктивність шестеренчастих і лопатевих насосів.

Продуктивність відцентрових компресорів стабілізується системами з клапаном, встановленим у всмоктувальній лінії (рис. 55). Такі компресори нестабільно працюють в області помпажу, що характеризуються наявністю великих тисків і малих витрат: при роботі в цій області зменшення споживання газу веде до короткочасної зміни напрямку потоку газу. При цьому виникають великі коливання тиску газу, які можуть викликати руйнування компресора. Але ККД компресора має найбільше значення поблизу області помпажу. Для забезпечення роботи компресора у цих умовах необхідно мати протипомпажний автоматичний захист.

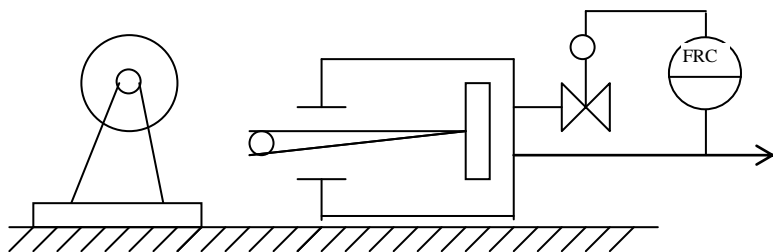


Рис. 54. Схема регулювання продуктивності поршневого насоса з електроприводом

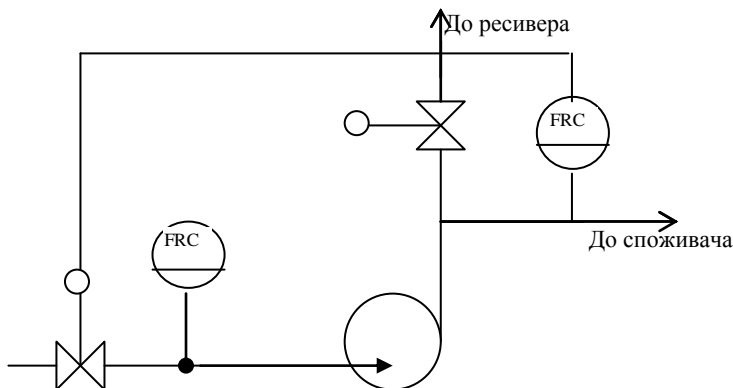


Рис. 55. Схема регулювання продуктивності відцентрового компресора (газодувки) з протипомпажним захистом

В якості такого захисту може використовуватись система скидання частини стиснутого газу в ресивер при зменшенні його витрати в лінії до споживача (рис. 55). При наближенні до області помпажу регулятор витрати відкриває клапан, встановлений в лінію до ресивера.

Це зумовлює збільшення продуктивності компресора, зниження тиску в нагнітальній лінії і підвищення тиску у всмоктувальній лінії, що відвертає помпаж компресора.

Регулювання продуктивності поршневих компресорів, що розвивають великі тиски, зазвичай здійснюють методом перепуску частини газу з нагнітальної лінії у всмоктувальну по байпасному трубопроводу. Робота такої системи регулювання в значній мірі полегшується меншою пульсацією тиску, внаслідок стисненості газів.

Автоматизація розділення і очистки неоднорідних систем

Розділення рідких систем у хімічній промисловості проводять в одстійниках, фільтрах і центрифугах, а очистку газових систем – в циклонах, фільтрах, скруберах, електрофільтрах.

Регулювання відстійників полягає у підтримці на мінімально можливому значенні концентрації твердої фази в освітленій рідині при зміні витрати початкової суспензії і концентрації твердої фази у суспензії. Для цього підбирають діаметр відстійника, щоб час нахождения рідкої фази в апараті перевищував час, необхідний для осідання твердих частинок у бункері.

Освітлена рідина виводиться з відстійника завдяки переливу, а границя поділу зон осадження і ущільнення підтримується на постійній висоті регулятором рівня, який діє на витрату згущеної суспензії.

Для фільтрації рідких неоднорідних систем з великою продуктивністю застосовують барабани, дискові, карусельні і стрічкові вакуум-фільтри.

Регулювання процесу фільтрування має своїм завданням одержання мінімально можливі вологості осаду при зміні концентрації і витраті суспензії, в'язкості рідкої фази, дисперсного складу твердих частинок. При використанні, наприклад, барабанних фільтрів звичайно розділюють рівень суспензії у ванні, змінюючи надходження початкової суспензії. Осад знімається з барабана ножом. У випадку необхідності товщина осаду регулюється шляхом зміни ступеня вакуумування або швидкості обертання барабана.

Центрифугування рідких систем здійснюється у різних конструкціях відстійних чи фільтруючих центрифуг. Для досягнення мінімально можливої вологості осаду застосовують центрифуги з високою роздільною здатністю, що забезпечують визначувану якість розділення. При центрифугуванні регулювання

підлягають витрата початкової суспензії, що забезпечує постійну продуктивність апарата. Фугат і осад відводяться шляхом вільного видалення.

Очистку газів від частинок пилу розміром більше 10 мкм проводять у циклонах. Циклони чутливі до коливань навантаження по газу і розраховуються на певну продуктивність по газу з допустимим вмістом у ньому пилу. Якщо технологічні умови дозволяють, то навантаження циклонів по газу стабілізують.

Процес фільтрування газових систем, його регулювання полягає у підтримці на мінімально можливому значенні концентрації частинок твердої речовини у газі на виході з фільтра.

Регенерація фільтруючих поверхонь, наприклад, у рукавних фільтрах, проводиться стисненим повітрям. При досягненні Δp_{\max} позиційний регулятор видає сигнал на продувку фільтра. Повітря на продувку має надходити з тиском, значення якого встановлюється окремим регулятором.

Для тонкої очистки газів від пилу застосовують мокру очистку – промивку газів рідиною у порожнистих і насадочних скруберах, скруберах Вентурі та інших апаратах. Процес є доцільним, коли допустимо зволоження і охолодження газів, що очищується, а окремі тверді частинки не є цільовим продуктом.

Регулювання скрубера Вентурі полягає у підтриманні постійності перепаду тиску на ньому шляхом зміни поперечного перерізу горловини. Це забезпечує постійну швидкість газу у самому вузькому перерізі скрубера і певну ступінь дисперсності розпилення рідини. Необхідна кількість рідини подається до форсунки окремим регулятором тиску. Контролю підлягають витрати газу і рідини.

3. Автоматизація теплових процесів

Теплові процеси відіграють значну роль у хімічній і біологічній технологіях. Реакції (хімічні, біологічні) речовин, а також їх фізичні перетворення, як правило, супроводжуються тепловими явищами. Теплові ефекти часто складають основу технологічних процесів. У зв'язку з цим, питання автоматизації теплообмінників, трубчатих печей, випарних апаратів і інших об'єктів хімічної технології, пов'язаних з передачею тепла, грають суттєву роль.

Автоматизація теплообмінників.

Передачу тепла від гарячих теплоносіїв до більш холодних здійснюється в теплообмінниках. Розрізняють теплообмінники безпосереднього змішування теплоносіїв і поверхневі теплообмінники, в яких тепло передається через глуху розділювальну стінку. В останніх теплопередача може протікати без зміни агрегатного стану теплоносіїв (нагрівачі, холодильники) і зі зміною агрегатного стану (випарники, конденсатори). Нагрівання продуктів проводять також в трубчатих печах топковими газами.

Регулювання теплообмінників зменшування полягає у підтримці постійності температури $T_{\text{зміш.}}$ сумарного потоку на виході.

Вхідними величинами теплообмінника є витрати рідин на вході (F_1 і F_2) і їх температури (T_1 і T_2). Якщо $T_2 > T > T_1$, а також якщо питомі теплоємкості і густини рідин обох потоків однакові, то залежність $T_{\text{зміш.}}$ від вхідних величин визначається з рівняння теплового балансу (втратами нехтуємо):

$$T_{\text{зміш.}} = T_1 + \frac{F_2}{F_1 + F_2} \cdot (T_2 - T_1) \quad (10)$$

Температуру $T_{\text{зміш.}}$ зазвичай стабілізують завдяки зміні витрати одного з вхідних потоків. Схема регулювання теплообмінника зменшування показана на рис. 56. Теплообмінники змішування мають мале запізнювання і значне (велике) самовирівнювання.

Рис. 56 Схема регулювання теплообмінника змішування

Регулювання поверхневих теплообмінників полягає у підтримуванні постійності температури одного з теплоносіїв на виході з теплообмінника, наприклад, температури T_{x_2} (рис. 57).

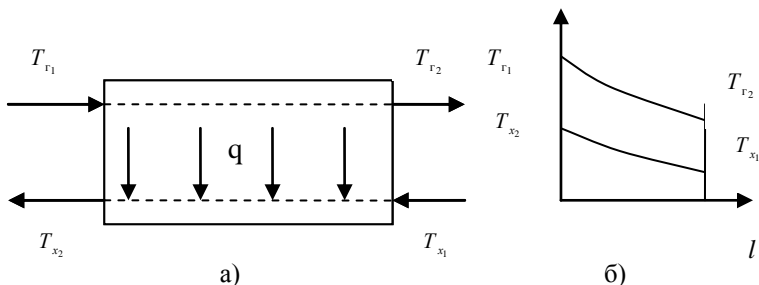


Рис. 57 Схема протитічного поверхневого теплообмінника (а) і графік зміни температури теплоносіїв (б).

Температура T_{x_2} залежить від масових витрат F_{x_m} і F_{r_m} . Через те, що потік продукту, що нагрівається, являє собою навантаження об'єкта, для підтримання постійності температури T_{x_2} може бути рекомендована схема регулювання (рис. 58, а), за якою температуру продукту на виході з теплообмінника регулюють шляхом впливу на витрату іншого теплоносія F_{r_m} .

Рис. 58. Схема регулювання поверхонь теплообмінників дією на витрату гарячого теплоносія (а) і байпасуванням холодного теплоносія (б).

Якщо за умовами технології не допускається зміна потоків теплоносіїв, то температуру продукту на виході з теплообмінника регулюють шляхом байпасування частини продукту і зміни його витрати. При цьому регулюючий клапан встановлюють на байпасній лінії (рис. 58, б). Такі схеми застосовують, наприклад, при використанні тепла гарячих проміжних чи кінцевих продуктів для нагріву первинної сировини.

При зміні агрегатного стану теплоносіїв їх температура в теплообміннику практично не змінюється і швидкість теплопередачі q можна визначити за рівнянням:

$$q = r \cdot F_m$$

де r – теплота фазового переходу;

F_m – масова витрата середовища.

Якщо в якості нагрівального агента використовують водяний пар, то температуру технологічного продукту зазвичай регулюють шляхом зміни подачі пари (рис. 59, а). При значних коливаннях тиску пари застосовують каскаду систему регулювання тиску пари з коригуванням по температурі нагрітого продукту.

Можливо також регулювання швидкості теплопередачі шляхом підтримання постійності температури на виході з теплообмінника клапаном, встановленим на лінії відведення конденсату (рис. 59, б).

Рис. 59. Схема регулювання роботи теплообмінників шляхом впливу на витрату гріючої пари (а) і конденсату (б).

Це приводить до часткового заповнення теплообмінника конденсатом, що, у свою чергу, вплине на сумарну величину коефіцієнта передачі теплообмінника, а отже, і швидкості теплопередачі. Така система реагує більш повільно, ніж система з клапаном, встановленим на лінії подачі гріючої пари; її застосування рекомендується тільки при відсутності різких збурень по навантаженню. Але разом з тим вона дозволяє краще використовувати тепло водяної пари, через те що значення її тиску і температури більш високі, внаслідок відсутності додаткових гідравлічних опорів на газопроводі, а конденсат, що відводиться, приймає температуру дещо меншу, аніж температура конденсації пари. Це дозволяє підвищити ефективність роботи теплообмінника на 5...7%. Крім того, за розмірами клапан, встановлений на лінії відведення конденсату, буде меншим від того, що встановлений на лінії подачі гріючої пари.

Процес конденсації технологічного продукту може бути охарактеризований температурою конденсату цього продукту при постійному тиску чи тиском пари продукту. Безпосереднє регулювання цих величин з впливом на витрату пари, що є навантаженням конденсатора, неможливо.

В цьому випадку найбільш широко застосовують схеми, що передбачають підтримання постійності тиску парів технологічного

продукту (рис. 60) з впливом на витрату хладагенту або конденсату, через те що контури регулювання тиску достатньо динамічні. Регулювання рівня шляхом відведення конденсату (рис. 60, а) забезпечує дотримання матеріального балансу конденсатора.

За витратою хладагенту можна судити про теплове навантаження об'єкту. Зміна витрати конденсату продукту (рис. 60, б) обумовлює зміну теплообмінної поверхні, завдяки частковому заповненню конденсатора рідиною. Останнє, внаслідок того, що при конденсації коефіцієнти передачі парів значно вищі, аніж при охолодженні конденсатора, веде до зміни швидкості теплопередачі. Теплове навантаження об'єкта визначають за поточним значенням рівня конденсату.

Рис. 60. Схеми регулювання роботи конденсаторів шляхом впливу на витрату хладагенту (а) і конденсатора (б).

Автоматизація трубчатих печей

Продукт нагрівається у зміє вику трубчатої печі за рахунок тепла, який утворюється від спалювання топкового газу.

Метою регулювання трубчатих печей – підтримання постійності температури продукту на виході з печі. Збуреннями об'єкта є *витрата* і *температура* первинного продукту, теплотворна спроможність палива, кількість і температура повітря, що подається для спалювання палива; втрати тепла в оточуюче середовище та ін. Ці збурення можна компенсувати за допомогою САР температури продукту на виході з печі, яка керує подачею палива в піч. Однак трубчаті печі мають запізнення по передачі тепла від димових газів через стінку змійовика до продукту, який по ньому проходить. Крім того, перехідний процес по каналу "витрата палива – температура продукту на виході" продовжується декілька годин. Тому при використанні одноконтурної САР динамічна похибка і час регулювання досягає великих значень.

Разом з тим температура газів над перевальною стінкою достатньо швидко реагує на зміну режиму роботи печі, обумовлене зміною кількості паливного газу, яке подається на спалювання. Тому суттєве покращення якості регулювання температури

продукту на виході з печі може бути досягнуто застосуванням системи каскадного регулювання (рис. 61, а), яка складається регулятора температури продукту на виході з печі (корегуючий регулятор), який діє на завдання регулятора температури газів над перевальною стінкою (стабілізуючий регулятор), який управляє подачею палива у піч. Стабілізуючий регулятор починає компенсувати виникаюче збурення, яке впливає на процес згоряння палива, перш ніж вони викличуть зміну температури продукту.

При різній зміні навантаження печі по витраті продукту, що нагрівається і за наявності збурення по витраті палива використовують також розглянуту систему каскадного регулювання, стабілізуючий регулятор якого впливає на регулятор співвідношення керує подачею палива у піч (рис. 61, б).

Рис. 61. Схема автоматизації трубчатих печей:

а – каскадна; б – каскадна з регулятором співвідношення "паливний газ-продукт"; в – з корекцією по вмісту кисню в топкових газах; г – з екстремальним регулятором, що корегує співвідношення "паливний газ-повітря"

При примусовій подачі первинного повітря (рис. 61, в) оптимально його витрата, при якій температура у топці приймає максимальне значення, підтримують за допомогою регулятора співвідношення "паливний газ-повітря", який забезпечує задане значення коефіцієнта надлишку повітря, що визначає інтенсивність процесу згоряння. Якщо при цьому теплотворна здатність палива суттєво змінюється, та на регулятор співвідношення направляють корегуючий сигнал від регулятора стабілізації вмісту кисню в топкових газах. Це забезпечує повне згоряння палива і високу якість регулювання.

Сильним збуренням режиму роботи трубчатих печей з боку паливного газу є зміна його тиску. Цю зміну компенсують введенням в САР температури продукту на виході з печі додаткового регулятора тиску, завдання на який подають від регулятора температури в топковому просторі. Такі системи забезпечують якісне регулювання витрати топкового газу через те, що витрата газу значною мірою залежить від його тиску (рис. 61, в).

Через те, що залежність температури в топці від співвідношення "паливо-повітря" має екстремальний характер, при автоматизації трубчатих печей застосовують системи екстремального регулювання. На рис. 61, г екстремальний регулятор відшукує максимальне значення температури димових газів над перевальною стінкою, діючи на регулятор співвідношення "паливний газ-повітря", який управляє подачею первинного повітря.

При регулюванні співвідношення "паливний газ-повітря" необхідно забезпечити заходи безпеки, так як при бракуванні повітря в топці може утворитися вибухонебезпечна суміш. Слід передбачити обмеження витрати палива таким чином, щоб ця витрата ніколи не перевищувала максимально допустимого значення, яке відповідає поточному значенню витрати повітря. При зменшенні витрати повітря відносно певного значення необхідно автоматично зменшити подачу палива до топки.

Автоматизація процесу випарювання

Основні схеми випарювання розглянемо на прикладі двохкорпусної випарної установки.

Мета (ціль) керування випарною установкою полягає в одержанні розчину заданої концентрації Q_y , а також у підтримці матеріального і теплового балансів.

Концентрація упареного розчину залежить від витрати, концентрації та температури початкового розчину, витрати і тиску гріючої пари, тиску у випарних апаратах.

У відповідності з метою (ціллю) управління схемою автоматизації передбачають регулювання концентрації упарного розчину (рис. 62).

Концентрацію Q_y можна змінювати кондуктометричним методом, за густиною розчину, за показником заломлення світла чи за величиною температурної депресії розчину, тобто за різницею кипіння ΔT розчину і розчинника.

Рис. 62. Схема стабілізації технологічних величин випарної установки: 1 – випарний апарат; 2 – кип'ятильник; 3 – теплообмінник; 4 – барометричний конденсатор.

Послідовний метод внаслідок простоти і наявності однозначної залежності між величинами Q_y і ΔT при постійному тиску застосовують досить часто. При цьому первинний вимірювальний перетворювач температури кипіння розчину встановлюють на трубопроводі розчину, що кипить, після кип'ятильника, і вимірювальний перетворювач температури кипіння розчинника – на трубопроводі відведення парів розчинника. Ці прилади комплектують передавальним перетворювачем, сигнал на виході якого пропорційний різниці температур ΔT . Регулятор концентрації Q_y діє на клапан, встановлений на лінії відведення упареного розчину з останнього випарного апарата.

При зростанні, наприклад, поточної концентрації відносно заданого значення розчину, що зменшує час перебування його в апараті і викликає пониження концентрації розчину до заданого значення.

При відведенні упареного розчину з останнього апарату "за його концентрацією" матеріальний баланс установки підтримують, зберігаючи рівність між кількістю розчиненої речовини, що йде з установки, і кількістю речовини, що надходить з первинним розчином. Це забезпечує підтримання постійності рівня в випарних апаратах шляхом впливу на клапани, встановлені в трубопроводах подачі розчину у відповідний апарат.

При зростанні витрати упареного розчину рівень в апараті знижується, що викликає збільшення подачі розчину в апарат. В якості вимірювальних перетворювачів САР рівня розчину у випарних апаратах 1, звичайно використовують гідростатичні рівнеміри.

Тепловий баланс процесу випарювання при невеликих коливаннях витрати первинного розчину забезпечують регулятором витрати на трубопроводі подачі гріючої пари в кип'ятильник 2 першого корпусу установки. Нормальний тепловий режим роботи випарної установки є можливим лише при подачі первинного розчину з постійною температурою T_n , близькою до температури кипіння розчину. Для досягнення цього встановлюють

регулятор температури первинного розчину, вихідний сигнал якого впливає на клапан, що має подачу гріючої пари в теплообмінник – підігрівач первинного розчину 3.

Якщо весь вторинний пар з попереднього корпусу направляють у кип'ятильник 2 наступного, то тиск (розрідження) стабілізують тільки в останньому корпусі, змінюючи за допомогою регулятора кількість відведених з нього парів розчинника.

Цього досягають шляхом зміни подачі охолоджуючої води в барометричний конденсатор. При такій схемі регулювання в корпусах встановлюються усе менші тиски по ходу розчину і забезпечується різниця температур між вторинним паром з попереднього корпусу і розчином, що кипить у наступному корпусі, тобто забезпечується рушійна сила процесу випарювання.

Концентрацію упареного розчину Q_y можна також регулювати зміною витрати розчину, що подається на останній корпус з попереднього. Упарений розчин з останнього корпусу в цьому випадку відводять за командою регулятора по рівню. При таких схемах регулювання матеріального балансу випарної установки кількість надходження на неї первинного розчину визначається умовами її роботи. Це вимагає встановлення додаткової технологічної ємкості первинного розчину.

Не рекомендується стабілізувати концентрацію упареного розчину в останньому корпусі впливом на подачу свіжого розчину на установку. Внаслідок великого запізнювання об'єкта така схема не забезпечить високої якості регулювання.

Якщо витрата початкового розчину залежить від роботи попередніх технологічних установок, але коливання його незначні, то концентрацію упареного розчину можна регулювати зміною подачі гріючої пари на установку. При цьому за допомогою регуляторів рівня у випарних апаратах змінюють кількість розчину, що відводиться з них.

При великих коливаннях витрати початкового розчину, а також при зміні концентрації в ньому розчиненої речовини, якісне регулювання процесу забезпечується застосуванням більш складних схем, наприклад, схеми багато контурного регулювання (рис. 63).

Рис. 63. Схема багатоконтурного регулювання випарної установки:

1 – випарний апарат; 2 – кип'ятильник; 3 – теплообмінник; 4 – барометричний конденсатор.

У цьому випадку гріючий пар подають на установку у певному співвідношенні з витратою початкового розчину, використовуючи регулятор співвідношення, який діє на подачу пари. Це співвідношення корегують регулятором концентрації розчиненої речовини в початковому розчині. Для стабілізації другого випарного апарата частково упарений розчин, що направляється до нього, регулюється за каскадною схемою регулювання витрати з корегуванням за рівнем розчину в першому випарному апараті. Упарений розчин відводять з установки за рівнем в останньому апараті, регулятором, завдання якому змінює регулятор концентрації розчиненої речовини в упареному розчині. Тиск в системі підтримується на заданому значенні за рахунок регулювання витрати парів розчинника з корекцією за тиском в останньому випарному апараті.

4. Автоматизація масообмінних процесів

Масообмінні процеси широко розповсюджені в хімічній технології і застосовуються з метою розділення суміші речовин або одержання цільового продукту заданого складу шляхом переводу одного чи декількох компонентів з однієї фази в іншу. Основною регульованою величиною в таких процесах є концентрація певного компонента у продукті, який ми одержуємо, або вміст у цьому продукті домішок, які визначаються аналізаторами якості. Перевагу слід віддавати визначенню вмісту домішок, через те, що при цьому може бути забезпечена значно більша чутливість, ніж при вимірюванні концентрацій цільового продукту. У багатьох випадках процеси масообміну успішно регулюють за непрямыми величинами (густина, показник заломлення світла та інші), що не вимагає установки дорого вартісних аналізаторів.

Інтенсивність протікання масообмінних процесів залежить від гідродинамічного режиму потоків речовин в технологічних апаратах, а також від тепло- і масообміну між цими потоками. Як

правило, апарати, в яких протікають масообмінні процеси, мають велику інерційність і запізнювання.

Автоматизація процесу абсорбції

Абсорбція – це процес поглинання певних компонентів початкової газової суміші при контактуванні її з рідиною (абсорбентом) з метою розділення цієї суміші чи одержання розчинів компонентів.

Метою управління процесом абсорбції є підтримання постійності заданої концентрації компонента, що добувається, у збідненому газі, а також додержання матеріального і теплового балансів абсорбційної установки.

В багатьох випадках метою процесу абсорбції є одержання насиченого абсорбенту заданого складу.

Концентрацію компоненту, що добувається у збідненому газі можна визначити за різницею кількостей добувного компоненту, що надходить з сировиною і поглинається з неї абсорбентом в одиницю часу.

На процес абсорбції вирішальний вплив виявляє рушійна сила, яка визначається відносним розташуванням робочої і врівноваженої лінії процесу. Положення робочої лінії залежить від початкової і кінцевої концентрації компонента в обох фазах, а положення рівноважної лінії – від температури і тиску в автоматі. З цього витікає, що концентрація компонента, що добувається, у збідненій суміші залежить від її початкових концентрацій в газовій і рідкій фазах, витрати газової суміші, що надходить, відносної витрати абсорбенту, а також від температури і тиску в абсорбенті.

Зміни витрати газової суміші і початкових концентрацій добувного компоненту у фазах представляє собою вихідні величини попередніх технологічних апаратів, а відповідно, представляє собою основні збурення процесу абсорбції.

Регулюючими впливами є витрати свіжого абсорбенту, збідненого газу і насиченого абсорбенту.

Схему стабілізації процесу абсорбції наведено на рис. 64.

Рис 64. Схема стабілізації процесу абсорбції: 1- абсорбер;
2 – холодильник.

Основним керуючим впливом, що підтримує постійність концентрації добувного компонента у збідненому газі, є зміна витрати свіжого абсорбенту, що здійснюється регулятором витрати. Така схема забезпечує прийнятну якість регулювання тільки при рівномірній подачі первинного продукту і постійних початкових концентраціях добувного компонента у газовій і рідинній фазах.

Температура в абсорбенті залежить від температур, теплоємностей і витрат в газовій і у більшому ступені рідкій фазах, а також від інтенсивності виділення тепла в процесі абсорбції і витрат тепла в оточуюче середовище.

Більшість цих величин коливається у плінні часу, що веде до порушення теплового балансу температури уповільнює протікання процесу. Для попередження цього, для інтенсифікації процесу, абсорбент перед подачею його в абсорбер 1 охолоджують в холодильнику 2. Охолодження абсорбенту можна підтримувати по його температурі на виході з холодильника, який змінює витрату холодоагенту.

Підвищення тиску в абсорбері сприяє вилученню цінних компонентів з первинної газової суміші. Підтримання заданого значення тиску у верхній частині колони вимагає застосування регулятора тиску, що діє на клапан, встановлений в трубопроводі збідненого газу в абсорбері.

Для попередження прострибку газової суміші з абсорбера в лінію насиченого абсорбенту в кубі абсорбера збирають деяку кількість рідини, рівень якої підтримується регулятором, керуючим клапаном, встановленим на лінії відведення насиченого абсорбенту в десорбери. САР рівня забезпечує додержання матеріального балансу абсорбенту.

При експлуатації установки контролю підлягають витрати і температури всіх матеріальних потоків, склади початкової газової суміші і збідненого газу, рівень в кубі абсорбенту, тиск і перепад тиску у ньому.

При перемінному складі і витраті початкової газової суміші, що надходить на абсорбер, з метою підвищення якості регулювання заданого ступеня добування компонентів з неї застосовують багато контурні системи (рис. 64).

Рис. 64 Схема багатоконтурного регулювання процесу абсорбції:

- 1- абсорбер;
- 2- холодильник.

Компенсація зміни витрати початкової концентрації добувного компонента в початковій газовій суміші додатково передбачає корегування співвідношення витрат насиченого газу і свіжого абсорбенту за допомогою регулятора концентрації добувного компонента у збідненому газі.

Поточне значення даної величини надходить на свій регулятор, який виробляє сигнал, який в якості завдання подається на регулятор концентрації добувного компонента в початковій газовій суміші, що також веде до зміни співвідношення витрат речовин, що надходять в абсорбер. За допомогою розглянутої системи мінімізуються втрати цінного компонента, який вміщується у збідненому газі, що уходить.

Насичений абсорбент, який відбирається з куба абсорбера, направляють на десорбцію, тобто добування поглинутого у ньому цінного компонента. Тому якісне регулювання складу насиченого абсорбенту, якщо він не є кінцевим продуктом, не обов'язкове; достатньо забезпечити рівномірну подачу насиченого абсорбенту в десорбер і одночасно підтримувати постійний рівень в кубі абсорбера. Для цього застосовують двоконтурну каскадну систему регулювання, яка впливає на витрату кубового продукту, що відводиться з абсорбера.

Стабілізуючим регулятором у цій системі є регулятор витрати насиченого абсорбенту, а корегуючим – регулятор рівня в кубі абсорбера.

Збурення по витраті холодоагенту можна скомпенсувати за допомогою каскадної системи регулювання витрати холодоагенту з корегуванням по температурі охолодженого абсорбенту.

В промислових схемах насичений абсорбент десорбують і регенерують для повного використання. Схема автоматизації абсорбційно-десорбційної установки з замкненим контуром наведена на рис. 65.

Рис. 65. Схема автоматизації процесу абсорбції-десорбції:

1 – абсорбер; 2 – холодильник; 3 – ємкість абсорбенту; 4 – теплообмінник; 5 – десорбер; 6 – дефлегматор; 7 – ємкість; 8 – кип’ятильник; 9, 10 – насоси.

Заданий ступінь очищення компоненту газової суміші від абсорбенту в десорбері забезпечується САР витрати цього компоненту з корегуванням по температурі у закріплюючій частині десорбера і складу газової фази на виході з десорбера. Тиск в десорбері підтримується регулятором, який керує відведенням газів, що не були сконденсованими у дефлегматорі 6.

Потрібна витрата холодоагента через дефлегматор забезпечується регулятором температури газів, що сконденсувалися. Задане значення цієї температури встановлюється на декілька градусів нижче температури газу, що десорбується.

Постійність подачі тепло в нижню частину колони забезпечується за допомогою установки регулятора витрати на лінії подачі гріючої пари в кип’ятильник. Сконденсована пара відводиться з установки регулятором рівня в ємкості 7, а абсорбент регулятором рівня в кубі десорбера.

При такій схемі автоматизації абсорбент після десорбера може вміщувати деяку кількість компонентів початкової газової суміші, що буде впливати на склад збідненого газу. Тому для покращення процесу абсорбції в систему необхідно постійно вводити певну кількість свіжого абсорбенту і відводити таку саму частину відпрацьованого. Введення свіжого абсорбенту в систему підтримується регулятором складу абсорбенту, який спрямовується в абсорбер, а вивід відпрацьованого абсорбенту з системи – регулятором рівня в ємкості 3.

Автоматизація процесу ректифікації

Завдання управління процесом ректифікації полягає в одержанні цільового продукту при встановленій продуктивності установки і мінімальних витратах теплоагентів.

Рис 66. Схема стабілізації процесу ректифікації:

1 – теплообмінник; 2 – кип'ятильник; 3 – ректифікаційна колона; 4 – дефлегматор; 5 – флегмовна ємкість; 6 – насос.

Початкова суміш нагрівається у теплообміннику 1 (рис. 66) водяним паром до температури кипіння і надходить в ректифікаційну колону 3 на тарілку живлення. Рідина, що знаходиться в кубі колони, випаровується у виносному кип'ятильнику 2, який обігрівається парою, і у виді парової фази проходить уверх по колоні. Паровий потік, виходячи з колони, потрапляє в охолоджуючий холодоагентом (наприклад водою) дефлегматор 4, де пари конденсуються. Рідка фаза, що утворилася, стікає у флегмону ємність 5, звідки насосом 6 нагнітається у верхню частину колони на зрошення у вигляді флегми і частково відводиться з установки у виді дистилату. Флегма стікає униз по колоні.

При багаторазовому контакті в ректифікаційні колоні парового і рідкого потоків, що рухаються назустріч один одному і мають різні температури, парова фаза збагачується більш легко летючими, низько кип'ячими компонентами (НКК), а рідка фаза – важко летючими високо кип'ячими компонентами (ВКК).

Частина кубового продукту, яка називається залишкам, відводиться з установки.

Цільовими продуктами ректифікаційної установки можуть бути дистилат чи кубовий, що визначається технологічною схемою.

Основними технологічними величинами, що регулюються, є склади дистилату чи кубового залишку. На чистоту цих цільових впливає ряд збурюючих впливів процесу – склад, витрата і температура початкової суміші, параметри тепло – і холодоагенту, тиск в колоні та інші величини.

Основний керуючий вплив – це витрата флегми в колону і теплоносія в кип'ятильник.

Причому зміна витрати флегми відносно швидко веде до зміни складу дистилату і одночасно з великими запізненням і в значно меншому ступені – до зміни складу кубового залишку.

Зміна витрати горючого пара веде в основному до зміни складу кубового залишку; склад флегми при цьому змінюється набагато слабше.

Існує велика кількість схем автоматизації ректифікаційних установок. На схемі (Рис. 6б) здійснюється стабілізація окремих величин за допомогою локальних одно контурних величин САР. Ці САР зв'язані між собою через процес і забезпечують додержання матеріального і теплового балансів установки.

Коливання подачі первинної суміші в колону є одним з найбільш сильних збурень процесу. Тому, якщо технологічна схема дозволяє, то для забезпечення постійності подачі суміші передбачають САР витрати. Сприяючий елемент (діафрагма, ротаметр) і регулюючий клапан цієї системи монтується на трубопроводі до теплообмінника; це робиться для того, щоб початкова суміш протікала через них тільки у рідкій фазі. Наявність САР витрати початкової суміші суттєво полегшує роботу усіх інших САР установки.

Початкова суміш повинна подаватися в колону при температурі кипіння. Температура суміші підтримується на постійному значенні САР, що керує подачею гарячої пари в теплообмінник. Для більш якісного регулювання температури сприймаючий елемент САР і клапан встановлюють поблизу теплообмінника.

Гідравлічний опір колони майже не змінюється. Тому тиск в колоні достатньо стабілізувати в одному місці, зазвичай – у верхній частині. Якщо пари НКК повністю конденсуються, то тиск регулюють зміною витрати холодоагенту, що подається в дефлегматор. Якщо ж частина парів не конденсується або якщо в початковій суміші вміщуються інертні гази, то регулятор тиску діє на два клапани (див Рис. 6б), один з яких встановлений в лінії відведення холодоагенту з дефлегматора, а інший – на лінії віддувши. При чому робочі ділянки характеристик цих клапанів повинні бути різними. Хід плунжера першого з них повинен знаходитись в межах приблизно 0-75 % регулюючого впливу, а другого – межах 50-100 %. В результаті гази, які не сконденціювались складають з флегмової ємкості тільки при великих витратах холодоагенту, що надходить у дефлегматор, і при тиску в колоні, який продовжує підвищуватись.

Якщо цільовим продуктом є дистилат, то головною технологічною величиною ректифікаційної установки буде склад парів у верхній частині колони. Склад дистилату регулюють

зміною подачі флегми в колону. При цьому регулюючий орган може бути встановленим як на лінії подачі флегми, так і у лінії відведення дистилату. З точки зору статички це рівноцінно. Проте для підвищення якості регулювання орган САР складу необхідно встановлювати на лінії подачі флегми в колону, при цьому для збереження матеріального балансу закріплюючої частини колони дистилат необхідно відводити за допомогою САР рівня у флегмовій ємності. Інакше інерційні властивості ємності будуть впливати на якість процесу регулювання, що може призвести до небажаних наслідків.

Згідно правила фаз при розділенні бінарної суміші, якщо тиск в колоні сталий, склад дистилату і температура однозначно пов'язані між собою. Тому для керування подачею флегми застосовують регулятор температури верхньої частини колони.

Якщо число тарілок в колоні велике чи різниця температур кипіння компонентів, що розділяються – невелика, запізнення в об'єкті досягає декількох хвилин і більше. Тому вимірювання температури у верхній частині колони призводить до великих відхилень технологічного режиму від регламенту, через те, що регулюючі воздії будуть введені в процес з великим запізненням.

Для підвищення якості регулювання чутливий елемент температури необхідно встановлювати на так званій контрольній тарілці закріплюючої частини колони, тобто, там де температура значно більш чутлива до зміни подачі флегми і де забезпечено менше запізнювання при зміні складу первинної суміші.

В сучасний час з'явилась можливість регулювати не температуру в колоні, тобто непрямий показник, а безпосередньо склад цільових продуктів. В якості аналізаторів складу використовуються хроматографи, газоаналізатори, густиноміри, рефрактометри та інші прилади.

Для підвищення чутливості САР складу вимірюють вміст домішок в цільовому продукті. Проби продукту до аналізаторів відбирають також на контрольній тарілці колони, але розташованій ближче до верху (низу) колони, ніж при регулюванні температури. При застосуванні промислових аналізаторів складу (при їх наявності для даної суміші) слід мати на увазі, що вони менш надійні, ніж вимірювачі температур.

Якщо мало змінюється склад первинної суміші, подача гріючого пара у виносний кип'ятильник стабілізується САР витрати. використання для цієї мети регулятора, однотипного з тим, який керує подачею флегми в колону, небажано, через те, що їх взаємозалежність через процес може привести до виникнення коливального режиму роботи колони.

Матеріальний баланс відгінної частини колони підтримується АСР рівня в кубі, яка впливає на відведення продукту.

Якщо цільовим продуктом є кубовий залишок, то до протікання процесу у відгінній частині колони пред'являються більш жорсткі вимоги. З цією метою регулюють склад кубового залишку, а точніше вміст НКК в кубовому продукті, змінюючи подачу гріючого пара в кип'ятильник. У випадку бінарної суміші таким же чином регулюють температуру на контрольній тарілці нижньої частини колони. Для зменшення запізнення сигнал температури іноді відбивають і на лінії надходження парової фази безпосередньо в колону, але тільки, якщо параметри тепло носіння, більш сильно впливають на протікання процесу. Чим параметри початкової суміші. При цьому подача флегми в колону стабілізується САР витрати. В іншому схема автоматизації установки залишається попередньою.

Пароутворення в кип'ятильнику визначає гідродинамічний режим колони. При інтенсивному утворенні пари може статись «захльобування», при якому висхідний потік пари перешкоджає стіканню рідини уверх. При недостатньому паровому потоці знижується продуктивність установки.

Недоліком розтягнутої вище схеми стабілізації, що складається з окремих одно контурних САР, є те, що збурюючі воздії суттєво змінюють режим роботи колони, внаслідок досить високого запізнювання протікаючи в ньому процесів, причому це відбувається ще до того, як регулятори основних технологічних величин почнуть компенсувати вплив збурень. Для підвищення якості розділення первинної суміші в САР основних величин установки вводять стабілізуючі контури.

На Рис 67. наведена одна з можливих схем регулювання процесу ректифікації з використанням каскадних схем, коли цільовим продуктом є дистиллят.

Рис 67 Схема каскадного регулювання процесу ректифікації

В цьому випадку подачею флегми в колону керує трьох контурна система регулювання, в якій регулятор складу дистилляту виробляє корегуючий сигнал, який направляє в якості завдання регулятору температури на контрактній тарілці колони, і цей регулятор корегує роботу регулятора подачі флегми в колону. При надійній роботі аналізатора складу контур регулювання з розглянутої схеми можна вилучити.

Для подачі гріючого пара в кип'ятильник застосовують систему регулювання витрати, завдання якої змінює регулятор температури на контрольній тарілці відгінної частини колони.

При подальшому розділенні кубового залишку необхідно забезпечити сталість його рівня в кубі колони і сталість подачі на наступну установку. Для цієї мети використовують систему регулювання витрати кубового залишку з стабілізуючим регулятором, завдання якому корегується регулятором рівня продукту в кубі колони.

Якщо цільовим продуктом є кубовий залишок, то для забезпечення його заданої чистоти застосовують систему регулювання витрати гріючої пари у кип'ятильник з корегуванням по температурі у вигідній частині колони і по складу кубового продукту на контрольній тарілці.

Можливо також використання більш простої системи без допоміжного контуру регулювання температурою. Через те, що в такому випадку до дистилляту підвищених вимог по чистоті не пред'являється, то для керування подачею флегми в колону достатньо системи регулювання витрати. Передбачається також система регулювання витратно-балансового надлишку дистилляту, який направляє далі на розділення, з корегуванням його по рівню у флегмовій ємкості. Кубовий продукт відводиться з установки за допомогою регулятора в кубі колони.

Порівняно з одно контурними каскадні системи забезпечують краще регулювання технологічних величин ректифікаційної установки. Але ж в наслідок повільного протікання в ній тепло- і масообмінних процесів, вони успішно компенсують тільки порівняно малі збурення по складу первинної суміші.

В промисловій практиці витрата суміші часто визначається роботою попередньої технологічної установки і досить часто коливається у часі. Це вимагає введення в САР складів дистиляту і кубового залишку додаткових контурів по збуренню, які враховують зміну витрати початкової суміші.

На Рис 230 показані системи регулювання дистиляту (а) і кубового залишку (б) з врахуванням зміни витрати початкової суміші. У цьому випадку в системі регулювання передбачений регулятор витрат початкової речовини флегми, що управляє подачею флегми. На цей регулятор подається корегуючий сигнал від регулятора складу продукту у

Рис 68 Схема регулювання складу дистиляту (а) і кубового залишку (б) з врахуванням зміни витрати початкової суміші.

закріплюючій частині колони. При збільшені витрати початкової суміші, регулятор співвідношення збільшує витрату початкової суміші, регулятор співвідношення збільшує витрату флегми в колону, і навпаки. Поточне значення співвідношення витрат початкової суміші і флегми безперервно корегується регулятором складу у залежності від вмісту ВКК на контрольній тарілці закріплюючої частини колони.

У другому випадку вихідний сигнал регулятора складу відгінної частини колони направляєтся на регулятор співвідношення витрат первинної сировини і граючої пари, що керує подачею пари, що керує подачею пари на установку. Можливо також одночасне введення сигналу, пропорційного зміні швидкості подачі сировини на установку, в системі регулювання закріплюючої і відгінної частин колони.

Такі системи регулювання реагують на зміну витрати суміші раніш, ніж це збурення здійснює вплив на протікання процесу.

При значній зміні складу початкової суміші в системі регулювання складу дистиляту і кубового залишку вводять додаткові контури регулювання, що враховує це забруднення.

Варіанти системи, призначеної для підтримання сталості складу дистиляту, наведений на Рис.240а. Вихідний сигнал регулятора, пропорційний вмісту НКК в початковій суміші, направляється як завдання на регулятор подачі флегми в колону. В свою чергу завдання регулятора, який аналізує склад початкової суміші, формується регулятором складу на контрольній тарілці закріплюючої частини колони.

При відсутності аналізатора складу початкової суміші і при доволі повільній зміні цієї величини зміна вмісту НКК чи ВКК в початковій суміші може бути скомпенсована підтримкою співвідношення витрат дистиляту чи кубового залишку і початкової суміші. Ці регулятори співвідношення основних технологічних величин. Така система регулювання складу дистиляту приведена на Рис.240б. При зростанні, наприклад, вмісту НКК в початковій суміші, збільшується кількість парів, що відводяться з колони, і це сприймається регулятором співвідношення витрат дистиляту і початкової суміші, який збільшує подачу флегми в колону, внаслідок чого відбір дистиляту з установки також зростає.

Рис 69 Схема регулювання складу дистиляту з урахуванням зміни складу початкової суміші при використанні аналізатора якості (а) і без нього (б).

У випадку одночасної зміни витрати і складу суміші може бути рекомендована система регулювання складу дистиляту, наведена на Рис 250. Вихідні сигнали аналізатора вмісту НКК в початковій суміші і вимірювача її витрати направляються в обчислювальний пристрій, який визначає поточну кількість НКК, що надходить в колону в одиницю часу. «Вихід» цього пристрою воздіє на регулятор витрати, який керує подачею флегми в колону. При цьому сигналом обчислювального пристрою необхідно керувати по складу верхнього продукту колони. Ця система забезпечує відбір дистиляту заданого складу у відповідності з

кількістю НКК, що надходить в колону. Аналогічна система може бути складена і для регулювання складу кубового залишку.

Введення в системи регулювання основних технологічних величин додаткових контурів, що враховують зміну витрати і складу початкової суміші веде до підвищення якості цільового продукту або збільшенню виходу, а також до зниження енерговитрат на проведення процесу.

Рис 70 Система регулювання складу дистилляту з урахуванням зміни витрати і складу початкової суміші.

Автоматизація процесу екстракції

Рідинною екстракцією називають дифузійний процес переходу речовини, що екстрагується чи речовин з однієї рідкої фази в іншу при умові, що рідини взаємно не розчинні або розчинні частково. В результаті одержують екстракт – розчин добутих речовин в екстрагенті і рафінад – відстійний початковий розчин.

Екстракт і рафінад розділюють як правило відстоюванням.

Далі з екстракту добувають цільовий продукт, а з рафината регенерують екстрагент.

В промисловості екстракцію проводять в екстракторах різних конструкцій. Розглянемо схеми регулювання насадочних екстракційних колон, в яких первинний (початковий) розчин і екстрагент рухаються у протитечії.(Рис.260)

Задача керування процесом екстракції полягає в одержанні екстракту з заданим вмістом компоненту, що екстрагується, і цей вміст є основною величиною, яке регулюється, а витрата екстрагента - основною величиною, яка регулює.

Найпростіша схема стабілізації потоків процесу екстракції, що приведена на Рис 260, передбачає сталість подачі початкового розчину і екстрагента в колону.

Рис 71 Схема стабілізації процесу екстракції

Для забезпечення матеріального балансу колони в ній підтримують сталість рівня екстракту шляхом переливу і

регулюють рівень поверхні поділу фаз, змінювання відведення рафіната з колона.

Рівень поділу фаз вимірюють гідростатичними чи поплавцевими рівнемірами. Така схема регулювання задовільно підтримує вміст компоненту. Що екстрагується на заданому значенні тільки при практично сталому його вмісту в початковому розчині екстрагенту.

При змінному складі первинного розчину в систему регулювання витрати екстрагенту вводять додатковий контур регулювання складу одного з потоків на виході з колони. З метою підвищення чутливості регулювання звичайно ведуть по вмісту речовини, що екстрагується, в рафінаді.

Для досягнення заданого вмісту цільової речовини в екстракті необхідно, щоб між витратами початкового розчину і екстрагенту існувала пропорційна залежність. Ця залежність може бути забезпечена шляхом зміни витрати екстрагента, через те, що витрати первинного розчину є навантаженням об'єкту, який розглядається.

Система регулювання співвідношення витрат початкового розчину і екстрагенту приведена на рис.270.

Компенсація зміни концентрації початкового розчину здійснюється веденням в САР співвідношення витрат контуру регулювання

Рис.72. Схема регулювання складу рафіната з урахуванням зміни витрати і складу початкового розчину.

складу рафіната, тоді при зміні концентрації речовини, що екстрагується, в рафінаді буде скореговане співвідношення витрати початкового розчину і екстрагенту.

При значних коливаннях складу початкового розчину передбачають також контур регулювання по забрудненню.

Автоматизація процесу сушіння

Сушіння – тепловий процес зневоднення твердих матеріалів шляхом випарювання вологи і відведення парів, що утворюються.

При цьому в речовині відбувається перенесення тепла і дифузійне переміщення вологи. Тривалість процесу сушіння визначається інтервалом часу, необхідним для знищення вологовмісту матеріалу від початкового значення M_p до кінцевого M_k .

В хімічній промисловості найбільше поширене конвективне сушіння, яка проводиться в барабанних сушарках і сушарках з псевдозрідженому (киплячому) шарі. Мета керування процесу сушіння полягає у забезпеченні висушування волого твердого матеріалу, що надходить до заданого вологовмісту при певній продуктивності установки по вологому матеріалу.

Основними збуреннями процесу є зміна витрати, початкової вологості і дисперсійного складу частинок твердого матеріалу, а також зміна витрати і початкової температури сушильного агента - теплоносія. Основна величина процесу, що регулюється – це залишкова вологість твердого матеріалу. Проте, внаслідок відсутності надійних вимірювальних перетворювачів залишкової вологості твердого матеріалу при автоматизації процесу в якості регулюємих величин використовують температуру або вологість сушильного агента. Це доцільно і з точки зору динаміки, через те, що на збурення ці величини реагують швидше.

В барабанній сушарці (Рис 280) вологий матеріал з бункера 1 дозатором 2 подається в барабан 3 за рахунок, наприклад, спалювання паливного газу. При обертанні барабану частинки твердого матеріалу переміщуються повздож його вісі. У тому ж напрямку прямотечією по барабану проходить гаряче повітря, віддаючи тепло частинкам матеріалу і випаровуючи вологу. Висушений матеріал зсипається з барабана у бункер 6, а повітря через циклон 7 відсмоктується вентилятором 8. Тривалість сушіння в барабанах сушарках складає декілька десятків хвилин проходження повітря обчислюється секундами.

Процес сушіння регулюють по вологості тепло носіння на виході з барабану. Регулятор вологості діє на клапан, встановлений на лінії подачі паливного газу в топку. Внаслідок того, що температурне розподілення теплоносія по довжині барабана приблизно відповідає абсолютній вологості твердого матеріалу, подачу паливного газу можна регулювати по температури волого повітря на виході з установки. Для більш якісного сушіння необхідно вручну корегувати завдання регулятора вологості чи

температури повітря за даними лабораторного аналізу залишкової вологості матеріалу, що висушується.

Для повного згорання паливного газу в точку подають первинне повітря, кількість якого підтримують постійним за допомогою регулятора витрати. Необхідна температура повітря на вході в барабан забезпечується регулятором температури, що діє на подачу вторинного повітря в камеру змішування.

Навантаження сушарки по вологому матеріалу стабілізують за допомогою САР витрати, в яку входить вимірювач маси, автоматичний регулятор, вторинний прилад з станцією керування і стрічковий дозатор з швидкістю, яка регулює пересування стрічки (виступає у якості регулюючого органу). При зменшенні кількості твердого матеріалу на стрічці відносно заданого значення регулятор видає сигнал, який прискорює її рух і навпаки. В результаті забезпечується сталість витрати твердого матеріалу в сушильний барабан.

Рис. 73 Схема стабілізації процесу сушіння у барабанній сушарці.

Навантаження об'єкту по сушильному агенту повітря підтримується на постійному значенні регулятором розрядження повітря у змішувальній камері («змішувачі»), який воздіє на клапан, встановлений в лінії відведення повітря після циклона. При постійному гідравлічному опорі барабана і відсутності підсмоктування повітря з атмосфери система регулювання розрядження забезпечує сталість швидкості проходження сушильного агенту вздовж барабану.

Оптимальне значення швидкості повітря встановлюють з урахуванням того, що з її збільшенням зростає швидкість сушіння твердого матеріалу і одночасно збільшуються витрати тепла з відпрацьованим повітрям.

Контролю і реєстрації підлягають витрати паливного газу і вторинного повітря, а також розрядження і температура в бункері сухого матеріалу.

Схема стабілізації барабанної сушарки забезпечує висушування вологого твердого матеріалу до заданої залишкової вологості тільки при невеликих за величиною змінах вхідних

величин процесу сушіння. Внаслідок великого запізнювання в об'єкті якісне регулювання процесу можливе лише за допомогою багатоконтурних схем. Одна за таких схем регулювання барабанної сушарки приведена на рис.290.

Рис 74 схема багато контурного регулювання процесу сушіння в барабанній сушарці.

В цьому варіанті подачею паливного газу на установку управляє каскадна система регулювання температури повітря в барабані (стабілізуєчий регулятор) з корегуванням по вологості повітря на виході з сушарки (корегуючий регулятор). При наявності надійного вимірювального перетворювача залишкової вологості матеріалу, що сушиться, можливе введення в дану систему ще одного контуру з регулятором вологості твердого матеріалу, вихідним сигналом якого в якості завдання направляють на регулятор вологості сушильного агенту. При відсутності такого вимірювального перетворювача і у випадку необхідності періодично корегують завдання регулятора вологості сушильного агенту за даними лабораторного аналізу.

Для підвищення чутливості САР температури повітря вимірювальних перетворювачів (термопара) встановлюють у межах першої третини довжини барабана, через те як на початку апарата температури теплоносія змінюється більш інтенсивно, ні в його кінці. При цьому зменшується також запізнювання об'єкту.

Термопару монтують безпосередньо на поверхні барабана, а її вільні кінці під'єднують до передавального перетворювача через спеціальний струмоз'ємний пристрій з рухомими контактами. При необхідності компенсації зміни навантаження установки по витраті матеріалу можна передбачити додатковий контур регулювання по збуренню цієї величини.

Повнота згорання паливного газу забезпечується САР співвідношення витрат паливного газу і первинного повітря, що керує подачею первинного повітря в топку. При зміні теплотворної спроможності палива доцільно керувати це співвідношення по вмісту кисню в топкових газах.

В сушарках з киплячим шаром (рис 300) процес сушіння триває протягом декілька хвилин, сушильний агент (повітря)

продувається через сушарку за долі секунди. Вологий матеріал подається до бункеру 1 шнековим живильником в сушарку 4. де він псевдо зріджується повітрям, нагрітим у топці 2 за рахунок спалювання паливного газу. Повітря відсмоктується через циклон 5 повірядувкою 6. а висушений матеріал виводиться з сушарки.

Рис.75 Схема регулювання процесу сушіння в апараті з киплячим шаром мете ріала, що висушується: 1 – бункер волого матеріалу; 2 – топка; 3 – камер змішування; 4 – апарат з киплячим шаром; 5 – циклон; 6 – повітродувка.

Встановлено, що у псевдо зрідженому шарі температури однозначно визначає залишкову вологість частинок твердого матеріалу при фіксованому часі їх перебування в апараті і є основною регулюємою величиною. Її можна підтримувати, змінюючи витрату матеріалу, що сушиться, а також витрату і температуру сушильного агента. Можливе застосування будь-якого з цих варіантів. Використання у якості регулюючої дії витрата волого матеріалу вимагає встановлена додаткового бункера для цього матеріалу між попередньою технологічною установкою і сушаркою. При використанні ж витрати чи температури повітря слід мати на увазі, що на зміну цих величин накладені обмеження по максимуму і мінімуму.

Температура у шарі псевдо розрідженого матеріалу підтримується регулятором, який управляє температури у шарі свідчить про знищення середнього значення залишкової вологості частинок твердого матеріалу.

Реагуючи на це, регулятор збільшує швидкість обертання шнека живильника, що приводить до збільшення подачі волого матеріалу і зниженню температури в шарі.

Підтримання постійності температури повітря на вході в сушарку забезпечується за допомогою САР, що змінює подачу паливного газу у топку. Регулятор співвідношення встановлює подачу первинного повітря у топку в кількості, необхідній для повного згорання паливного газу. Витрата гарячого повітря, що

подається в сушарку під розподільну решітку і псевдо розрідженої частинки матеріалу, що висушується, в змішуючі камеру 3.

Задане розрідження в сушарці регулюється за допомогою клапана, встановленого на лінії відпрацьованого сушильного агенту.

Матеріальний баланс об'єкту по твердому матеріалу додержується за рахунок підтримання сталості рівня псевдо розрідженого матеріалу в сушарці за допомогою регулятора, що управляє відведенням сухого матеріалу з апарату. Рівень псевдорозрідженого матеріалу вимірюється гідростатичним дифманометричним рівнеміром по перепаду тиску в сушарці. Зміна витрати сухого матеріалу з апарату забезпечується зміною прохідного перерізу засувки з пневматичним приводом, що працює від регулятора рівня.

В сушарках з киплячим шаром доцільно використовувати екстремальні системи регулювання. В якості критерію оптимальності можна, наприклад, витрати кількість води W , що виділяються з твердого матеріалу в одиницю часу:

$$W = F (M_n - M_k)$$

де F – витрата сухого матеріалу;

M_n і M_k - початкова і кінцева вологість матеріалу.

Кількість води W розраховується за допомогою обчислювального пристрою, вихідний сигнал якого направляється на екстремальний регулятор, що змінює витрату сушильного агенту. При цьому необхідно передбачити обмеження по мінімальній вологості сухого продукту, а також по мінімальній і максимальній витратам сушильного агенту. Межі зміни витрат сушильного агенту визначають область існування псевдо розрідженого шару твердого матеріалу.

5. Автоматизація реакторних процесів

Протікання реакторних процесів характеризується швидкістю реакції і ступінню перетворення первинної сировини у продукти реакції. На ці показники впливають концентрація реагуючих речовин, температура в реакторі, активність

каталізатора та інше. Мета управління полягає в одержанні продуктів заданого складу шляхом воздії на ці величини.

Регулювання витрат регулюючих речовин

З метою повного використання реагуючих речовин необхідно підтримувати задане співвідношення цих витрат.

При значних змінах навантаження реактора це можна забезпечити за допомогою систем стабілізації витрат речовин, що подаються в реактор. При великих коливаннях навантаження необхідно застосовувати САР співвідношення.

При наявності вимірювання перетворювача, який реагує на склад готового продукту можливе застосування АР складу, в якому регулятор воздіє на витрату реагенту чи продукту що отримується; у другому випадку він впливає на термін перебування реакційної маси в реакторі чи на вихідному трубопроводі. Для покращення якості регулювання можна застосувати каскадну САР, в якій регулятора витрати реагенту. При значних змінах навантаження реактора доцільно використовувати схему, в якій регулятор складу корегує співвідношення витрат речовин, що реагують.

Регулювання температури в реакторах з мішалкою здійснюється за рахунок зміни витрати холодоагенту. Що подається в охолоджуючу сорочку. В найпростішому випадку витратою цього холодоагенту керують за допомогою одноконтурної САР температури, чутливий елемент якої встановлюють в реакторі. Якщо при відведенні тепла реакції холодоагент випаровується то для підвищення якості регулювання можна застосовувати каскадну САР, в якій регулятор температури діє на завдання регулятора тиску холодоагенту, що випаровується, в свою чергу діє на клапан, встановлений на лінії відведення парів холодоагенту. При цьому рідкий холодоагент подають в сорочку по сигналу від рівня.

В трубчастих реакторах температуру також регулюють зміною подачі холодоагенту в охолоджувальну сорочку. При цьому первинний перетворювач температури встановлюють в місці максимальної зміни температури по довжині реактора.

У випадках, коли з яких причин може різко зростати швидкість виділення тепла реакції, впритул до перевищення максимальної швидкості тепло відводу, додатково передбачають

систему аварійного захисту, яка забезпечує зупинку реакції шляхом, наприклад, припинення подачі сировини а реактор.

6. Автоматизація виробництв хімічної технології

В якості прикладу розглянемо схеми автоматизації деяких розповсюджених хімічних виробництв.

Автоматизація виробництва аміачної селітри

Найбільш поширене азотне добриво – одержують нейтралізацією азотної кислоти газоподібним аміаком в крупнотонажних агрегатах АС-67 та АС-72.

Газоподібний аміак і розведена (47-60%)азотна кислота (рис310) зігріваються на нейтралізацією під атмосферним тиском в апарат ІТН (3). При нейтралізації одержують розчин аміачної селітри, який частково упарюється за рахунок тепла нейтралізації. По виході з апарату ІТН розчин аміачної селітри піддають донейтрацізації аміаком у апараті 4 і направляють у випарний апарат 6 на упарювання до концентрації 99,7-99,8%.

Для випарювання вологи із розчину в апараті 6 подається гріючий пар, сюди ж з підігрівач 9 подається гріюче повітря, що забезпечує відведення вологи. Концентрований плав аміачної селітри донейтралізується аміаком в гідрозатворі 7, очищується в фільтрі 10 і стікає в бак 1. Із баку зануреним насосом 12 плав нагнітається в гранулятор 13, встановлений у верхній частині грануляційної башта 14. при вільному падінні краплі плаву твердіють і утворені гранули аміачної селітри виводяться з башти стрічковим транспортером 15.

Рис.76 Схема автоматизації виробництва аміачної селітри:

1, 2 – підігрівачі; 3 – апарат ІТН; 4 – до нейтралізатор; 5 - парозволожнювач; 6 – випарний апарат; 7 – гідро затвор; 8 – повітродувка; 9 – повітря підігрівач; 10 – фільтр плава; 11 – бак плаву; 12 – насос для перекачування плаву; 13 – гранулятор; 14 – грануляційна башта; 15 – стрічковий транспортер.

У виробництві аміачної селітри навантаженням є надходження газоподібного аміаку для усунення коливань навантаження, а також інших зовнішніх збурень підтримують постійними витрату аміаку на лінії подачі в нейтралізатор і його тиск на вході установки.

На стадії нейтралізації метою регулювання є зменшення витрат аміаку з соковим паром, що виходить геть з нейтралізатора. Це забезпечується підтриманням постійного співвідношення витрат аміаку і азотної кислоти перед подачею їх на нейтралізацію в апараті ІТН. Для повноти поглинання аміаку в апараті ІТН необхідно підтримувати необхідний надлишок кислоти (2-3 г/л розчину). Незважаючи на це в соковому парі все ж вміщується аміак. Для уловлювання його в промив очну частину (на другу тарілку) додатково подають азотну кислоту, кількість якої регулюється по значенню рН конденсату сокового пару. Для більш повної очистки сокового пару його конденсат, що надходить на верхню тарілку, подають по температурі розчину на виході з другої тарілки зверху.

Надлишкова кислотність середовища в апараті ІТН зумовлюють також кислу реакцію розчину аміачної селітри на виході з нього. Задане значення рН цього потоку підтримується регулятором рН, який корегує подачу аміаку в апарат ІТН. Клапани регуляторів. Які керують подачею аміаку в апарат ІТН, змонтовані на паралельних лініях. Надлишкова кислотність розчину аміачної селітри нейтралізується аміаком в до нейтралізаторі 4, внаслідок чого на вході у випарний апарат розчин має невелику лужність, що відповідає вмісту 0,1-0,2 г/л вільного аміаку.

На стадії випарювання метою регулювання є забезпечення мінімального вмісту вологи в забезпечення мінімального вмісту вологи в плаві аміачної селітри. Для досягнення цього підтримується постійною (180оС) температура плаву на вході з трубчастої частини випарного апарату. Регулятор температури плаву коректує завдання стабілізуючому регулятору тиску пара, що надходить в між трубний простір випарного апарату 6 після зволожувача пара 6. Передбачається регулювання температури сокового пару на виході з апарату; воно забезпечується подачею конденсату сокового пару на верхню промивну таріль апарату.

На виході з випарного апарату плав до нейтралізується в гідозаторі 7 по величині рН плаву після гідрозатору. На цій же лінії встановлений кріоскоп, який вимірює концентрацією плаву по температурі початку його кристалізації.

Рівномірність подачі палива на гранулювання забезпечується регулятором рівня плаву в баці 11, що управляє роботою клапану, встановленого на лінії бай пасування частини плава з лінії нагнітання насосу в бак.

Автоматизація виробництва бутадієну з бутану.

Виробництво бутадієну з бутану полягає із виокремлень дегідрування бутану в бутилени, виділення бутан-бутиленової фракції і її розділення, дегідрування бутіленів в бутадієн, виділення і очистки бутадієну. Розглянемо схеми автоматизації деяких з цих відокремлень.

Дегідрування бутану в бутилен (рис 320)

Рідкий бутан подають в сепаратор 1, що сполучений з випаровувачем 2, який обігривається водяним паром. Насичені пари бутану перегріваються в трубчастій печі 3, і нагріваються в змонтованому в загальному корпусі, блок апаратів «Реактор-регенератор».

В реакторі 5, в присутності дрібно гранульованого каталізатора і при високій температурі бутан деградується в бутилени. Вихід бутіленів на первинну сировину не перевищує 70%. При цьому утворюється також метан, водень, вуглець, двоокис вуглецю, та інші продукти. Суміш газів, що одержана при дегідруванні, виводиться верхньої частини реактора, охолоджується в холодильниках і котлах утилізаторах (На схемі не показані) і направляється на виділення бутан-бутеленової фракції.

Рис. 77.

Схема автоматизації відокремлення дегідрадування бутан-бутелену:

1- сепаратор; 2- випаровувач; 3- трубчаста піч; 4- регенератор; 5- реактор.

При дегідруванні поверхні гранул каталізатора поступово покриваються коксом і каталізатор втрачає свою активність. Відпрацьований каталізатор під дією сили тяготіння висипається з реактора, підхоплюється потоком повітря системи пневмотранспорту і пересувається в розташований вище реактор 4. в ньому при високих температурах з поверхні гранул каталізатору випадає вуглець активність каталізатору відновлюється. За тим під дією власної ваги гранули протікають в реактор. Гази що утворюються в регенераторі при спалюванні паливного газу і вуглецю, відводяться в атмосферу.

Основна мета процесу дегідрування бутану, полягає в забезпеченні максимально можливого виходу бутиленів у розрахунку на сировину. Вихід бутиленів залежить від складу і витрати початкової сировини і терміну контактування, температурами в зоні реакції, активності каталізатору. Основними регулюючими діями є витрати сировини і контактного газу.

Встановлено, що залежності між вмісту бутиленів в контактному газі і температурою в реакційній зоні, а також витратою перегрітих парів. Мають екстремальний характер. Тому для одержання максимального виходу бутиленів застосовують систему екстремального регулювання. Екстремальний регулятор реагує на поточне значення вмісту бутиленів в контактному газі і коректує завдання двом допоміжним регуляторам: регулятору витрати перегрітих газів в реакторі, який діє на подачу регенерованого каталізатору в зону реакції; в якості виконавчого пристрою застосовують регулюючу засувку з пневматичним приводом.

На термін контактування впливають швидкість проходження парів бутану через зону реакції і рівень каталізатору в реакторі 5. Сталість швидкості парів може бути забезпечена лише при певному значенні перепаду тиску в газовій лінії. Сталість перепаду тиску підтримується шляхом стабілізації тисків на початку і в кінці цієї лінії за допомогою окремих регуляторів тисків. Регулятор, встановлений на початку газової лінії, діє на подачу гріючого пару у випарник 2, а регулятор, встановлений у її кінці – на відведення газу з системи. Задане значення рівня каталізатору підтримується регулятором, що управляє подачею повітря в систему пневмотранспорту.

Температура в зоні реакції залежить від температури сировини, що подається в реакторі. Оскільки для регулювання температури парів бутану на виході з трубчастої змінює подачу паливного газу у піч.

Активність регенованого каталізатору визначається кількістю вуглецю, осадженого на поверхні його гранул. Для випалювання цього вуглецю у декілька зон по висоті регенератору 4 подають паливний газ і повітря. Температура в реакторі, яка характеризує інтенсивність згорання вуглецю, стабілізується регулятором. Який керує подачею паливного газу. Повнота згорання визначається а складом газів регенерації і вмісту в них горючих компонентів. Підтримання сталості складу газів регенерації забезпечується двухконтурною каскадною системою регулювання з стабілізуючим регулятором подачі повітря в регенератор і коректуючим регулятором вкладу газів.

Матеріальний баланс установки підтримується регулятором рівня в сепараторі 1.

Дегідрування бутіленів і бутадієн (рис 330)

При дегідруванні бутіленів в реакторі з нерухомим шаром каталізатору насичені пари бутіленів, що вийшли з випарника 1, і водяного пару перегрівається в трубчастій печі 2 до 630°C, при їх ведені в реактор 3 вони змішуються в мольному співвідношенні 1:20.

Рис 78 Схема автоматизації виділення (відокремлення) дегідрування бутілену в бутадієн:

1 – випарник; 2 – трубчаста піч; 3 – реактор; 4 – котел-утилізатор; засувки на лініях:

- I – введення бутіленової фракції;
- II – водяної пари на контактування;
- III – пара на продування і регенерацію;
- VI – повітря на регенерацію;
- V – введення газів регенерації;
- VI – відведення контактного газу.

При їх проходженні через шар каталізатору утворюється контактний газ, що вміщує бутадієн. Після закалювання і зниження температури в котлі-утилізаторі 4 до 250оС контактний газ направляється на видалення бутілен-бутадієнової фракції.

Підлягають автоматизації операції переключення реакторів з одного режиму на інший, а також процеси дегідрування бутіленів і регенерації каталізатору.

Засувки, що працюють від командного приладу, встановлені на лініях передачі в реактор бутіленової фракції (I), водяного пару на контактування (II), пару на продувку і регенерацію (III), повітря на регенерацію (IV), а також на лініях відведення газів регенерації (V) і контактного газу (VI). При контактуванні засувки I, II, VI повинні бути відчинені, а засувки III, IV, V – зачинені. Для продувки реактора паром засувки I, II, VI зачиняються а засувки III, IV, V відкриваються. За тим відкривається засувка IV і каталізатор регенерується. Після цього засувка IV зачиняється і реактор ще раз продувається паром. За тим засувки I, II, VI відчиняються, а засувки III, V зачиняються і реактор знову починає працювати в режимі контактування.

Стабілізація терміну контактування суміші первинних парів з каталізатором забезпечується підтриманням сталості тиску парів бутілену на виході в трубчасту піч. Температура перегрітих парів бутілену і водяного пару підтримується каскадним системами регулювання температури над перевальною стінкою трубчастої печі з коректуванням по температурі продукту на виході з печі. Ці системи керують клапанами, встановленими в лінії подачі паливного газу у піч.

Процес дегідрування характеризується екстремальною залежністю вмісту бутадієну в контактному газі від температури і подачі бутіленів в реактор. При цьому для забезпечення максимального виходу бутадієну 33%(мас) у розрахунку на пропущені бутілени необхідний екстремальний регулятор. Коректуючий завдання регуляторів температури в реакторі і витрати бутадієнів. Температура в реакторі визначається температурою суміші перегрітих бутіленів і водяного пару, що

надходить на дегідрування. Температуру цієї суміші підтримують розбавленим водяним паром.

Закалювання контактного газу на виході з реактору до температури 530оС, яка проводиться з метою відведення вторинних реакцій термічного розкладання вуглеводів, здійснюється регулятором температури, що діє на клапан, через який в реактор вприскується конденсат. Температура контактного газу на виході з котла-утилізатора підтримується на заданому значенні регулятором температури, клапан якого встановлений в лінії підведення конденсату до котла. Пар, що утворився відводиться з котла-утилізатору по сигналу тиску.

Стабільність подачі повітря і пару, що регулюють каталізатор, стабілізується окремими регуляторами витрати.

7. Автоматизовані системи керування технологічними процесами (САКТП)

САКТП призначені для оперативного керування технологічними процесами, а також для виробітки і реалізації керуючих дій на технологічний об'єкт у відповідності з прийнятим критерієм управління. На нижньому рівні САКТП вирішує задачі стабілізації технологічних величин, на верхньому – задачі оптимізації технологічних режимів.

Сучасні САКТП – це людсько-машинні системи, і людині відводиться в них суттєва роль.

Функції, що покладаються на людину в цих системах, більш складні, ніж при використанні звичайних систем автоматизації.

В САКТП технічні засоби розв'язують задачі за відомим алгоритмом: на людину ж покладається відшукування вирішення більш складних задач (випадок недостатньої апріорної інформації, множинності рішень, розв'язання та інше). З ускладненням задач, що розв'язуються системою, її рол ще більше зростає.

Для ефективного сполучення роботи людини і технічних засобів необхідно максимально погодити функціональні характеристики технічних засобів і фізіологічні можливості людини. Необґрунтований або випадковий вибір задач контролю і управління по об'єму і номенклатурі веде до неякісного розв'язання людиною деяких з поставлених перед ним задач. При цьому різко підвищується вірогідність помилкових дій і знижується швидкість розв'язання задач.

САКТП класифікують в залежності від типу об'єкту керування (безперервний, дискретний та інші), а також від числа контрольованих технологічних величин і функцій, що реалізуються системою

Сумісно з технологічним об'єктом керування (ТОК) САКТП складає автоматизований технологічний комплекс (АТК). На рис 340 показана функціональна система АТК в якій віддзеркалені основні зв'язки між ТОК, технологами-операторами, які здійснюють керування технологічним процесом і технічними засобами. За функціями, що вони виконуються, останні можна поділити на інформаційну і керуючу підсистему.

Інформаційна підсистема забезпечує виконання інформаційних функцій, які дозволяють слідкувати за технологічним процесом. До них відносяться:

- збирання, первинна обробка і зберігання поточної інформації про протікання технологічного процесу і стану основних видів обладнання;
- обчислювання поточних значень технологічних і техніко-економічних показників, які характеризують якість процесу;
- періодична реєстрація поточних значень показників процесу, які вимірюються і обчислюються;
- індикація чи реєстрація технологічних величин по виклику технолога-оператора;
- інформування технолога-оператора про наближення перед аварійних і аварійних ситуацій і про виходи показників процесу за допустимі межі;
- обмін інформацією з головною системою керування.

Керуюча підсистема призначена для виробітки і реалізації керуючих дій. Для цього використовуються:

- автоматичне одноконтурне регулювання окремих величин технологічного процесу;
- багато контурне регулювання;
- оптимальне керування ТОК в цілому або окремим апаратами в усталеному і несталому режимах роботи;
- виконання логічних і програмних операцій дискретного керування (дискретне керування)

виконавчими органами, аварійні блокування, пуск і зупинення окремих апаратів чи машин та інше).

Необов'язково. Що в кожній конкретній САКТП були реалізовані всі ці функції. Деякі з них не можуть бути застосовані для даного технологічного об'єкту; виконання ж інших буває доцільне покласти на САКТП.

В САКТП керуюча підсистема може працювати по декільком варіантах (Рис 350).

Рис 79 Схема функцій керування в САКТП: а – при роботі з інформаційно-порадчому режимі; б – при управлінні через ЛАС; в – в режимі безпосереднього цифрового керування.

При застосування САКТП для видачі оператору рекомендацій по керуванню технологічним процесом. Що залежить від встановлених критеріїв і обмежень, вона видає декілька рішень по керуванню процесом. Аналізуючи поточну інформацію оператор або вибирає з них, або відкидає їх всі і приймає рішення на основі попереднього досвіду. Через пульт контролю. Через пульт контролю і керування (ПКК) оператор веде керування процесом (Рис 35а). при цьому сигналізація про порушення процесу, його захист, блокування і автоматичне регулювання забезпечується за допомогою локальних автоматичних систем (ЛАС).

САКТП, яка працює у такому режимі, називається інформаційно-порадчою.

У більш сучасних САКТП необхідні керуючі дії розраховуються керуючою обчислювальною машиною (КОМ) і подаються в якості заданих значень на ЛАС (рис 35б), тобто САКТП керує процесом через ЛАС. При порушеннях в роботі КОМ або інших необхідних випадках, обслуговуючий персонал може втрутитись в процес керування і САКТП буде працювати у попередньому режимі безпосереднього цифрового керування, при якому КОМ обов'язково має високу ступінь надійності, безпосередньо діє на ТОК через виконавчі пристрої (рис 35в). в цьому САКТП не оснащується ЛАС.

В інформаційні і керуючі пристрій обов'язково застосовуються засоби обчислювальної техніки. За допомогою яких у відповідності з математичним описом і значень оптимальних керуючих дій з великою швидкістю і достатньо високою точністю.

В хімічній промисловості найбільше поширення в системах автоматизації і керування технологічними процесами набули ЕОМ другого покоління М-6000, М-7000, серії «Електроніка» та інше. Почали застосовуватись ЕОМ третього покоління, розроблені керуючі обчислювальні комплекси (КОК). Вони охоплюють базовий ряд процесорів різних модифікацій і продуктивності (СМ-1, СМ-2, СМ-3, СМ-4) і широкий набір додаткових пристроїв, побудованих за модульним принципом і які дозволяють будувати багатопроесорні і багатомашинні системи.

Застосування ЕОМ в системах автоматизації технологічних процесів дозволяє вирішувати задачі оптимального керування шляхом обробки поточної статистичної інформації. При цьому розраховуються поточні і оптимальні значення характерних величин процесу невимірюємих безпосередньо, при відхиленні поточних значень від оптимальних виробляються нові завдання локальним автоматичним регулятором з метою підтримання процесу на оптимальному рівні.