



Л.П. Ларичева
М.Д. Волошин
О.П. Луценко

КОНТРОЛЬ ТА АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпродзержинський державний технічний університет
(ДДТУ)

Л.П. ЛАРИЧЕВА
М. Д. ВОЛОШИН
О.П. ЛУЦЕНКО

**КОНТРОЛЬ
ТА АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ
ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

Навчальний посібник

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів*

Дніпродзержинськ
«ДДТУ»
2015

УДК 66.012-52
ББК 35.20:32.965.7 (4Укр)
Л 25

Рецензенти:

- В.Я. Кожухар** – завідувач кафедри технології неорганічних речовин та екології Одеського Національного політехнічного університету, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор
- Г.С. Столяренко** – завідувач кафедри хімії і технології неорганічних речовин Черкаського державного технологічного університету доктор технічних наук, професор
- В.Т. Яворський** – завідувач кафедри хімії і технології неорганічних речовин Національного університету «Львівська політехніка», Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(№ 1111-8110 лист від 10.06.2015 р.)

Ларичева Л.П

Л25 Контроль та автоматичне регулювання хіміко-технологічних процесів: навч. посібник/Л.П. Ларичева, М.Д. Волошин, О.П. Луценко – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. – 320 с.

Навчальний посібник містить основи теорії автоматичного управління технологічними процесами. Наведені основні завдання і способи первинної обробки, передачі і зберігання інформації, основи побудови АСУ ТП з використанням сучасних інформаційних технологій. В посібнику надані відомості про методи і засоби вимірювання та регулювання хіміко-технологічних параметрів, наведені приклади сучасних промислових автоматизованих систем управління виробництвом.

Може бути корисним для викладачів, аспірантів і студентів хімічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

УДК 66.012-52
ББК 35.20:32.965.7(4Укр)

ISBN 978-966-175-128-5

© Л.П.Ларичева, М.Д. Волошин,
О.П.Луценко, 2015
© ДДТУ, 2015

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Використовувані умовні позначення	11
Глава 1 Основи теорії автоматичного управління (ТАУ)	13
1.1 Основні поняття теорії автоматичного управління	13
1.2 Класифікація АСР	14
1.3 Класифікація елементів автоматичних систем	17
1.4 Характеристики та моделі елементів і систем	18
1.5 Типові математичні моделі структури потоків в апаратах	33
1.6 Якість процесів керування.....	37
1.6.1. Критерії стійкості.....	37
1.6.2. Показники якості.....	43
1.7 Аналогові регулятори	45
1.7.1. Типи регуляторів.....	48
1.7.2. Визначення оптимальних налаштувань регулятора	56
Глава 2 Автоматизовані системи управління технологічними процесами.....	59
2.1 Основні завдання і способи первинної обробки інформації в АСУ ТП.....	59
2.2 Структура АСУ ТП	67
2.2.1. Об'єкт та система управління	70
2.2.2. Первинні перетворювачі (датчики).....	79
2.2.3. Виконавчі пристрої.....	81
2.2.4. Виконавчі механізми	84
2.2.5. Пристрої зв'язку з об'єктом (УЗО)	86
2.2.6. Контролери та регулятори	95
2.2.7. Автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора	112
2.2.8. Устаткування дистанційної передачі.....	114
2.2.9. Обчислювальна мережа цеху, підприємства	122
Глава 3 Методи та засоби вимірювання технологічної інформації	132
3.1 Державна система приладів (ДСП).....	134
3.2 Точність перетворення інформації	138
3.3 Класифікація контрольно-вимірювальних приладів (КВП) .	140
3.4 Методи та засоби вимірювання основних технологічних параметрів.....	145
3.4.1. Методи і засоби вимірювання температури	146
3.4.2. Методи і засоби вимірювання тиску та розрядження....	165

3.4.3. Методи і засоби вимірювання витрати і кількості речовини.....	186
3.4.4. Методи і прилади для вимірювання рівню	203
3.4.5. Методи і засоби вимірювання складу речовин	213
3.4.6. Методи і засоби вимірювання складу газових сумішей	223
3.4.7. Методи і засоби вимірювання властивостей речовин ...	225
3.5 Сучасні вторинні прилади на базі мікропроцесорної техніки	233
Глава 4 Сучасні інформаційні технології в управлінні виробництвом	239
4.1 Організаційно-технологічні АСУ хімічних виробництв	239
4.2 Основи розробки АСУ ТП.....	242
4.2.1. Методика аналізу хіміко-технологічного процесу як ТОУ	242
4.2.2. Розробка АСУ ТП в інструментальному середовищі SCADA	245
Глава 5 Розподільні системи управління хіміко-технологічними виробництвами	253
5.1 Інтегровані системи управління технологічними виробництвами.....	253
5.2 Промислові автоматизовані системи управління технологічними процесами	255
5.2.1. Автоматизовані системи фірми Honeywell	255
5.2.2. Автоматизовані системи фірми Yokogawa	261
5.2.3. Автоматизовані системи фірми Siemens	263
5.2.4. Автоматизовані системи фірми «КОНСТАР»	282
ЛІТЕРАТУРА	288
Предметний покажчик.....	291

ВСТУП

Розвиток автоматизації хімічної промисловості пов'язано із постійною інтенсифікацією технологічних процесів і розширенням виробництв, використанням агрегатів великої одиничної потужності, ускладненням технологічних схем, пред'явленням підвищених вимог до отримуваних продуктів.

Особливе значення надається питанням автоматизації процесів хімічної технології у зв'язку з вибухо- і пожежонебезпекою речовин, що переробляються, їх агресивністю і токсичністю, з необхідністю запобігання шкідливим викидам в навколишнє середовище. Вказані особливості, висока чутливість до порушень заданого режиму, наявність чисельної кількості точок контролю і управління процесом, а також необхідність своєчасних і відповідних обставин, що склалася на даний момент, дії на процес у разі відхилення від заданих за регламентом умов протікання не дозволяють навіть досвідченому операторові забезпечити якісне ведення процесу уручну.

Людина володіє кінцевою швидкістю сприйняття обмеженого об'єму інформації; йому потрібний деякий час на її обдумування, ухвалення рішення і виконання відповідних дій. Крім того, дії людини відрізняються суб'єктивністю. Оператор має безперервно стежити за процесом, з максимальною швидкістю оцінювати поточну обстановку і, у разі потреби, приймати рішення з метою підтримки заданого режиму, що надзвичайно складно, а іноді і неможливо. Тому в наш час експлуатація процесів хімічної технології без автоматизації практично немислима.

Під технологічним процесом розуміють сукупність технологічних операцій, що проводяться над початковою сировиною в одному або декількох апаратах, метою яких є отримання продукту з заданими властивостями. Здійснюються ці операції в колонах ректифікації, реакторах, екстракторах, абсорберах, сушарках і інших апаратах. Зазвичай з метою переробки хімічних речовин і отримання цільових продуктів з цих апаратів komponують складні технологічні схеми.

Технологічний процес, реалізований на відповідному технологічному устаткуванні, називають технологічним об'єктом управління (ТОУ). ТОУ – це окремий апарат, агрегат, установка, відділення, цех, виробництво, підприємство. Різні зовнішні

збурюючі дії (зміна витрати або складу початкової сировини, стану і характеристик технологічного устаткування, тощо) порушують роботу ТООУ. Тому для підтримки його нормального функціонування, а також при необхідності зміни умов його роботи, наприклад, з метою ведення технологічного процесу за деякою програмою, або отримання цільового продукту іншої якості або складу ТООУ потрібно управляти. При цьому мета управління полягає в забезпеченні оптимального значення критерію управління, під яким розуміється технологічний або техніко-економічний показник (продуктивність установки, собівартість продукції і інше), що характеризує якість ТООУ в цілому і що набуває числових значень залежно від керуючих дій, що подаються на нього — цілеспрямованих змін матеріальних і енергетичних потоків.

Процес управління передбачає: збір інформації про поточний стан об'єкту управління; визначення оптимального режиму функціонування об'єкту; обчислення дій, що управляють; реалізацію оптимальних дій, що управляють.

В даний час для управління все ширше застосовують автоматизовані системи управління (АСУ) — людино-машинні системи, що забезпечують автоматизований збір і обробку інформації, необхідної для оптимізації управління. При цьому, під процесом оптимізації розуміють вибір такого варіанту управління, при якому досягається мінімальне або максимальне значення деякого критерію управління.

Збір і оперативна обробка інформації, обчислення критеріїв, знаходження оптимальних значень дій, що управляють, в цих системах здійснюється за допомогою різних технічних засобів і електронних обчислювальних машин. За персоналом, що управляє, залишаються завдання осмислення технологічної або техніко-економічної ситуації в цілому і реалізація керуючих дій.

Управління хімічними підприємствами за допомогою АСУ здійснюється за ієрархічним принципом на трьох рівнях.

На вищому рівні забезпечується оперативне управління хімічним підприємством в цілому, яке разом з вирішенням завдань технологічного управління окремими виробництвами, координує роботу цих виробництв і вирішує планово-економічні завдання, забезпечуючи ефективність роботи всього підприємства. Для оперативного управління хімічними підприємствами

розробляються автоматизовані системи управління підприємствами (АСУП).

На середніх рівнях забезпечується управління технологічним процесом. Для цього використовується автоматизована система управління технологічним процесом (АСУ ТП), що призначена для вироблення і реалізації керуючих дій на ТОУ відповідно до прийнятого критерію управління. Завдання управління в цьому випадку полягає у відшуканні оптимальних режимів спільно працюючих апаратів, розподілі навантажень між окремими агрегатами або паралельно працюючими ланцюжками апаратів з урахуванням наявних ресурсів сировини, енергії і інших показників. В АСУ ТП широко застосовується весь арсенал сучасних засобів автоматичного управління, включаючи цифрові обчислювальні машини. При управлінні технологічним процесом на рівні АСУ ТП інформація про його протікання передається, також і на диспетчерські пункти підприємства, що забезпечують її аналіз, обробку і використання в АСУП при управлінні підприємством.

На нижчому рівні завдання зводиться до стабілізації необхідних режимів процесів, що протікають в окремих апаратах, шляхом підтримки заданих значень характерних технологічних величин (витрата, температура, якісні показники отримуваних продуктів). Крім того, виконується оптимізація процесів з урахуванням їх особливостей. Одночасно здійснюється сигналізація про порушення заданого режиму, захист і блокування устаткування, його пуск і зупинка, дистанційне керування процесом. Ці завдання вирішуються за допомогою локальних автоматичних систем, що входять в АСУ ТП.

У навчальному посібнику наведені теоретичні основи автоматичного управління технологічним процесом, значна увага приділена роботі систем нижчого рівня ієрархії управління хімічними підприємствами, зокрема, методам і засобам вимірювання технологічних параметрів, приведені відомості про склад і основи побудови АСУ ТП, а також – про сучасні промислові системи автоматичного управління, що діють на українських хімічних підприємствах.

ВИКОРИСТОВУВАНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

АЗАТ	— агрегатний комплекс засобів аналітичної техніки.
АЗВ	— агрегатний комплекс засобів вимірювань
АЗКР	— агрегатний комплекс засобів контролю і регулювання.
АЗОТ	— агрегатний комплекс засобів обчислювальної техніки
АЗПУ	— агрегатний комплекс засобів програмного управління.
АК	— агрегатний комплекс.
АЛУ	— арифметично-логічний пристрій.
АРМ	— автоматизоване робоче місце.
АСК	— автоматична система контролю.
АСУ	— автоматизована система управління.
АСУП	— автоматизована система управління підприємством.
АСУВ	— автоматизована система управління виробництвом.
АСУОТ	— організаційно-технологічна АСУ
АСУ ТП	— автоматизована система управління технологічним процесом.
АР	— автоматичний регулятор.
АТК	— автоматизований технологічний комплекс.
АЦП	— аналого-цифровий перетворювач.
ВМ	— виконавчий механізм.
ВП	— вимірюючий перетворювач
Д	— диференціальний.
DDL	— динамічний обмін даними.
DLL	— бібліотека динамічної компоновки.
ДСВ	— державна система вимірювань.
ДСП	— державна система приладів.
ЕСКД	— єдина система конструкторської документації.
ЗВ	— засіб вимірювання
ЗУ	— пристрій, що запам'ятовує.
І	— інтегральний.
ІЗ	— інформаційне забезпечення.
ІМ	— інформаційна мережа
ІОК	— інформаційно-обчислювальний комплекс.
ІС	— інформаційна система.
КВП	— контрольно-вимірювальні прилади.
КТЗ	— комплекс технічних засобів.
МК	— мікроконтролер.
ММ	— математична модель.

МП	— мікропроцесор.
МПС	— мікропроцесорна система.
МЗ	— метрологічне забезпечення.
МТ	— мікропроцесорна техніка.
НТД	— нормативно-технічна документація.
ОЗУ	— оперативний пристрій, що запам'ятовує.
ОК	— обчислювальний комплекс.
ОУ	— об'єкт управління.
П	— пропорційний.
ПІ	— пропорційно-інтегральний.
ПІД	— пропорційно-інтегрально-диференційний.
ПВМ	— пневматичний виконавчий механізм.
ПВП	— первинний вимірювальний перетворювач
ПЗП	— постійний пристрій, що запам'ятовує.
ПЗ	— програмне забезпечення.
ПК	— персональний комп'ютер
ППП	— пакети прикладних програм.
ПП	— передавальний пристрій
ПРУ	— програмуючий пристрій.
ПТК	— програмно-технічний комплекс.
ПЕВМ	— персональна електронно-обчислювальна машина.
РКІ	— рідкокристалічний індикатор.
РО	— регулюючий орган.
САПР	— система автоматизованого проектування.
САР	— система автоматичного регулювання.
САУ	— система автоматичного управління.
СВЧ	— надвисокочастотний.
СОМ	— комунікаційні порти.
СУ	— системи управління
ТП	— технологічний процес.
ТЗ	— технічне забезпечення.
ТОУ	— технологічний об'єкт управління.
УВВ	— пристрій введення-виводу.
УЗО	— пристрій зв'язку з об'єктом.
УТК	— уніфіковані типові конструкції.
УУ	— пристрій, що управляє.
ЦАП	— цифро-аналоговий перетворювач.
ЦП	— центральний процесор.
ЧЕ	— чутливий елемент.

ГЛАВА 1 ОСНОВИ ТЕОРІЇ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ (ТАУ)

1.1 Основні поняття теорії автоматичного управління

Системи управління сучасними хіміко-технологічними процесами характеризуються значною кількістю технологічних параметрів, число яких може досягати декількох тисяч. Для підтримки необхідного режиму роботи технологічної системи, а в остаточному підсумку - якості продукції, що виробляється, всі ці величини необхідно підтримувати постійними або змінювати за певним законом.

Фізичні величини, що визначають хід технологічного процесу, називаються *параметрами технологічного процесу* (температура, тиск, витрата, рівень, напруга тощо).

Параметр технологічного процесу, який необхідно підтримувати постійним або змінювати за певним законом, називається *регульованою величиною* або *регульованим параметром*.

Значення регульованої величини в певний момент часу називається *миттєвим значенням регульованої величини*.

Значення регульованої величини, що отримане в певний момент часу на підставі даних деякого вимірювального приладу, називається *вимірюваним значенням регульованої величини*.

Об'єкт керування (об'єкт регулювання, ОУ) – це пристрій, необхідний режим роботи якого повинен підтримуватися ззовні спеціально організованими керуючими діями.

Керування – це формування керуючих дій, що забезпечують необхідний режим роботи ОУ.

Регулювання – окремий вид керування, коли завданням є забезпечення сталості якої-небудь вихідної величини ОУ.

Автоматичне керування – керування, здійснюване без особистої участі людини.

Вхідна дія (X) – дія, що подається на вхід системи або пристрою.

Вихідна дія (Y) – дія, що видається на виході системи або пристрою.

Зовнішня дія – дія зовнішнього середовища на систему.

Керуюча дія (u) - дія керуючого пристрою на об'єкт керування.

Керуючий пристрій (КП) - пристрій, що здійснює вплив на об'єкт керування з метою забезпечення необхідного режиму роботи.

Збурююча дія (f) - дія, що намагається порушити необхідний функціональний зв'язок між дією, що задає, та регульованою величиною.

Помилка керування ($e = x - y$) – різниця між запропонованим (x) і дійсним (y) значеннями регульованої величини.

Регулятор (Р) - комплекс пристроїв, що приєднують до регульованого об'єкту, і який забезпечує автоматичну підтримку заданого значення регульованої величини або автоматичну зміну її за певним законом.

Автоматична система регулювання (АСР) – це автоматична система із замкнутим ланцюгом дії, у якої керування (u) виробляється в результаті порівняння істинного значення y із заданим значенням x .

1.2 Класифікація АСР

Як і в будь якій системі у теорії автоматичного управління існує класифікації АСР за різними ознаками, деякі з яких наведені нижче.

1. За призначенням (за характером зміни завдання):

- стабілізуюча АСР – система, алгоритм функціонування якої містить припис підтримувати регульовану величину на постійному значенні ($x = \text{const}$);
- програмна АСР – система, алгоритм функціонування якої містить припис змінювати регульовану величину відповідно до заздалегідь заданої функції (x змінюється програмно);
- спостерігаюча АСР – система, алгоритм функціонування якої містить припис змінювати регульовану величину залежно від заздалегідь невідомої величини на вході АСР ($x = \text{var}$).

2. За кількістю контурів:

- одноконтурні – що містять один контур;
- багатоконтурні - що містять кілька контурів.

3. За кількістю регульованих величин:

- одномірні – системи з однією регульованою величиною;

- багатомірні – системи з декількома регульованими величинами.

Багатомірні АСР у свою чергу поділяються на системи:

а) незв'язаного регулювання, у яких регулятори безпосередньо не зв'язані й можуть взаємодіяти тільки через загальний для них об'єкт керування;

б) зв'язаного регулювання, у яких регулятори різних параметрів одного технологічного процесу зв'язані між собою поза об'єктом регулювання.

4. За функціональним призначенням:

АСР температури, тиску, витрати, рівня, напруги, тощо.

5. За характером використовуваних для керування сигналів:

- безперервні;
- дискретні (релейні, імпульсні, цифрові).

6. За характером математичних співвідношень:

- лінійні, для яких є справедливим принцип суперпозиції;
- нелінійні.

Принцип суперпозиції (накладення) полягає у наступному. Якщо на вхід об'єкту подається кілька вхідних дій, то реакція об'єкту на суму вхідних дій дорівнює сумі реакцій об'єкта на кожну дію окремо (рис. 1.1).

Тобто $\Lambda(x_1 + x_2) = \Lambda(x_1) + \Lambda(x_2)$, де Λ - лінійна функція (інтегрування, диференціювання, тощо).

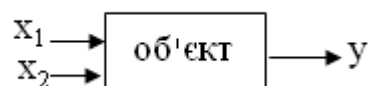


Рисунок 1.1 – Принцип суперпозиції

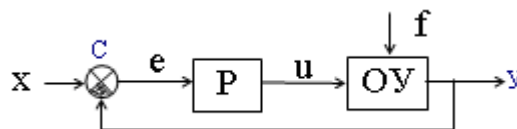
7. За видом використовуваної для регулювання енергії:

- пневматичні,
- гідравлічні,
- електричні,
- механічні, тощо.

8. За принципом регулювання:

- за відхиленням:

Переважає більшість систем побудована за принципом зворотного зв'язку – регулювання за відхиленням (рис. 1.2).



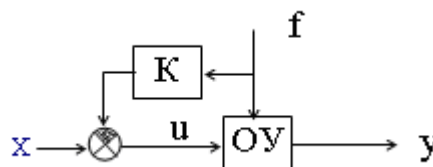
x – дія, що задає (завдання), $e = x - y$ – помилка регулювання,
 u – керуюча дія, f – збурювання.

Рисунок 1.2 – Регулювання за відхиленням

Елемент схеми, позначений літерою С називається суматором. Його вихідний сигнал дорівнює сумі вхідних сигналів. Зачернений сектор свідчить про те, що даний вхідний сигнал треба брати із протилежним знаком.

- *за збуренням:*

Системи за збуренням можуть бути використані у випадку, якщо є можливість виміру збурюючої дії (рис. 1.3). На схемі позначений К – підсилювач із коефіцієнтом підсилення К.



К – підсилювач із коефіцієнтом підсилення К

Рисунок 1.3 – Система за збуренням

- *комбіновані* – що сполучають у собі особливості попередніх двох АСР.

Даний спосіб керування (рис. 1.4) дозволяє забезпечити високу якість управління, однак його застосування обмежене тим, що збурюючі дії f не завжди можна виміряти.

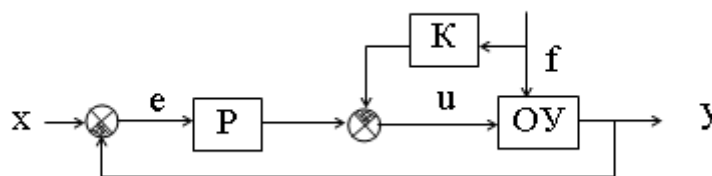


Рисунок 1.4 – Комбінований спосіб керування

1.3 Класифікація елементів автоматичних систем

Класифікації підлягають не тільки АСР, але і їх елементи, які класифікуються, наприклад, за функціональним призначенням, за видами використаної енергії, за характером математичних співвідношень, що описують системи, тощо.

1. За функціональним призначенням:

- вимірювальні,
- підсилювально-перетворюючі,
- виконавчі,
- коригувальні.

2. За видом енергії, використовуваної для роботи:

- електричні,
- гідравлічні,
- пневматичні,
- механічні,
- комбіновані.

3. За наявністю або відсутністю допоміжного джерела енергії:

- активні (мають джерело енергії),
- пасивні (не мають джерела енергії).

4. За характером математичних співвідношень:

- лінійні
- нелінійні.

5. За поведженням у статичному режимі:

• статичні, які мають однозначну залежність між вхідною та вихідною дією (стан статики). Прикладом такої системи є будь-який тепловий об'єкт.

• астатичні – системи у яких залежність між вхідною та вихідною дією відсутня.

Приклад астатичних систем: Залежність кута повороту ротора електродвигуна від прикладеної напруги. При подачі напруги кут повороту буде постійно зростати.

1.4 Характеристики та моделі елементів і систем

Оскільки системи в хімічній технології є складними, для спрощення їх розбивають на ланки (рис. 1.5). Ланкою системи називається її елемент, що має певні властивості в динамічному відношенні. Під впливом дій (X , F) вихідна величина Y може змінюватися. При цьому при надходженні на вхід системи нового завдання вона повинна забезпечити із заданим ступенем точності нове значення регульованої величини в сталому режимі.



Рисунок 1.5 – Ланка системи управління

Сталий режим – це режим, при якому розбіжність між істинним значенням регульованої величини і її заданим значенням буде постійною у часі.

Вплив змінних на систему й поширення сигналів по каналах зв'язку звичайно представляють у вигляді структурної схеми. Структурна схема будь якого фізико-хімічного процесу, як правило, має форму сполучень кружків і прямокутників (рис. 1.6). Кружок звичайно позначає алгебраїчну функцію підсумовування сигналів, а прямокутник – тимчасову функцію вхідної й вихідної величини.

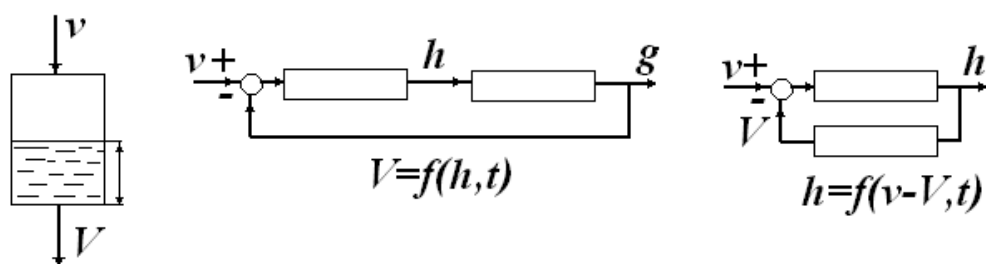


Рисунок 1.6 – Структурна схема передачі сигналу у фізичному процесі

Вхідні й вихідні величини для кружків і прямокутників виражають лише сигнали, а не потоки маси й енергії.

Роботу системи регулювання можна описати словесно. Словесний опис допомагає зрозуміти принцип дії системи, її призначення, особливості функціонування. Однак словесний опис

не дає кількісних оцінок якості регулювання, тому не придатний для вивчення характеристик систем і побудови систем автоматизованого керування. Замість нього в ТАУ використовуються більш точні математичні методи опису властивостей систем, а саме:

- статичні характеристики,
- динамічні характеристики,
- диференціальні рівняння,
- передатні функції,
- частотні характеристики

У кожній з перерахованих моделей система може бути представлена у вигляді ланки, що має вхідні дії X , збурювання F і вихідні сигнали Y . Коротко розглянемо зазначені вище математичні методи.

1) Статичні характеристики. Статичною характеристикою елемента називається залежність сталих значень вихідної величини від значення величини на вході системи, тобто

$$y_{уст} = \varphi(x).$$

Статичну характеристику (рис. 1.7) часто зображують графічно у вигляді кривої $y(x)$.

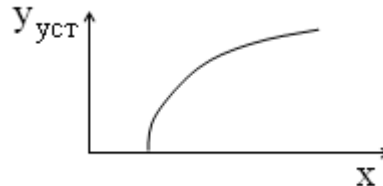


Рисунок 1.7 – Статична характеристика системи

Статичним називається елемент, у якого при постійній вхідній дії із часом встановлюється постійна вихідна величина. Наприклад, при подачі на вхід нагрівача різних значень напруги він буде нагріватися до відповідним цим напругам значень температури.

Астатичним називається елемент, у якого при постійній вхідній дії сигнал на виході безупинно зростає з постійною швидкістю, прискоренням.

Лінійним статичним елементом називається безінерційний елемент, що має лінійну статичну характеристику:

$$y_{уст} = K \cdot x + a_0.$$

Статична характеристика елемента в цьому випадку має вигляд прямої з коефіцієнтом нахилу K .

Лінійні статичні характеристики, на відміну від нелінійних, більш зручні для вивчення завдяки своїй простоті. Якщо модель об'єкту нелінійна, то звичайно її приводять до лінійного виду шляхом лінеаризації.

Система автоматичного управління (САУ) називається статичною, якщо при постійної вхідної дії помилка керування e прямує до постійного значення, що залежить від величини впливу.

САУ називається астатичною, якщо при постійної вхідної дії помилка керування прямує до нуля не залежно від величини дії.

2) Динамічні характеристики. Перехід системи від одного сталого режиму до іншого при будь яких вхідних впливах називається перехідним процесом. Перехідні процеси можуть зображуватися графічно у вигляді кривій $y(t)$ (рис. 1.8).

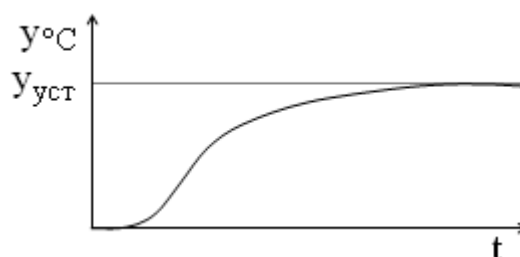


Рисунок 1.8 – Перехідний процес

Перехідний процес характеризує динамічні властивості системи, її поведіння.

Оскільки вхідні дії можуть змінюватися в часі, то і перехідні характеристики будуть щораз різні. Для простоти аналізу систем вхідні дії приводять до одному з типових видів (рис. 1.9).

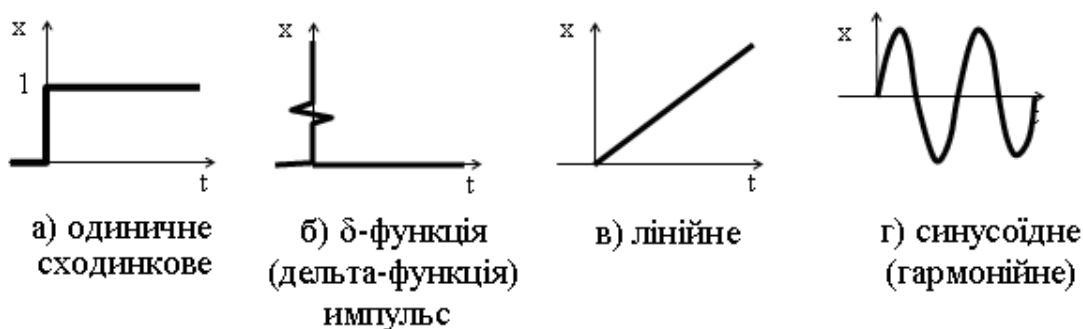


Рисунок 1.9 – Види вхідних дій

Залежно від виду вхідної дії функція $y(t)$, тобто характер сигналу на виході, буде мати різні значення (рис. 1.10). При цьому, функція $y(t)$ може мати різне позначення. Перехідною характеристикою називається реакція об'єкту на одиничну

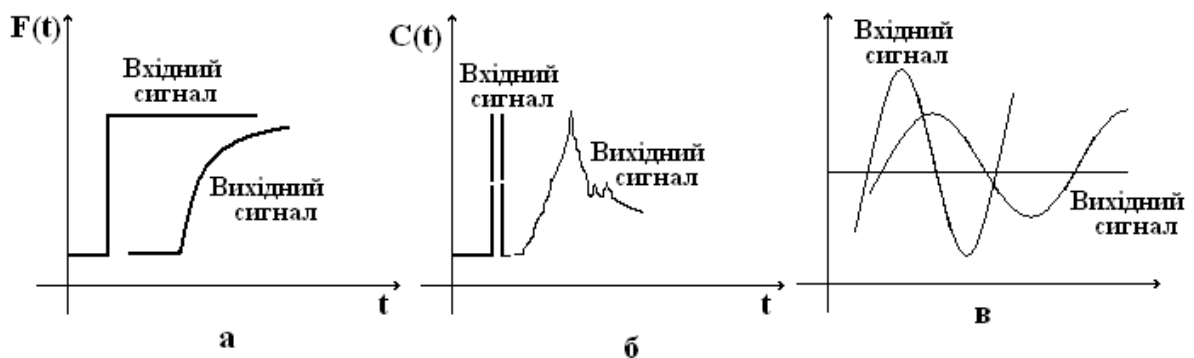
сходинкову дію при нульових початкових умовах, тобто при $x(0) = 0$ та $y(0) = 0$.

Імпульсною характеристикою називається реакція об'єкту на δ -функцію при нульових початкових умовах.

При подачі на вхід об'єкта синусоїдального сигналу на виході, як правило, у сталому режимі виходить також синусоїдальний сигнал, але з іншою амплітудою й фазою:

$$y = A_{\text{вих}} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

де $A_{\text{вих}}$ – амплітуда, ω – частота сигналу, φ – фаза.



а – сходинова подача сигналу, б – імпульсна подача сигналу, в – гармонійна подача сигналу.

Рисунок 1.10 – Види вхідних і вихідних сигналів

Частотною характеристикою (ЧХ) об'єкту називається залежність амплітуди (АЧХ) і фази (ФХ) вихідного сигналу системи в сталому режимі при подачі на вхід гармонійного сигналу.

Залежно від виду математичних функцій розподілу все різноманіття математичних моделей потоків, що виникають у різних апаратах, може бути представлене у вигляді деяких типових моделей (ідеального змішування, ідеального витиснення, тощо), які будуть коротко розглянуто нижче.

3) Диференціальні рівняння. Лінеаризація. Будь-який рух, процеси передачі, обміну, перетворення енергії та речовини математично можна описати у вигляді диференціальних рівнянь (ДР). Будь-які процеси в автоматизованій системі регулювання (АСР) також прийнято описувати диференціальними рівняннями, які визначають сутність процесів, що відбуваються в системі, незалежно від її конструкції. Вирішивши ДР можна знайти характер зміни регульованої змінної в перехідних і сталих режимах при різних діях на систему.

Для спрощення завдання знаходження ДР, що описує роботу АСР у цілому, систему розбивають на окремі елементи (ланки), перехідні процеси в яких описуються досить простими ДР. Оскільки ДР описують роботу системи незалежно від фізичної сутності процесів, що протікають у ній, то при розбивці системи немає необхідності враховувати їхню фізичну цілісність. Далі для кожного елемента структурної схеми (ланки) необхідно скласти диференціальне рівняння, що визначає залежність зміни вихідної величини від вхідної. Так як вихідна величина попереднього елемента є вхідною для наступного, визначивши ДР окремих елементів, можна знайти диференціальне рівняння системи.

У більшості випадків в реальних елементах системи зв'язок між вхідною та вихідною величинами є нелінійним й часто задається в графічній формі. Тому, навіть якщо ДР системи і буде отримано, воно буде нелінійним. А аналітичне рішення нелінійних ДР можливо далеко не завжди.

Для рішення цієї проблеми приймають, що в процесі регулювання відхилення всіх величин, що змінюються, від їхніх сталих значень малі, і тому можливою є заміна нелінійних ДР наближеними лінійними ДР, тобто можлива лінеаризація диференціальних рівнянь.

Наприклад, залежність температури об'єкту від напруги, що подається, в більшості випадків є нелінійною і має вигляд як на рис. 1.11.

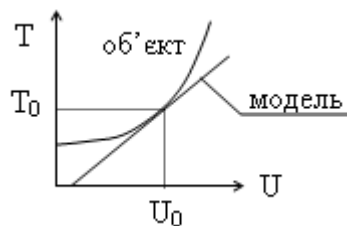


Рисунок 1.11 – Приклад нелінійної залежності температури об'єкту від напруги, що подається

Графічно лінеаризацію деякого рівняння від двох змінних $F(x,y) = 0$ в околиці деякої точки (x_0, y_0) можна представити як заміну розглянутої ділянки кривої на дотичну (рис. 1.11), рівняння якої визначається за формулою:

$$\frac{\partial F}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial F}{\partial y} \Delta y = 0, \quad (1.1)$$

де $\frac{\partial F}{\partial x}$ й $\frac{\partial F}{\partial y}$ – приватні похідні від F по x и y .

Дане рівняння називається рівнянням у прирощеннях, оскільки значення x и y в ньому замінені на прирощення

$\Delta x = x - x_0$ та $\Delta y = y - y_0$. Аналогічно відбувається лінеаризація ДР.

Дослідження АСР істотно спрощується при використанні прикладних математичних методів операційного числення, (перетворення Лапласа). Операторний метод Лапласа дозволяє замінити часові функції частотними. Операція перетворення диференціального рівняння полягає в заміні функцій речовинного змінного t (звичайно t – час) функціями комплексного змінного s ($s = j\omega$). Це перетворення дозволяє представити в алгебраїчній формі диференціювання, інтегрування і трансцендентні функції. Після знаходження рішення для функцій комплексного змінного s здійснюється зворотне перетворення отриманого рішення у функції вихідного речовинного змінного t . Пояснимо це на прикладі. Функціонування деякої системи описується ДР виду:

$$a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x, \quad (1.2)$$

де x і y – вхідна та вихідна величини. Якщо в дане рівняння замість $x(t)$ і $y(t)$ підставити функції $X(s)$ і $Y(s)$ комплексного змінного s такі, що

$$X(s) = \int_0^{\infty} x(t) e^{-st} dt \quad \text{і} \quad Y(s) = \int_0^{\infty} y(t) e^{-st} dt, \quad (1.3)$$

то вихідне ДР при нульових початкових умовах рівносильне лінійному алгебраїчному рівнянню

$$a_2 s^2 Y(s) + a_1 s Y(s) + a_0 Y(s) = b_1 X(s) + b_0 X(s). \quad (1.4)$$

Такий перехід від ДР до алгебраїчного рівняння називається перетворенням Лапласа, формули (1.3) – відповідно формулами перетворення Лапласа, а отримане рівняння (1.4) – операторним рівнянням.

Нові функції $X(s)$ і $Y(s)$ називаються зображеннями $x(t)$ і $y(t)$ по Лапласу, тоді як $x(t)$ і $y(t)$ є оригіналами стосовно $X(s)$ і $Y(s)$.

Перехід від однієї моделі до іншої досить простий і полягає в заміні знаків диференціалів $\frac{d^n}{dt^n}$ на оператори s^n , знаків інтегралів

$\int \dots dt$ на множники $\frac{1}{s}$, а самих $x(t)$ і $y(t)$ - на зображення $X(s)$ і $Y(s)$.

Для зворотного переходу від операторного рівняння до функцій від часу використовується метод зворотного перетворення Лапласа. Загальна формула зворотного перетворення Лапласа наступна:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(j\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (1.5)$$

де $f(t)$ – оригінал; $F(j\omega)$ – зображення при $s = j\omega$; $j = \sqrt{-1}$ – мніма одиниця, ω – частота.

Формула (1.5) досить складна, тому були розроблені спеціальні таблиці (таблиці 1.1 та 1.2), у які зведені функції $F(s)$ та їхні оригінали $f(t)$, що найчастіше зустрічаються, і які наведені в літературі. Зазначені таблиці дозволяють відмовитися від прямого використання формули (1.5).

Таблиця 1.1 - Перетворення Лапласа

Оригінал $x(t)$	Зображення $X(s)$	Примітка
1	2	3
δ -функція	1	
1	$\frac{1}{s}$	одиничний сходінковий сигнал
t	$\frac{1}{s^2}$	лінійний сигнал
t^2	$\frac{2}{s^3}$	
t^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$	
$e^{-\alpha t}$	$\frac{1}{s + \alpha}$	
$\alpha x(t)$	$\alpha X(s)$	
$\sum_{i=1}^n x_i(t)$	$\sum_{i=1}^n X_i(s)$	
$x(t - \alpha)$	$X(s) e^{-\alpha s}$	
$\frac{d^n x(t)}{dt^n}$	$s^n X(s)$	

Таблиця 1.2 – Формули зворотного перетворення Лапласа

Зображення X(s)		Оригінал x(t)
$\frac{M}{s + \alpha}$	$\alpha \in \mathbb{R}, M \in \mathbb{R}$ (α і M - дійсні числа)	$M e^{-\alpha t}$
	$\alpha = \alpha_1 + j \alpha_2$ $M = M_1 + j M_2$ (α і M - комплексні)	$2e^{-\alpha_1 t} [M_1 \cos(\alpha_2 t) - M_2 \sin(\alpha_2 t)]$

Закон зміни вихідного сигналу звичайно є функцією, яку необхідно знайти, а вхідний сигнал, як правило, відомий.

4) Передаточні функції.

Якщо вихідну часову функцію перетворити за Лапласом та віднести її до вхідної часової функції, також перетвореної за Лапласом, то одержимо так названу передаточну функцію $W(s)$:

$$W(s) = W(j\omega) = F_{\text{вих}}(s)/F_{\text{вх}}(s) = (a/A)e^{-j\varphi}$$

де (a/A) – відношення амплітуд коливань вихідного й вхідного сигналів; φ – відставання по фазі вихідного сигналу в порівнянні із вхідним.

Тобто, перетворення ДР по Лапласу дає можливість ввести зручне поняття передаточної функції, яка характеризує динамічні властивості системи.

Наприклад, операторні рівняння

$$3s^2 Y(s) + 4s(s) + Y(s) = 2s(s) + 4X(s)$$

можна перетворити, виносячи $X(s)$ і $Y(s)$ за дужки й поділивши один на одного:

$$Y(s) \cdot (3s^2 + 4s + 1) = X(s) \cdot (2s + 4)$$

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{2s + 4}{3s^2 + 4s + 1}$$

Отриманий вираз називається передаточною функцією.

Передаточною функцією системи (ланки) є відношення зображення вихідного сигналу $Y(s)$ до зображення вхідного сигналу $X(s)$ при нульових початкових умовах.

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \quad (1.6)$$

Величина $W(s)$ залежить тільки від параметрів системи, тому вона повністю визначає її динамічні властивості. Знаючи

передаточну функцію, можна знайти перехідний процес $y(t)$ при будь-якої заданої дії й певних початкових умовах. Зображення вихідного сигналу можна знайти як

$$Y(s) = W(s) \cdot X(s).$$

Оскільки передаточна функція системи повністю визначає динамічні властивості останньої, то первинне завдання розрахунку АСР зводиться до визначення її передаточної функції.

Характер проходження сигналу через ланку визначає його властивості. Все різноманіття ланок різних систем можна звести до деяких типових ланок. Для кількісної оцінки властивостей тієї або іншої ланки, для одержання її математичної моделі, порівнюють характер проходження сигналу в даній ланці з характером проходження сигналу в типових ланках.

Ланки систем регулювання можуть мати різну фізичну основу (електричні, пневматичні, механічні та інші), але ставиться до однієї групи. Співвідношення вхідних і вихідних сигналів у ланках однієї групи описуються однаковими передаточними функціями.

Найпростішими типовими ланками є:

- підсилювальна,
- інтегруюча,
- диференціююча,
- аперіодична,
- коливальна,
- запізнювальна.

а) Підсилювальна ланка (рис.1.12).

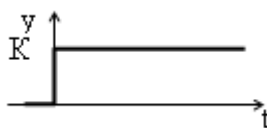


Рисунок 1.12 – Підсилювальна ланка

Ланка підсилює вхідний сигнал у K раз.

Рівняння ланки $y = K \cdot x$, передаточна функція $W(s) = K$. Параметр K називається коефіцієнтом підсилення.

Вихідний сигнал такої ланки в точності повторює вхідний сигнал, посилений у K разів. Прикладами таких ланок є: механічні передачі, датчики, безінерційні підсилювачі, тощо.

б) Інтегруюча ланка.

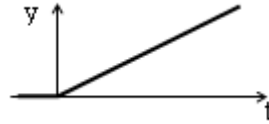
б.1) Ідеальна інтегруюча ланка (рис.1.13).

Рисунок 1.13 – Інтегруюча ланка

Вихідна величина ідеального інтегруючої ланки пропорційна інтегралу вхідної величини:

$$y = K \int_0^t x(t) dt ; \quad W(s) = \frac{K}{s}$$

При подачі на вхід ланки дії вихідний сигнал постійно зростає (рис. 1.13). Це ланка астатична, тобто вона не має сталого режиму.

б. 2) Реальна інтегруюча ланка (рис.1.14).

Рисунок 1.13 – Реальна інтегруюча ланка

Передаточна функція цієї ланки має вигляд:

$$W(s) = \frac{K}{s(Ts + 1)}$$

Перехідна характеристика реальної ланки на відміну від ідеальної є кривою.

в) Диференціююча ланка.**в.1) Ідеальна диференціююча ланка.**

Вихідна величина такої ланки пропорційна похідній за часом від вхідної:

$$y = K \frac{dx(t)}{dt} ; \quad W(s) = K * s$$

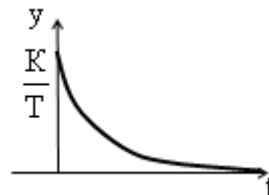
в.2) Реальна диференціююча ланка (рис.1.14).

Рисунок 1.14 – Реальна диференціююча ланка

Ідеальні ланки, що диференціюють, фізично не реалізовані. Більшість об'єктів, які являють собою диференціюючі ланки, відносяться до реальних ланок. Передаточна функція цієї ланки має вигляд:

$$W(s) = \frac{Ks}{Ts + 1}.$$

г) **Аперіодична (інерційна) ланка** (рис.1.15).

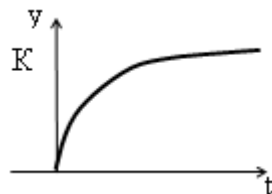


Рисунок 1.15 – Аперіодична (інерційна) ланка

Цій ланці відповідають ДУ та передаточна функція виду:

$$T \frac{dy}{dt} + y = Kx; \quad W(s) = \frac{K}{Ts + 1}.$$

Постійна T називається постійною часу.

Більшість теплових об'єктів є аперіодичними ланками. Наприклад, при подачі на вхід електричної печі напруги її температура буде змінюватися за аналогічним законом:

$$y(t) = K x_0 (1 - e^{-\frac{t}{T}}).$$

д) **Коливальна ланка** (рис.1.16).

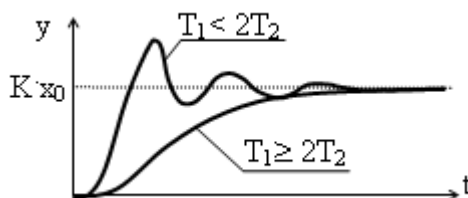


Рисунок 1.16 – Коливальна ланка

Коливальна ланка має ДУ та передаточну функцію виду:

$$T_2^2 \frac{d^2y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = Kx, \quad W(s) = \frac{K}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1}.$$

При подачі на вхід сходящого дії амплітудою x_0 перехідна крива буде мати один із двох видів: аперіодичний (при $T_1 \geq 2T_2$) або коливальний (при $T_1 < 2T_2$).

е) **Запізнювальна ланка.**

Визначається наступними рівняннями: $y(t) = x(t - \tau)$,

$$W(s) = e^{-\tau s}.$$

Вихідна величина y в такій ланці в точності повторює вхідну величину x з деяким запізнюванням τ . Приклади запізнювальної ланки: рух вантажу по конвеєру, рух рідини по трубопроводу.

З'єднання ланок. Оскільки досліджуваний об'єкт із метою спрощення аналізу функціонування був розбитий нами на ланки, то після визначення передаточних функцій для кожної ланки встає завдання об'єднання їх в одну передаточну функцію об'єкту. Вид передаточної функції об'єкту залежить від послідовності з'єднання ланок.

Послідовне з'єднання ланок (рис.1.17).

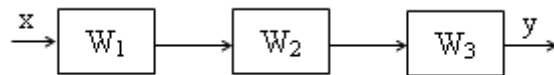


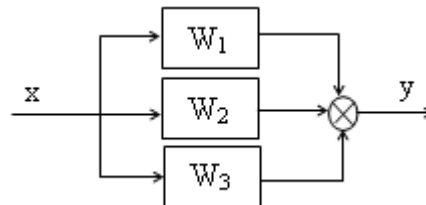
Рисунок 1.17 – Послідовне з'єднання ланок

При послідовному з'єднанні ланок загальна передаточна функція буде визначатися рівнянням: $W_{\text{заг}} = W_1 \cdot W_2 \cdot W_3 \dots$. Тобто при послідовному з'єднанні ланок їхні передаточні функції перемножуються.

Паралельне з'єднання ланок (рис.1.18).

$$W_{\text{об}} = W_1 + W_2 + W_3 + \dots$$

При паралельному з'єднанні ланок їхні передаточні функції сумуються.



1.18 – Паралельне з'єднання ланок

Зворотний зв'язок (за завданням) (рис.1.19).

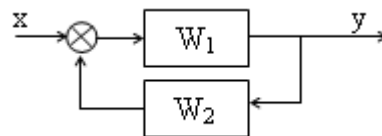


Рисунок 1.19 – Зворотний зв'язок

Передаточна функція за завданням (х) (рис.1.19) визначається як:

$$W_{\varphi}(s) = \frac{W_1}{1 \pm W_1 W_2}$$

«+» відповідає негативному зворотному зв'язку, «-» – позитивному.

Передаточні функції АСР.

Для дослідження та розрахунку структурну схему будь-якої АСР шляхом еквівалентних перетворень приводять до найпростішого стандартного виду «об'єкт – регулятор» (рис. 1.20). Це необхідно, по-перше, для того, щоб визначити математичні залежності в системі, по-друге, як правило, всі інженерні методи розрахунку та визначення параметрів

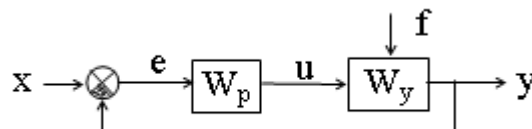


Рисунок 1.20 – Структурна схема АСР

настроювання регуляторів застосовні для такої стандартної структури. У загальному випадку будь-яка одномірна АСР із головним зворотним зв'язком шляхом поступового укрупнення ланок може бути наведена до такого виду.

Якщо вихідну величину системи y не подавати на її вхід, то ми одержимо розімкнуту систему регулювання, передаточна функція якої W_{∞} визначається як добуток:

$$W_{\infty} = W_p \cdot W_y$$

(W_p – передаточна функція регулятора, W_y - передаточна функція об'єкту управління). Тобто послідовність ланок W_p та W_y може бути замінена однією ланкою з передаточною функцією W_{∞} (рис. 1.21).

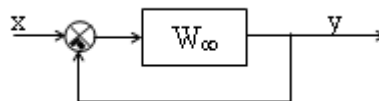


Рисунок 1.21 – Структурна схема розімкненої АСР

Передаточну функцію замкнутої системи прийнято позначати як $\Phi(s)$. Вона також може бути виражена через W_{∞} :

$$\Phi_3(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{W_{\infty}(s)}{1 + W_{\infty}(s)}$$

Дана передатна функція $\Phi_3(s)$ визначає залежність y від x і називається передаточною функцією замкнутої системи по каналу впливу, що задає (за завданням).

Для АСР існують також передатні функції по інших каналах:

$$\Phi_e(s) = \frac{E(s)}{X(s)} = \frac{1}{1 + W_\infty(s)} \quad \text{— за помилкою,}$$

$$\Phi_B(s) = \frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{W y(s)}{1 + W_\infty(s)} \quad \text{— за збуренням.}$$

Далі будемо розглядати тільки системи зі зворотним негативним зв'язком, оскільки вони використовуються в переважній більшості АСР.

Визначення параметрів передаточної функції об'єкту по перехідній кривій. Якщо є перехідна крива, то по неї можна визначити параметри передаточної функції об'єкту. Процес одержання передаточної функції об'єкту, виходячи з даних про перехідний процес, називається ідентифікацією об'єкту.

Припустимо, що при подачі на вхід деякого об'єкту сходящого сигналу була отримана перехідна характеристика (рис. 1.22). Потрібно визначити вид і параметри передаточної функції (K – коефіцієнт підсилення, T – постійна часу, (τ – запізнювання).

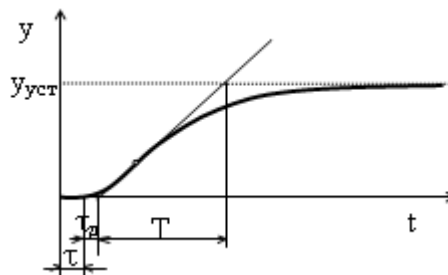


Рисунок 1.22 - Перехідна характеристика об'єкту

Припустимо, що передаточна функція має вигляд:

$$W(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-\tau s},$$

(інерційна ланка із запізнюванням).

Коефіцієнтом підсилення K називається величина, що показує, у скільки разів дана ланка підсилює вхідний сигнал (у сталому режимі), і дорівнює відношенню вихідної величини $y_{уст}$ в сталому режимі до вхідної величини x :

$$K = \frac{\overset{\circ}{\delta} \overset{\circ}{y}}{\overset{\circ}{\delta} x},$$

Стале значення вихідної величини $y_{уст}$ - це значення в при $t \rightarrow \infty$.

Запізнюванням τ називається проміжок часу від моменту зміни вхідної величини x до початку зміни вихідної величини y .

Постійна часу T може бути визначена декількома методами залежно від виду передаточної функції. Для розглянутої передатної функції 1-го порядку T визначається просто: спочатку проводиться дотична до точки перегину, потім визначають точки перетинання з віссю часу й асимптотою $y_{уст}$; час T визначається як інтервал часу між цими точками.

В випадку, якщо на графіку між точкою перегину є ввігнутість, визначається додаткове запізнювання $\tau_{дод}$, що додається до основного: $\tau = \tau + \tau_{дод}$.

5) Частотні характеристики

Динамічні процеси можуть бути представлені частотними характеристиками (ЧХ) шляхом розкладання функції в ряд Фур'є.

Амплітудно-частотною характеристикою (АФК) лінійної системи називається приватне значення передаточної функції для $s=i\omega$, що дорівнює:

$$W(i\omega) = \frac{\int_0^{\infty} y(t)e^{-i\omega t} dt}{\int_0^{\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt} = \frac{y(i\omega)}{x(i\omega)} = M(\omega)e^{-i\varphi(\omega)}$$

Припустимо, є деякий об'єкт і потрібно визначити його ЧХ. При експериментальному знятті ЧХ на вхід об'єкту подається синусоїдальний сигнал з амплітудою $A_{вх} = 1$ і деякою частотою ω (рис.1.23).

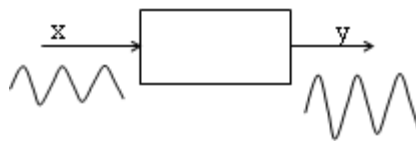


Рисунок 1.23 – Частотна характеристика об'єкту

Тобто $x(t) = A_{вх} \sin(\omega t) = \sin(\omega t)$.

Тоді після проходження перехідних процесів на виході ми будемо також мати синусоїдальний сигнал тієї ж частоти ω , але іншої амплітуди $A_{вих}$ і фази φ :

$$y(t) = A_{вих} \sin(\omega t + \varphi)$$

При різних значеннях ω величини $A_{вих}$ та φ , як правило, також будуть різними. Ця залежність амплітуди і фази від частоти називається частотною характеристикою. Існують різні види ЧХ:

- АФХ (амплітудно-фазова характеристика) – залежність амплітуди і фази від частоти (зображується на комплексній площині);
- АЧХ (амплітудно-частотна характеристика) – залежність амплітуди від частоти;
- ФЧХ (фазово-частотна характеристика) – залежність фази від частоти;
- ЛАХ, ЛАЧХ - логарифмічні АЧХ.

1.5 Типові математичні моделі структури потоків в апаратах

Залежно від виду математичних функцій розподілу все різноманіття математичних моделей потоків, що виникають у різних апаратах, може бути представлено у вигляді деяких типових моделей:

1) Модель ідеального витиснення (рис. 1.24)

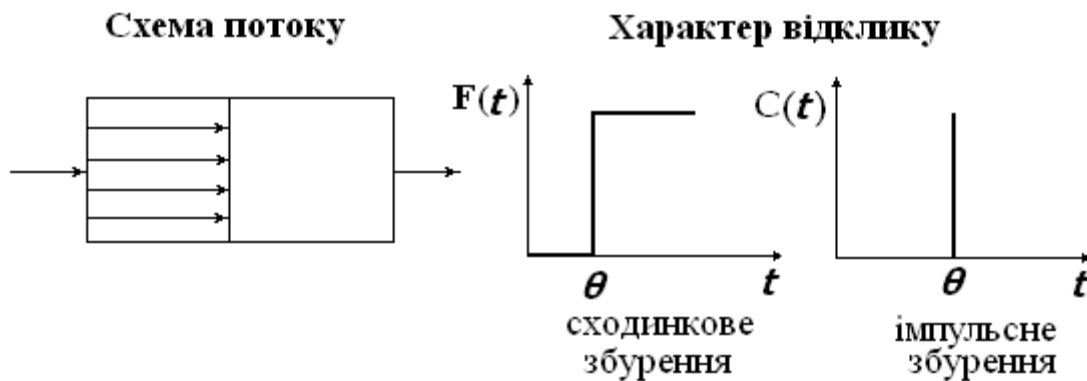


Рисунок 1.24 – Модель ідеального витиснення

Математичний опис моделі:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -w \frac{\partial c}{\partial x}$$

де c – концентрація субстанції (речовини або енергії); τ – час; w – лінійна швидкість потоку; x – координата.

Моделі ідеального витиснення відповідає ланка чистого запізнювання. $\Theta = \tau V c / V$, $V c$ – об'ємна швидкість потоку; V – об'єм системи; τ – даний час.

Відповідно до цієї моделі приймається поршневий плин без перемішування уздовж потоку при рівномірному розподілі субстанції в напрямку, перпендикулярному руху. Час перебування в системі всіх часток однаковий і дорівнює відношенню об'єму системи до об'ємної витрати рідини.

Моделі ідеального витиснення в першому наближенні відповідають процеси, що відбуваються в трубчастих апаратах при відношенні довжини труби до діаметру більше 20.

2) Модель ідеального змішування (рис. 1.25).

Математичний опис моделі:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = \frac{Vc}{V} (C_{вх} - C)$$



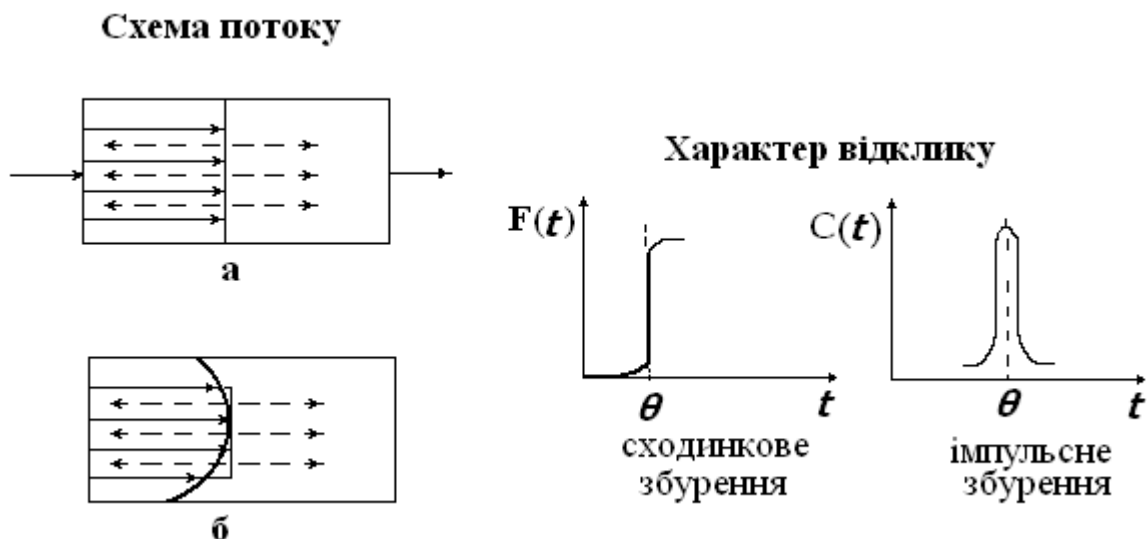
Рис. 1.25 – Модель ідеального змішування

Відповідно до цієї моделі приймається рівномірний розподіл субстанції у всьому потоці. Моделі ідеального змішування відповідає аперіодична ланка.

Моделі ідеального змішування відповідають процеси, що відбуваються в циліндричних апаратах зі сферичним днищем в умовах інтенсивного перемішування при наявності відбивних перегородок.

3) Дифузійна модель (рис. 1.26).

Розрізняють однопараметричну і двопараметричну дифузійні моделі.



а – однопараметрична ; б – двопараметрична
 Рисунок 1.26 – Дифузійні моделі витиснення

Математичний опис моделі:

- однопараметричної:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -\omega \frac{\partial c}{\partial x} + D_L \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

- двопараметричної:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -\frac{\partial c}{\partial x} + D_L \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{D_R}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial c}{\partial R} \right)$$

Однопараметричною моделлю є модель витиснення, ускладнена зворотним перемішуванням, що відповідає формальному закону дифузії. Параметром, що характеризує модель, служить коефіцієнт турбулентної дифузії (коефіцієнт поздовжнього перемішування) D_L .

При застосуванні однопараметричної дифузійної моделі приймають наступні допущення: зміна концентрації субстанції є безперервною функцією координати (відстані); концентрація субстанції в даному перетині є постійною; об'ємна швидкість потоку та коефіцієнт поздовжнього перемішування не змінюються по довжині і перетину потоку. D_L визначається дослідним шляхом.

У двопараметричній моделі враховується перемішування потоку в поздовжньому та радіальному напрямках. Модель характеризується коефіцієнтами поздовжнього D_L і радіального D_R перемішування. При цьому приймається, що величини D_L й D_R не змінюються по довжині та перетину апарата, а швидкість потоку є постійною.

4) Комірчаста модель (рис. 1.27).



Рисунок 1.27 – Комірчаста модель

Математичний опис моделі:

$$\frac{1}{m} \frac{\partial c}{\partial \tau} = \tau_n (C_{i-1} - C_i)$$

Основою моделі є припущення про ідеальне перемішування в межах комірок, розташованих послідовно, і відсутності перемішування між комірок. Модель характеризується числом комірок m .

При $m=1$ комірчаста модель переходить у модель ідеального змішування, а при $m=\infty$ – у модель ідеального витиснення.

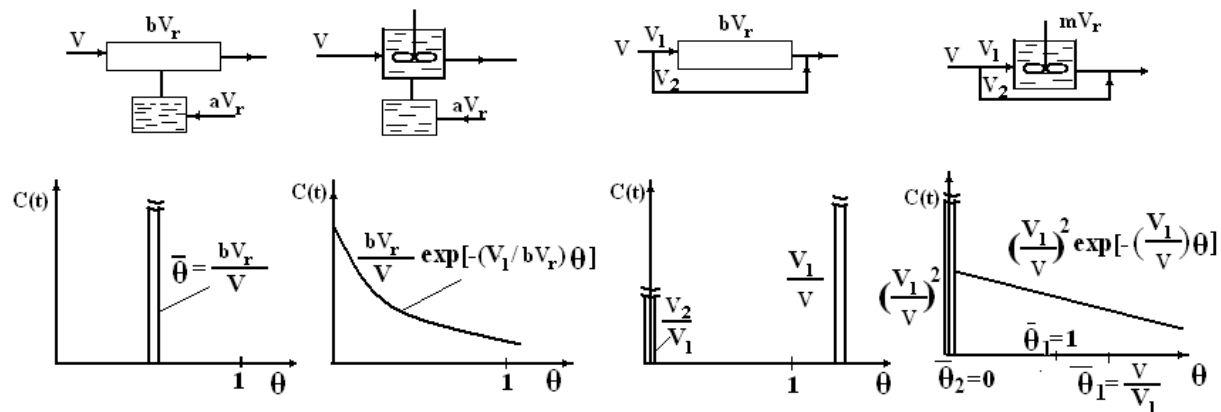
Комірчастій моделі відповідають послідовно з'єднані апарати з мішалками, абсорбційні та екстракційні колони при деяких гідродинамічних режимах, і, у першому наближенні, апарати із псевдорідинним шаром.

5) Комбіновані моделі.

Не всі реальні процеси вдається описати за допомогою розглянутих вище моделей. Зокрема, це ставиться до процесів, що включають байпасні і циркуляційні потоки, а також до процесів, що мають застійні зони. У таких випадках використовуються комбіновані моделі.

При побудові комбінованої моделі приймають, що апарат складається з окремих зон, з'єднаних послідовно або паралельно, у яких спостерігаються різні структури потоків: зона ідеального витиснення, зона ідеального змішування, зона з поздовжнім перемішуванням, застійна зона (рис. 1.28). Крім цього, можуть спостерігатися локальні потоки: байпасні, циркуляційний,

проковзуючи.



V, V_1, V_2 – об’ємні швидкості; V_r – об’єм реактора; m – частка зони змішування; b – частка зони витиснення; a – частка застійної зони

Рисунок 1.28 – Імпульсні вихідні криві деяких найпростіших комбінованих моделей

1.6 Якість процесів керування

1.6.1. Критерії стійкості

Важливим показником АСР є стійкість, оскільки основне її призначення полягає в підтримці заданого постійного значення регульованого параметру або зміна його за певним законом. При відхиленні регульованого параметра від заданої величини (наприклад, під дією збурення або зміни завдання) регулятор впливає на систему таким чином, щоб ліквідувати це відхилення. Якщо система в результаті цього впливу повертається у вихідний стан або переходить в інший рівноважний стан, то така система називається стійкою. Якщо ж виникають коливання із все зростаючою амплітудою або відбувається монотонне збільшення помилки e , то система називається нестійкою.

Для того, щоб визначити, стійка система чи ні, використовуються наступні критерії стійкості:

- 1) кореневий критерій,
- 2) критерій Стодоли,
- 3) критерій Гурвіца,
- 4) критерій Найквіста,
- 5) критерій Михайлова та інші.

Перші два критерії є необхідними критеріями стійкості окремих ланок і розімкнених систем. Критерій Гурвіца є

алгебраїчним і розроблений для визначення стійкості замкнутих систем без запізнювання. Останні два критерії ставляться до групи частотних критеріїв, оскільки визначають стійкість замкнутих систем по їхніх частотних характеристиках. Їхньою особливістю є можливість застосування до замкнутих систем із запізнюванням, якими є переважна більшість систем керування.

Кореневий критерій визначає стійкість системи по виду передаточної функції. Динамічною характеристикою системи, що описує основні поведінкові властивості, є характеристичний поліном, що перебуває в знаменнику передаточної функції.

Наприклад, операторне рівняння

$$3s^2Y(s) + 4sY(s) + Y(s) = 2sX(s) + 4X(s)$$

можливо перетворити шляхом винесення $X(s)$ и $Y(s)$ за дужки та поділивши одне на друге:

$$Y(s) \cdot (3s^2 + 4s + 1) = X(s) \cdot (2s + 4)$$

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{2s + 4}{3s^2 + 4s + 1}$$

Отриманий вираз називається передаточною функцією.

Передаточна функція є дробно-раціональною функцією комплексної змінної:

$$W(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_0 + b_1s + b_2s^2 + \dots + b_ms^m}{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ns^n}$$

де $B(s) = b_0 + b_1s + b_2s^2 + \dots + b_ms^m$ – поліном чисельника,
 $A(s) = a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ns^n$ – поліном знаменника.

Передаточна функція має порядок, який визначається порядком полінома знаменника (n). Шляхом прирівнювання знаменника до нуля можна одержати характеристичне рівняння, по коріннях якого визначити стійкість.

Корені характеристичного рівняння можуть бути як дійсні, так і комплексні, і для визначення стійкості відкладаються на комплексній площині (рис. 1.29).

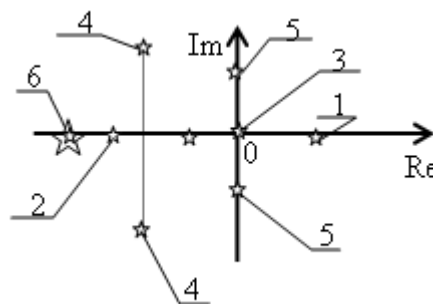


Рисунок 1.29 – Комплексна площина

Символом \star на рисунку позначені корені рівняння.

Види коренів характеристичного рівняння:

- Дійсні: позитивні (корінь № 1); негативні (2); нульові (3).
- Комплексні: комплексні сполучені (4); чисто мнимі (5).

За кратністю корені бувають: одиночні (1, 2, 3); сполучені (4, 5): $s_i = \alpha \pm j\omega$; кратні (6) $s_i = s_{i+1} = \dots$

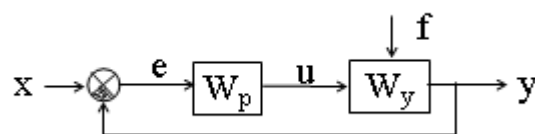
Кореневий критерій формулюється в такий спосіб:

Лінійна АСР є стійкою, якщо всі корені характеристичного рівняння лежать у лівій напівплощині. Якщо хоча б один корінь перебуває на мнимій вісі, що є границею стійкості, то говорять, що система перебуває на границі стійкості. Якщо хоча б один корінь перебуває в правій напівплощині (не залежно від числа коренів у лівій), то система є нестійкою.

Іншими словами, всі дійсні корені і дійсні частини комплексних коренів повинні бути негативними. У протилежному випадку система є нестійкою.

Критерій Стодоли є наслідком з попереднього критерію і формулюється в такий спосіб: Лінійна система стійка, якщо всі коефіцієнти характеристичного полінома позитивні. Тобто, для передаточної функції з вищенаведеного прикладу за критерієм Стодоли відповідає стійка система.

Критерій Гурвіца працює з характеристичним поліномом замкнутої системи. Як відомо, структурна схема АСР за помилкою має вигляд (рис.1.30):



W_p – передаточна функція регулятора; W_y – передаточна функція об'єкту керування.

Рисунок 1.30 – Структурна схема АСР за помилкою

Визначимо передаточну функцію для прямого зв'язку (передаточну функцію розімкнутої системи): $W_\infty = W_p W_y$.

Далі з урахуванням наявності негативного зворотного зв'язку одержуємо передаточну функцію замкнутої системи:

$$W_\zeta(s) = \frac{W_\infty}{1 + W_\infty}$$

Як правило, передаточна функція розімкнутої системи має дрібно-раціональний вигляд:

$$W_{\infty}(s) = \frac{B(s)}{A(s)}.$$

Тоді після підстановки і перетворення одержуємо:

$$W_{\varphi}(s) = \frac{B(s)}{A(s) + B(s)}.$$

Звідси витікає, що характеристичний поліном замкнутої системи (ХПЗС) можна визначити як суму чисельника і знаменника (W_{∞}):

$$D_{\Sigma}(s) = A(s) + B(s).$$

Для визначення стійкості за Гурвіцем будується матриця таким чином, щоб по головній діагоналі були розташовані коефіцієнти ХПЗС із a_{n+1} по a_0 . Праворуч і ліворуч від неї записуються коефіцієнти з індексами через 2 ($a_0, a_2, a_4 \dots$ або $a_1, a_3, a_5 \dots$). Тоді для стійкої системи необхідно й достатньо, щоб визначник і всі головні діагональні мінори матриці були більше нуля. Якщо хоча б один визначник буде дорівнює нулю, то система буде перебувати на границі стійкості.

Якщо хоча б один визначник буде негативний, то система є нестійкою незалежно від числа позитивних або нульових визначників.

Приклад. Дана передаточна функція розімкнутої системи

$$W_{\infty}(s) = \frac{2s^3 + 9s^2 + 6s + 1}{2s^4 + 3s^3 + s^2} = \frac{B(s)}{A(s)}.$$

Треба визначити стійкість замкнутої системи за критерієм Гурвіца.

Для цього визначається ХПЗС:

$$D(s) = A(s) + B(s) = 2s^4 + 3s^3 + s^2 + 2s^3 + 9s^2 + 6s + 1 = 2s^4 + 5s^3 + 10s^2 + 6s + 1.$$

Оскільки ступінь ХПЗС дорівнює $n = 4$, то матриця буде мати розмір 4×4 . Коефіцієнти ХПЗС дорівнюють $a_4 = 2, a_3 = 5, a_2 = 10, a_1 = 6, a_0 = 1$.

Матриця має вигляд:

$$\begin{pmatrix} 5 & 6 & 0 & 0 \\ 2 & 10 & 1 & 0 \\ 0 & 5 & 6 & 0 \\ 0 & 2 & 10 & 1 \end{pmatrix}$$

(зверніть увагу на схожість строк матриці: 1 с 3 і 2 с 4).

Визначальники:

$$\Delta_1 = 5 > 0,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 5 & 6 \\ 2 & 10 \end{vmatrix} = 5 * 10 - 2 * 6 = 38 > 0,$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 5 & 6 & 0 \\ 2 & 10 & 1 \\ 0 & 5 & 6 \end{vmatrix} = (5 * 10 * 6 + 6 * 1 * 0 + 2 * 5 * 0) -$$

$$- (0 * 10 * 0 + 5 * 5 * 1 + 2 * 6 * 6) = 209 > 0$$

$$\Delta_4 = 1 * \Delta_3 = 1 * 209 > 0.$$

Оскільки всі визначальники є позитивними, АСР є стійкою.

Критерій Михайлова. Описані вище критерії стійкості не працюють, якщо передаточна функція системи має запізнювання, тобто може бути записана у вигляді

$$W_\infty(s) = \frac{B(s)}{A(s)} e^{-\tau s},$$

де (τ – запізнювання).

У цьому випадку характеристичний вираз замкнутої системи не є поліномом і його корінь визначити неможливо. Для визначення стійкості в цьому випадку використовуються частотні критерії Михайлова та Найквіста.

Існує певний порядок застосування критерію Михайлова:

1) Записується характеристичний вираз замкнутої системи:

$$D_3(s) = A(s) + B(s)e^{-\tau s}.$$

2) Підставляється $s = j\omega$: $D_3(j\omega) = \text{Re}(\omega) + \text{Im}(\omega)$.

3) Записується рівняння годографа Михайлова $D_3(j\omega)$ і будується крива на комплексній площині.

Для стійкої АСР необхідно та достатньо, щоб годограф Михайлова (рис.1.31), починаючись при $\omega = 0$ на позитивній дійсній півосі, обходив послідовно в позитивному напрямку (проти годинної стрілки) при зростанні ω від 0 до ∞ n квадрантів, де n – ступінь характеристичного полінома.

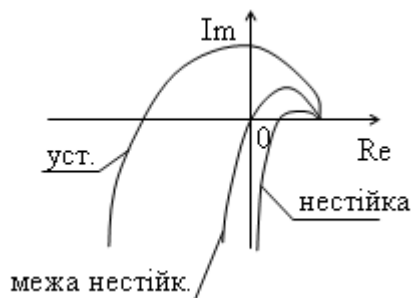


Рисунок 1.31 – Годограф Михайлова

Якщо годограф Михайлова проходить через початок координат, то говорять, що система перебуває на межі стійкості.

Критерій Найквіста. Даний критерій аналогічний критерію Михайлова, але працює з АФХ системи, тому більше складний для розрахунків.

Послідовність застосування критерію Найквіста:

1) Визначається передаточна функція розімкнутої системи

$$W_{\infty}(s) = \frac{B(s)}{A(s)}.$$

2) Визначається число правих коренів m .

3) Підставляється $s = j\omega$: $W_{\infty}(j\omega)$.

4) Будується АФХ розімкнутої системи.

Для стійкості АСР необхідно і достатньо, щоб при збільшенні ω від 0 до ∞ АФХ $W_{\infty}(j\omega)$ m разів охоплювала точку $(-1; 0)$, де m – число правих коренів розімкнутої системи (рис.1.32).

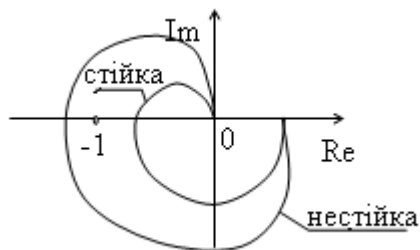


Рисунок 1.32 – Годограф

Якщо АФХ проходить через точку $(-1; 0)$, то замкнута система перебуває на межі стійкості.

У випадку, якщо характеристичне рівняння розімкнутої системи $A(s) = 0$ коренів не має (тобто $m = 0$), то замкнута система є стійкою, якщо АФХ розімкнутої системи $W_{\infty}(j\omega)$ не охоплювала точку $(-1; 0)$. У протилежному випадку система буде нестійкою (або на межі стійкості).

1.6.2. Показники якості

Якщо досліджувана АСР є стійкою, то може виникнути питання про те, наскільки якісно відбувається регулювання в цій системі і чи задовольняє воно технологічним вимогам. На практиці якість регулювання може бути визначена візуально за графіком перехідної кривої, однак, є більш точні методи, які дають конкретні числові значення.

Показники якості розбиті на 4 групи:

- 1) прямі, що визначаються безпосередньо по кривій перехідного процесу;
- 2) кореневі, що визначаються по коренях характеристичного поліному;
- 3) частотні, що визначаються за частотними характеристиками;
- 4) інтегральні, що одержують шляхом інтегрування функцій.

Прямі показники якості. До них відносяться: ступінь загасання ψ , перерегулювання σ , статична помилка $e_{ст}$, час регулювання t_p та інші, що визначаються за перехідною кривою.

Припустимо, перехідна крива, знята на об'єкті, має коливальний вигляд (рис. 1.33).

Відразу по ній визначається стале значення вихідної величини $u_{стал}$, коли коливання практично відсутні.

Ступінь загасання ψ визначається за формулою:

$$\Psi = 1 - \frac{A_3}{A_1},$$

де A_1 й A_3 - відповідно 1-а та 3-а амплітуди перехідної кривої.

Перерегулювання визначається як відношення першої амплітуди перехідної кривої та $\sigma = \frac{A_1}{u_{стал}} = \frac{u_{max} - u_{стал}}{u_{стал}}$, де u_{max} - максимум перехідної кривої.

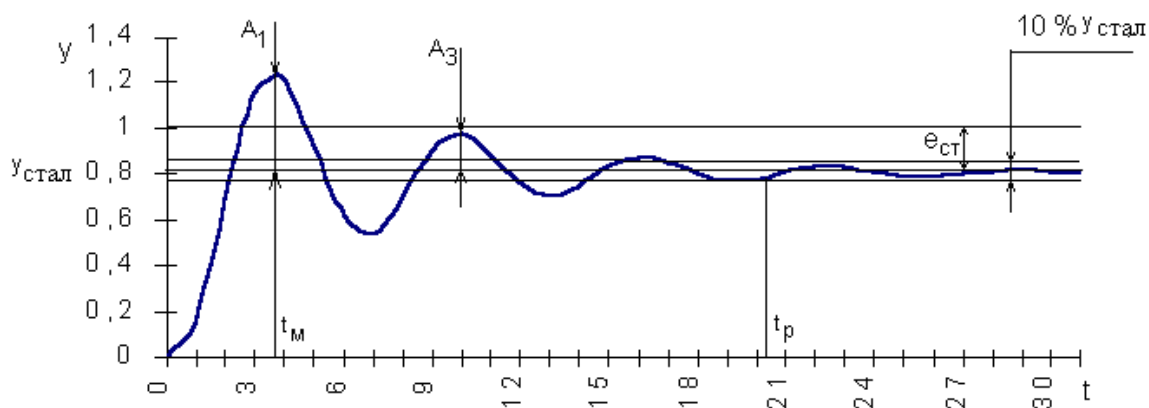


Рисунок 1.33 – Перехідна крива

Статична помилка $e_{ст} = x - y_{стал}$, де x – вхідна величина.

Час досягнення першого максимуму t_M визначається за графіком.

Час регулювання t_p визначається в такий спосіб: визначається припустиме відхилення $\Delta = 5\% y_{стал}$ і будується «трубка» завтовшки 2Δ . Час регулювання t_p відповідає останній точці перетинання $y(t)$ з даною границею. Тобто t_p – час, коли коливання регульованої величини перестають перевищувати 5 % від сталого значення.

Кореневі показники якості. До них відносяться: ступінь коливання m , ступінь стійкості та інші.

Кореневі показники якості не потребують побудови перехідних кривих, оскільки визначаються по коріннях характеристичного поліному. Для цього корені поліному відкладають на комплексній площині і по них визначаються ступінь коливання та ступінь стійкості.

Ступінь стійкості η визначається як границя, справа якої коренів не має, тобто

$$\eta = \min |\operatorname{Re}(s_i)| ,$$

де $\operatorname{Re}(s_i)$ - дійсна частина кореня s_i .

Ступінь коливання m розраховується через кут γ : $m = \operatorname{tg}\gamma$. Для визначення проводяться два промені, які обмежують всі корені на комплексній площині. γ – кут між цими променями та мнімою віссю. Ступінь коливання може бути визначена також за формулою:

$$m = \min \left| \frac{\operatorname{Re}(s_i)}{\operatorname{Im}(s_i)} \right|.$$

Частотні показники якості. Для визначення частотних показників якості потрібне побудова АФХ розімкнутої системи та АЧХ замкнутої системи (рис.1.34).

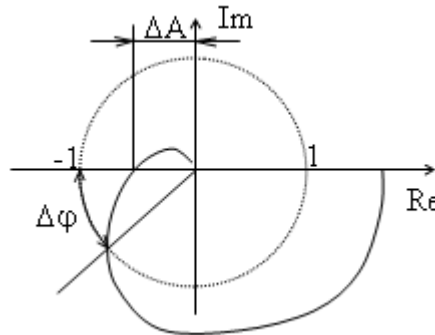


Рисунок 1.34 – Частотні характеристики системи

По АФХ визначаються запаси: ΔA - по амплітуді, $\Delta \varphi$ - по фазі. Запас ΔA визначається по точці перетинання АФХ із негативною дійсною піввіссю.

Для визначення $\Delta \varphi$ будується окружність одиничного радіусу із центром на початку координат. Запас $\Delta \varphi$ визначається по точці перетинання із цією окружністю.

Зв'язок між показниками якості. Описані вище показники якості зв'язані між собою певними співвідношеннями:

$$\Psi = 1 - e^{-2\pi m}; \quad t_p = \frac{3}{\eta}; \quad \Psi = 1 - M^{-\frac{\pi}{m}}; \quad M = \frac{m^2 + 1}{2m}.$$

1.7 Аналогові регулятори

Для формування закону керування, по-перше будують динамічну модель; по-друге – будують структурну схему керування, і, у треті – підбирають технічні засоби автоматичного керування.

Динамічна модель служить для визначення динамічних характеристик системи: часу запізнювання (τ), постійної часу (T), коефіцієнту передачі об'єкту ($K_{об}$) – це відношення одиниці виміру вихідної величини до проценту ходу регулюючого органу: $K_{об} = \frac{y_{\infty} - y_0}{\Delta x}$.

Після знаходження динамічних характеристик виявляють регульовані величини. У якості регульованих величин вибирають

вихідні величини, що найбільше повно характеризують хід технологічного процесу і стан об'єкту. Зазначені величини мають насамперед охоплювати такі параметри як продуктивність об'єкту, якість вироблюваного продукту, економічність процесу. Регульованими можуть бути фізико-хімічні величини, вимірювані безпосередньо, і зведені показники, які безупинно та автоматично обчислюються за результатами декількох вимірів.

У якості регулюючих дій зазвичай вибирають вхідні величини об'єкту. Змінюючи значення цих дій, компенсують збурювання технологічного режиму та підтримують необхідні значення регульованих величин.

Виявлені регульовані величини та регулюючі дії дозволяють перейти до вибору необхідних засобів автоматичного регулювання, тобто до вибору закону регулювання, і, відповідно, типу регулятора та його налаштувань.

Закон регулювання, по якому працює регулятор, представляється у вигляді так званого рівняння регулятора, що показує зв'язок у часі між відхиленням регульованої величини від заданого значення y і переміщенням регулюючого органа x , яким даний регулятор управляє.

І фізичний процес і регулятор являють собою динамічні системи, які можна описати диференціальними рівняннями або передаточними функціями. Математично сам процес і його регулятор описуються однаково. Однак, із практичної точки зору між ними є істотна різниця. Передаточна функція $W(s)$ фізичного процесу або його рівняння стану вважаються незмінними, тобто коефіцієнти рівнянь

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu \quad \text{і} \quad W(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_0 + b_1s + b_2s^2 + \dots + b_ms^m}{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ns^n}$$

не можуть змінюватися, тому що вони є фізичною природою процесу. З іншого боку передаточна функція процесу або рівняння стану для регулятора включають коефіцієнти, які можна обирати певною мірою довільно. Завданням проектування регулятора є саме визначення цих параметрів.

У найпростішому випадку вхідний сигнал регулятора – це помилка вихідної величини фізичного процесу: $e(t) = u(t) - y(t)$. Для роботи з передаточними функціями використовується перетворення Лапласа. Застосовуючи перетворення Лапласа для помилки, отримаємо:

$$E(s) = U(s) - Y(s).$$

Передаточна функція регулятора $W_{REG}(s)$ визначається як відношення вихідної величини регулятора $U(s)$ і вхідної помилки $E(s)$.

$$U(s) = W_{REG}(s) \cdot E(s) = W_{REG}(s) [U_c(s) - Y(s)]$$

Це найпростіший випадок керування зі зворотним зв'язком (рис.1.35).

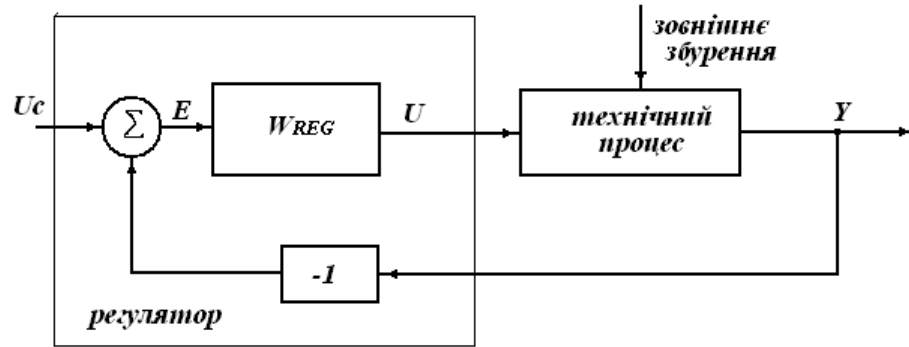


Рисунок 1.35 – Структура найпростішого регулятора

З математичної точки зору передаточна функція $W_{REG}(s)$ розглядається точно також, як будь-яка передаточна функція процесу $W(s)$ з тією різницею, що коефіцієнти передаточної функції регулятора можна змінювати. Проектувальник системи керування повинен підібрати параметри управління так, щоб замкнута система – фізичний процес і регулятор працювала відповідно до встановлених вимог. Замкнута система, зображена на рис. 1.35, має передатну функцію

$$W_c(s) = \frac{Y(s)}{U_c(s)} = \frac{W_{REG} \cdot W(s)}{1 + W_{REG} \cdot W(s)}$$

Очевидно, що чим більше параметрів містить $W_{REG}(s)$, тим більше ступенів свободи має регулятор. Шляхом настроювання цих параметрів, поведінку передаточної функції замкнутої системи можна змінювати в широких межах.

Слід зазначити, що найпростіша система керування, наведена вище, реагує тільки на помилку $e(t)$ і не використовує окремо два вхідних сигнали – опорне значення і вихідний параметр процесу. Однак помилка може виникнути по двох причинах, одна з яких – зміна опорного або задаючого сигналу, $u_c(t)$, а друга – зміна навантаження або яке-небудь інше збурення в системі, що викликає зміну вихідного сигналу $y(t)$. Зміна опорного значення – це відоме збурювання. Якщо регулятор може використати відповідну інформацію, то це дозволить поліпшити характеристики замкнутої

системи – фізичний процес і регулятор. У цьому полягає зміст керування, що упереджає.

Всі типи дій, що упереджають, базуються на деяких припущеннях відносно майбутнього поведіння системи, і отже, вони повинні мати так названу здатність передбачення. Тобто регулятор повинен містити в собі модель динаміки технічної системи. Механізм упередження вимагає, щоб зміна навантаження (збурення) вимірювалися. Якщо збурення не можна виміряти безпосередньо, його значення необхідно або оцінити, або виміряти яким-небудь образом побічно.

Якість керування, що упереджає, у значній мірі залежить від якості виміру збурювань і точності моделі процесу. Будь який реальний регулятор повинен сполучати в собі керування, що упереджає, за опорним значенням і збуренням з контуром зворотного зв'язку. Дія, що упереджає, забезпечує швидку корекцію помилок вхідного параметра процесу, обумовлених зміною опорного значення або збуренням, а зворотний зв'язок – більш повільну реакцію на зміну виходу процесу. Головна перевага зворотного зв'язку в тім, що вона компенсує неточності моделі процесу, погрішності вимірів і помилки вихідної величини, пов'язані з неврахованими збурюваннями.

1.7.1. Типи регуляторів

На практиці за допомогою апроксимації динамічних характеристик об'єктів типовими залежностями розмаїтість необхідних алгоритмів регулювання можна звести до декількох типових законів (алгоритмів).

Закон регулювання — це математична залежність, за допомогою якої визначається регулююча дія $u(t)$ по сигналу неузгодженості $e(t)$. За характером зміни регулюючого впливу розрізняють лінійні та нелінійні, дискретні і безперервні закони регулювання. Найбільше застосування мають типові лінійні закони регулювання: пропорційний (П), інтегральний (І), пропорційно-інтегральний (ПІ), пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД). Ці регулятори, що працюють за даними законами, називають, відповідно, П-, І-, ПІ-, ПІД-регуляторами.

Регулятор (P) — автоматичний пристрій, що реагує на відхилення параметра регулювання від заданого значення і змінює

подачу речовини або енергії в об'єкт для підтримки рівноважного стану. Регулятор складається з вимірювального і керуючого пристроїв, виконавчого механізму, регулювального органа і лінії зв'язку.

Автоматичні регулятори (АР) розрізняють за видом параметра регулювання, видом енергії, за видом джерела енергії, законом регулювання, числом вимірюваних параметрів, числом регулюючих дій, конструкційними особливостями та іншими ознаками.

1. За видом параметра регулювання розрізняють регулятори температури, тиску, витрати, рівня, складу, властивостей речовини, тощо. Специфічні особливості при цьому зберігають тільки вимірювальні перетворювачі.

2. За видом енергії для формування керуючої дії регулятори поділяються на електричні, пневматичні, гідравлічні і комбіновані. Комбіновані регулятори поєднують переваги електро-, пневмо- або гідравлічних пристроїв.

3. За видом джерела енергії для формування керуючого впливу існують регулятори прямої і непрямой дії. Регулятори прямої дії працюють за рахунок енергії, що відбирається від ОУ, а регулятори непрямой дії — за рахунок енергії зовнішнього джерела.

4. За законами регулювання регулятори поділяються на пропорційні (П), інтегральні (І), диференціальні (Д) і комбіновані (ПІ, ПД, ПІД).

5. За числом регулюючих впливів регулятори поділяються на одноканальні і багатоканальні.

6. За кількістю сигналів, що надходять на вхід регулятора від виконавчого пристрою (ВП), розрізняють одноімпульсні, двоімпульсні і так далі.

7. За конструкційними ознаками регулятори поділяються на апаратні, приладові, агрегатні і модульні.

Регулятори апаратного типу складаються із двох самостійних блоків – вимірювального і формуючого. У вимірювальному блоці сигнал від ВП порівнюється із сигналом завдання і отриманий сигнал непогодження підсилюється за потужністю. У формуючому блоці формується керуюча дія відповідно до сигналу непогодження, а наявність двох приладів, один із яких виконує функцію контролю, а іншій – функції регулювання, забезпечує підвищення надійності САР.

Регулятори приладового типу не мають безпосереднього зв'язку з первинним ВП і функціонують тільки в комплекті із вторинними вимірювальними приладами або мікропроцесорною системою (МПС). У приладі (або МПС) відбувається порівняння завдання з фактичним значенням величини регулювання, сформований сигнал непогодження подається в регулятор (або МПС). При використанні МПС значно скорочуються лінії (канали) зв'язку.

Регулятори агрегатного (блочного) і модульного (елементного) типу складаються відповідно з уніфікованих блоків або модулів, кожний з яких виконує найпростіші операції. Це забезпечує широкі можливості при створенні регуляторів з різними функціональними особливостями.

За характером зв'язку між вхідною і вихідною величинами регулятори поділяються на регулятори безперервної та дискретної дії. Відповідно до класифікації САР, регулятори поділяються на програмні, стабілізуючі, слідкуючі та екстремальні.

За структурою розрізняють регулятори з фіксованою і змінною структурою. Регулятори з фіксованою структурою не змінюють свою структуру при зміні характеристик ОУ, а регулятори зі змінною структурою змінюють їх при зміні характеристик об'єкта.

Коефіцієнти і постійні часу, що входять у закони, називають параметрами настроювання (уставками), які дозволяють забезпечити необхідний характер перехідного процесу регулювання для об'єктів з різними динамічними властивостями. Крім органів настроювання, що входять у закон регулювання і безпосередньо впливають на параметри, регулятори мають органи настроювання, що побічно впливають на режим роботи САР, такі, як чутливість регулятора, демпфірування вхідного сигналу і інші.

П-регулятор (пропорційний регулятор) має наступний закон регулювання:

$$x = K_p y,$$

де x – вихідна величина регулятора (положення регулюючого органу або виконавчого механізму); y – вхідна величина (відхилення регульованої величини від заданої); K_p – коефіцієнт передачі регулятора.

Настроювання регулятора полягає в зміні величини K_p .

$$W_{\Pi}(s) = K_1.$$

Принцип дії регулятора полягає в тому, що П-регулятор виробляє керуючу дію на об'єкт пропорційно величині помилки (чим більше помилка e , тим більше керуючий вплив u).

I-регулятор (інтегруючий регулятор) має наступний закон регулювання:

$$x = K_{p1} \int y dt,$$

K_{p1} - коефіцієнт передачі регулятора, що характеризує швидкість спрацьовування його виконавчого механізму при даному відхиленні y .

$$W_{И}(s) = \frac{K_0}{s}.$$

Керуюча дія пропорційна інтегралу від помилки. Настроювання регулятора полягає в зміні величини K_{p1} .

Д-регулятор (диференційний регулятор)

$$W_{Д}(s) = K_2 s.$$

Д-регулятор генерує керуючу дію тільки при зміні регульованої величини:

$$u = K_2 \frac{de}{dt}.$$

На практиці вищезгадані найпростіші регулятори комбінуються в регулятори виду, що наведені нижче.

ПІ-регулятор (рис.1.36) (пропорційно-інтегральний регулятор) має закон регулювання, що сполучає закони для П- і І-регуляторів:

$$x = K_p y + K_{p1} \int y dt = K_p \left(y + \frac{1}{T_i} \int y dt \right),$$

де T_i – час ізодрому.

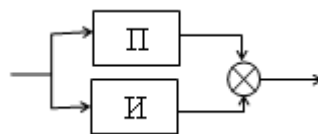


Рисунок 1.36 – ПІ-регулятор

Настроювання регулятора полягає в зміні величини K_p і часу ізодрому T_i .

Передаточна функція ПІ-регулятора:

$$W_{ПИ}(s) = K_1 + \frac{K_0}{s}.$$

ПД-регулятор (пропорційно-диференційний регулятор) (рис.1.37)

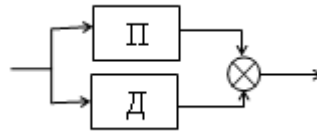


Рисунок 1.37 – ПД-регулятор

Передаточна функція ПД-регулятора:

$$W_{\text{ПД}}(s) = K_1 + K_2 s.$$

ПД-регулятор (пропорційно-інтегрально-диференційний) має закон регулювання, що сполучає закон ПІ-регуляторів з впливом по першій похідній (з упередженням):

$$x = K_p y + K_{p1} \int y d\tau + K_{p2} \frac{\partial y}{\partial \tau} = K_p \left(y + \frac{1}{T_i} \int y d\tau + T_y \frac{\partial y}{\partial \tau} \right),$$

де K_{p2} – коефіцієнт передачі регулятора з урахуванням упередження (випередження), $T_y = K_{p2}/K_p$ – час упередження. Настроювання цього типу регулятора полягає в зміні величини K_p , часу ізодрому T_i та часу упередження T_y .

Передаточна функція ПД-регулятора:

$$W_{\text{ПД}}(s) = K_1 + \frac{K_0}{s} + K_2 s.$$

На рис. 1.38 представлені криві розгону при нанесенні сходинкового збурення для представлених вище регуляторів і для реальних промислових регуляторів.

Вид і закон регулювання для САР вибирають на підставі заданих вимог до якості регулювання і величин динамічних параметрів об'єктів регулювання. Відповідно до спрощеної інженерної методики можна вибрати вид регулювання системи залежно від динамічних властивостей об'єкту регулювання: часу чистого запізнювання τ або постійної часу об'єкту регулювання T_0 , тобто $K\tau = \tau/T_0$, що називається коефіцієнтом відносного запізнювання об'єкту регулювання.

При $K\tau < 0,2$ рекомендується двопозиційне регулювання, при $0,2 \leq K\tau \leq 1,0$ — безперервне регулювання, при $K\tau > 1,0$ — імпульсне регулювання.

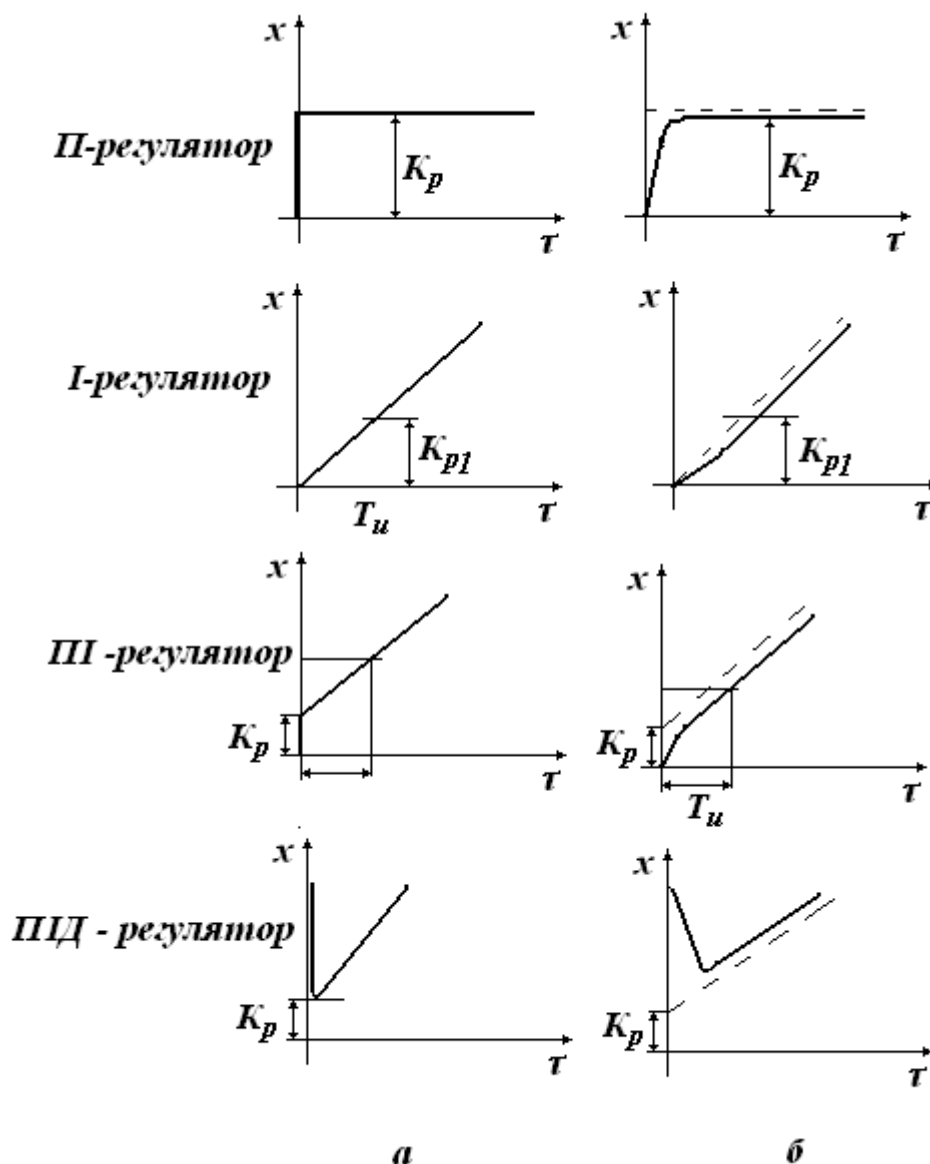
Закон регулювання можна також вибрати на підставі взаємозв'язку $K\tau$ і Rq (величини динамічного коефіцієнту регулювання).

$$Rq = y_1/y_\infty,$$

де y_1 , — максимально припустима динамічна помилка; y_∞ — стале значення регульованого параметра без регулятора).

Для найбільше широко застосовуваного типового перехідного процесу регулювання з 20%-вим перерегулюванням, на підставі розрахованих величин $K\tau$ і Rq можна за графіком (рис. 1.39), що характеризує залежність $K\tau$ і Rq , попередньо визначити один з найбільш прийнятних законів регулювання.

Наприклад, при $K\tau = 0,5$ і $Rq = 0,25$ можна попередньо визначити точку А, відповідно до якої попередній закон регулювання є ізодромним. Аналогічні графічні залежності є й для інших типових законів регулювання.



а – ідеальні регулятори; б – реальні регулятори
Рисунок 1.38 – Криві розгону типових регуляторів

Після попереднього визначення закону регулювання проводиться його уточнення за часом перехідного процесу

регулювання t_p і графікам, що характеризують залежність t_p/τ від $K\tau$.

При виборі регулятора, параметрів його настроювання, закону регулювання та аналізі якості регулювання з урахуванням статичних і динамічних характеристик об'єкту доцільно використати математичні моделі, тобто математичні абстракції, що характеризують систему регулювання, у яких використовують символічні і іконографічні форми математичного опису.

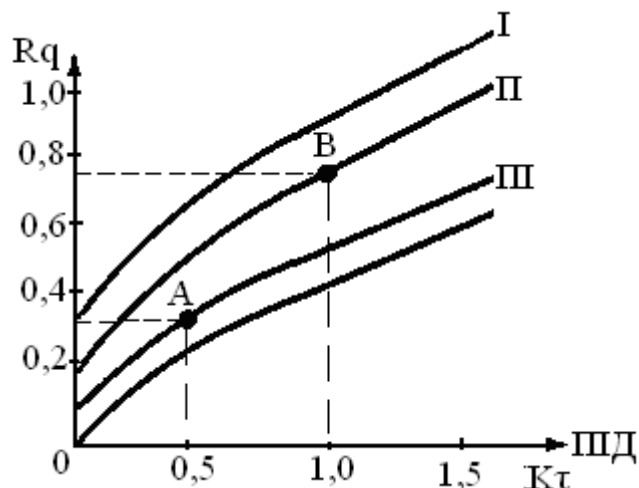


Рисунок 1.39 – Графік взаємозв'язку $K\tau$ і Rq

У якості прикладу ПІД регулятора можливо навести мікропроцесорний терморегулятор МТР-44 виробництва фірми МІКРОЛ (м. Івано-Франківськ, Україна), що використовується для управління процесом нагріву (охолодження) в печах, термопластавтоматів, процесами підтримки вологості, тощо.

Зовнішній вигляд регулятора представлений на рис. 1.40.



Рисунок 1.40 – Мікропроцесорний терморегулятор МТР-44

Галузь застосування таких регуляторів – системи промислової автоматики, видалені устрої зв'язку з об'єктом з індикацією, розподільні та локальні системи управління, видалене збирання даних, диспетчерський контроль, управління виробництвом.

Для оцінки регулювання об'єкту використається відношення τ/T_0 — ступінь труднощів регулювання об'єкта. (τ – час запізнювання; T_0 – час, протягом якого регульований параметр змінюється з постійною швидкістю від нуля до номінального значення). Ця величина дорівнює перехідному відхиленню регульованого параметра в відсотках від заданого значення, при цьому величина зовнішньої регулюючої дії становить 1% від діапазону регулювання (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Ступінь складності регулювання об'єкту

Діапазон ступеня труднощів регулювання об'єкта	Характеристика об'єкту
0 - 0,1	Дуже добре регульований
0,1 - 0,2	Добре регульований
0,2 - 0,4	Ще регульований
0,4 - 0,8	Важко регульований
0,8	Дуже важко регульований

Найбільш часто використовується ПД-регулятор, оскільки він сполучає в собі переваги всіх трьох вищеназваних типових регуляторів. ПД-регулятор виробляє вихідний сигнал, що є сумою трьох складових: пропорційного регулювання, регулювання за інтегралом і регулювання за похідною.

Рівняння класичного ПД – регулятора має вигляд:

$$u(t) = u_0 + K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \right] = u_0 + u_p(t) + u_i(t) + u_D(t)$$

де K – посилення регулятора, T_i – постійна часу інтегрування, T_d – постійна часу диференціювання, u_0 – поправочне значення або зсув, що настроює середній рівень вихідного сигналу регулятора.

Коефіцієнти K , T_i , і T_d можна настроїти – найчастіше за допомогою ручок на панелі управління регулятора.

Перша частина рівняння $u_p(t)$ пропорційна помилці вихідної величини, тобто - різниці між вихідною величиною і опорним значенням. Друга частина $u_i(t)$ пропорційна інтегралу за часом

помилки вихідної величини, а третя частина $u(t)$ – похідній помилки.

1.7.2. Визначення оптимальних налаштувань регулятора

Регулятор, включений в АСР, може мати кілька налаштувань, кожна з яких може змінюватися в досить широких межах. При цьому, при певних значеннях налаштувань система буде управляти об'єктом відповідно до технологічних вимог, при інших – може привести до нестійкого стану. Тому завданням є визначити налаштування, що відповідають стійкій системі, і вибрати з них оптимальні.

Оптимальними налаштуваннями регулятора є налаштування, які відповідають мінімуму (або максимуму) якого-небудь показника якості. Вимоги до показників якості встановлюються безпосередньо, виходячи з технологічних вимог. Найчастіше накладаються вимоги на час регулювання (мінімум) і ступінь загасання ($\Psi \geq \Psi_{\text{зад}}$).

Однак, змінюючи налаштування таким чином, щоб збільшити ступінь загасання, ми можемо прийти до занадто великого часу регулювання, що недоцільно. І, навпаки, прагнучи зменшити час регулювання, ми одержуємо коливальні процеси з більшим значенням Ψ .

Залежність Ψ від t_p у загальному випадку має вигляд, зображений на графіку (рис. 1.41).



Рисунок 1.41 – Залежність Ψ від t_p

Тому для визначення оптимальних налаштувань розроблений ряд математичних методів, серед яких так званий метод D-розбивання.

Кривою D-розбивання називається крива в площині налаштувань регулятора, що відповідає певному значенню якого-небудь показника якості.

Наприклад, для ІІІ-регулятора крива D-розбивання може мати вигляд представлений на рисунку 1.42.

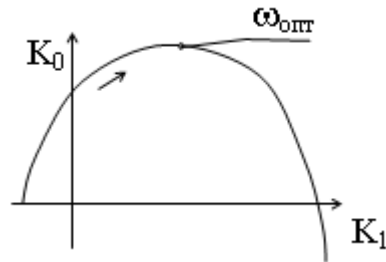


Рисунок 1.42 – Крива D-розбивання для ІІІ-регулятора

Оптимальні настроювання відповідають максимальному значенню K_0 (для ІІІ- і ІІІД-регуляторів) або K_1 (для ІІД-регулятора).

Контрольні тестові завдання до глави 1

1. Регульований параметр – це:

- а) значення регульованої величини;
- б) параметр технологічного процесу, який необхідно підтримувати постійним або змінювати по певному закону;
- в) значення регульованої величини в даний момент часу

2. Дія, що управляє – це дія:

- а) пристрою, що управляє, на об'єкт управління;
- б) на систему, що визначає закон зміни регульованої величини;
- в) управління, здійснюване без участі людини

3. Статичні автоматичні системи – це системи, у яких:

- а) немає однозначній залежності між вхідною і вихідною дією;
- б) є однозначна залежність між вхідною і вихідною дією;
- в) дотримується уніфікація сигналів

4. Астатичні автоматичні системи – це системи, у яких:

- а) немає однозначній залежності між вхідною і вихідною дією;
- б) є однозначна залежність між вхідною і вихідною дією;
- в) дотримується уніфікація сигналів

5. Перехідним процесом називається:

- а) процес, при якому помилка управління прагне до нуля;
- б) перехід системи від одного сталого режиму до іншого при яких-небудь діях;

в) перенесення кількості руху

6. Операція перетворення по Лапласу полягає в:

а) заміні диференціального рівняння на лінійне;

б) заміні функцій речового змінного функціями комплексного змінного;

в) заміні функцій їх зображеннями

7. Передаточною функцією називається:

а) відношення зображення вихідної дії до зображення вхідної за нульових початкових умов;

б) відношення зображення вихідної дії до зображення вхідної за ненульових початкових умов;

в) вхідні і вихідні змінні і їх зв'язки

8. Аперіодичної ланці відповідає передаточна функція:

а) $W(s) = K \cdot s$;

б) $W(s) = Ks / (Ts + 1)$;

в) $W(s) = K / (Ns + 1)$

9. Передаточна функція об'єкту при послідовному з'єднанні має вигляд:

а) $W_{об} = W_1 \cdot W_2 \cdot W_3$;

б) $W_{об} = W_1 + W_2 + W_3$

10. Однопараметрична модель – це модель:

а) у якій враховується перемішування потоку в радіальному напрямі;

б) витіснення, що ускладнена зворотним перемішуванням, що слідує формальному закону дифузії;

в) у якій враховується перемішування потоку в подовжньому напрямі

11. Стійка система – це система в якій:

а) відбувається монотонне збільшення помилки;

б) виникають коливання із зростаючою амплітудою;

в) регулятор повертає систему в стійке положення після дії обурення

12. До критеріїв стійкості не відносяться критерії:

а) Стодоли;

б) Гурвіца;

в) Фур'є;

г) Михайлова;

д) кореневий

ГЛАВА 2 АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

2.1 Основні завдання і способи первинної обробки інформації в АСУ ТП

Для хімічної промисловості характерні безперервні, дискретні або безперервно-дискретні виробництва. Системи їхнього керування мають забезпечити необхідне протікання технологічних процесів шляхом підтримки оптимальних режимів роботи технологічного встаткування.

Підвищення потужності, складності і вартості технологічних комплексів і систем як об'єктів управління, жорсткість вимог до якості продукції, охорони навколишнього середовища та безпеки персоналу, а також забезпечення тривалої працездатності устаткування є економічними і соціальними передумовами до вдосконалювання систем керування.

Хіміко-технологічна система (ХТС) функціонує нормально, якщо її режимні параметри (температура, тиск, витрата, склад і тому подібне) не відхиляються істотним чином від розрахункових значень. Для забезпечення нормального функціонування технологічної системи нею треба управляти.

Управління – процес, що забезпечує необхідне, відповідно до цільового призначення, протікання хіміко-технологічного процесу шляхом зміни матеріальних і енергетичних потоків. Технологічний процес є об'єктом управління.

Система управління – це система, що об'єднує об'єкт управління і систему, що управляє.

Система, що управляє, здійснює збір інформації про стан об'єкту управління, збурюючих дій і стану зовнішнього середовища. На основі отриманої інформації ухвалюються рішення по управлінню і виробляються дії, що управляють.

У сучасних виробництвах завдання управління технологічним процесом здійснюється автоматизованою системою управління технологічним процесом (АСУ ТП).

АСУ ТП – це комплекс, що об'єднує технологічний процес, технічні засоби збору, обробки, перетворення інформації, програмного, алгоритмічного і математичного забезпечення і оперативного персоналу (рис 2.1).



Рисунок 2.1 – Комплекс АСУ ТП

Функціональна структура АСУ ТП є багаторівневою ієрархічною структурою (рис.2.2).

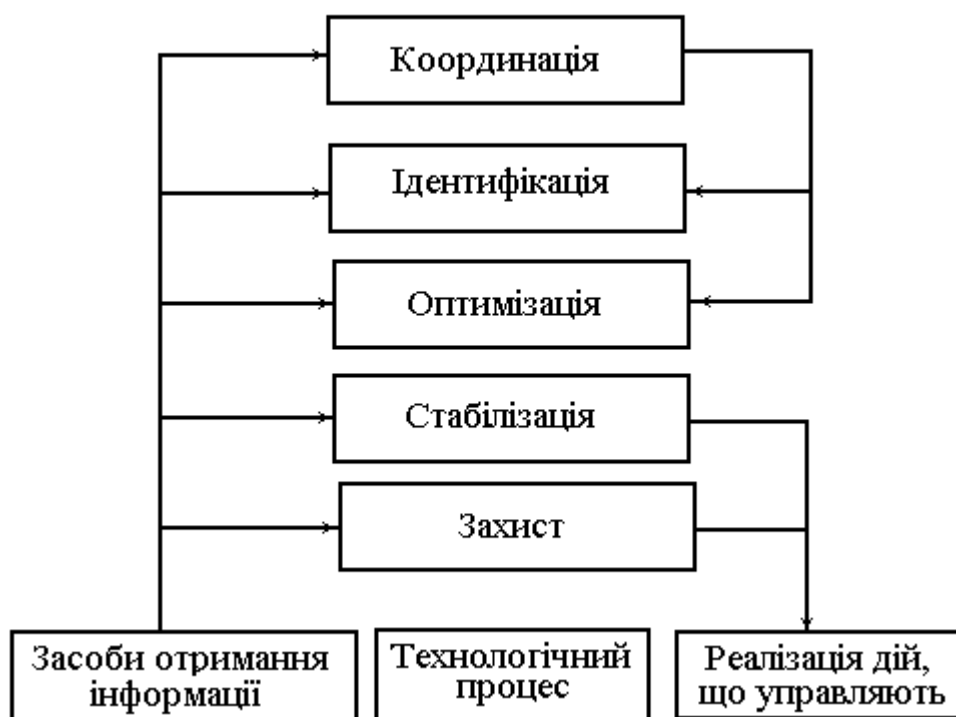


Рисунок 2.1 – Ієрархічна структура АСУ ТП

Нижній рівень складається з технологічного процесу, технічних засобів отримання інформації (датчиків) і реалізації дій, що управляють (виконуючі механізми та регулюючі органи).

“Координація» – підсистема розрахунку техніко-економічних показників (ТЕП), введення в систему директив і вказівок керівництва підприємства і передача інформації в інші системи управління підприємством для загальної координації управління підприємством.

“Ідентифікація” – підсистема розрахунку параметрів математичних моделей технологічного процесу.

“*Оптимізація*” – підсистема розрахунку оптимальних параметрів технологічного процесу відповідно до прийнятих критеріїв і мети функціонування технологічного процесу.

“*Стабілізація*” – підсистема вироблення сигналів, що управляють, і засобів автоматичного регулювання технологічних параметрів.

“*Захист*” – підсистема комплексних засобів автоматичного захисту і блокувань.

АСУ ТП – це людино-машинна система. Функції системи можуть бути реалізовані в двох режимах її роботи:

- *автоматизованому*, в якому здійснюється автоматичний збір, обробка інформації і вироблення рекомендацій щодо управління, а реалізація дій, що управляють, здійснюється оператором;

- *автоматичному*, в якому вироблення і реалізація керуючих дій здійснюється пристроями, що автоматично управляють, без участі оператора.

Структурна схема взаємодії оператора і системи управління наведена на рис 2.3.

Система має три контури управління:

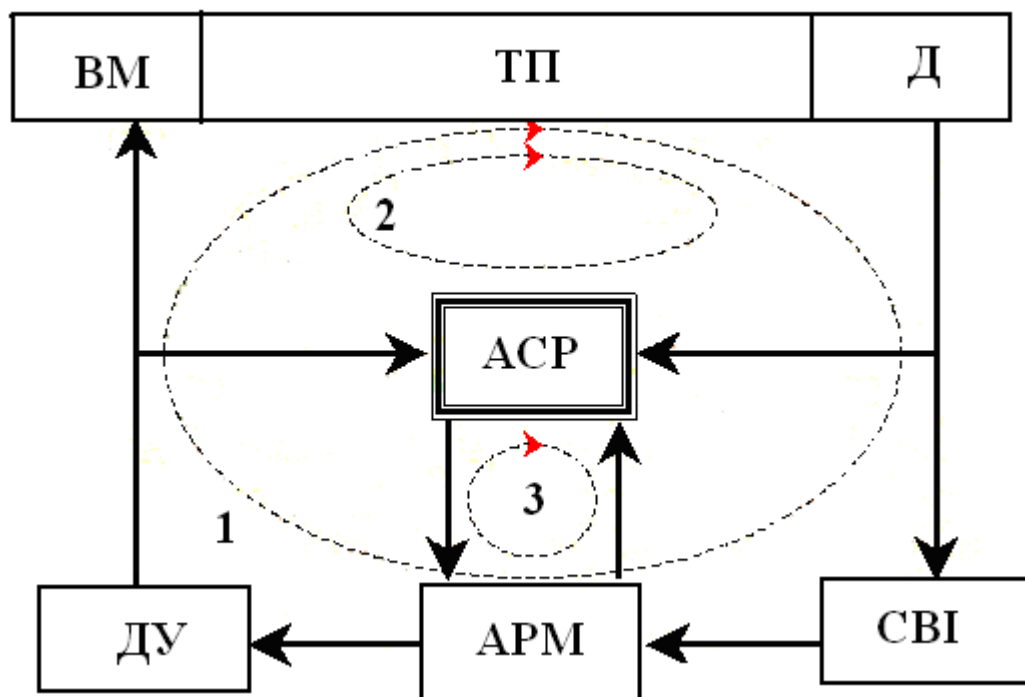
I контур – автоматизоване;

II контур – автоматичне;

III контур – система, в якій завдання змінює оператор, а управляє технологічним процесом АСР.

Таким чином, в системах управління відбувається переробка інформації про стан об'єкту управління, вироблення дій, що управляють, передача інформації у вигляді сигналів від об'єкту в керуючу систему та від керуючої системи до об'єкту управління.

Теоретичною базою створення автоматичних систем регулювання є теорія автоматичного управління (ТАУ), яка вивчає загальні принципи побудови автоматичних систем і методи їх дослідження, вирішує задачу аналізу і завдання синтезу.



АСР – автоматична система регулювання, СВІ – система відображення інформації, ДУ – органи дистанційного управління; АРМ – автоматизоване робоче місце оператора, ТП – технологічний процес, Д – датчики, ВМ – виконуючі механізми.

Рисунок 2.3 – Структурна схема взаємодії оператора і системи управління

У наш час досягнуті певні успіхи в створенні автоматизованих (за участю людини) і повністю автоматичних керуючих систем. Існує безліч мікропроцесорних засобів, здатних виконувати весь комплекс функцій по перетворенню, передачі, обробці, зберіганню та використанню інформації для впливу на технологічний процес і для зв'язку з оператором.

У першу чергу, здійснюються вимір, контроль і регулювання стану технологічних об'єктів. Склад засобів зв'язку, перетворення та передачі інформації з каналів зв'язку залежить від структури системи автоматизації технологічного процесу і устаткування. Технічно це реалізується за допомогою передавальних перетворювачів (ПП), каналів (ліній) зв'язку (ЛС), систем дистанційної передачі (СДП), пристроїв зв'язку з об'єктом (УЗО), умовами узгодження між засобами зв'язку.

Носієм даних (параметрів), отриманих у результаті вимірів, є сигнал виміральної інформації. Сигнал – це матеріальне

свідчення про яку-небудь подію, явище, стан об'єкту, а також команди керування, оповіщення, відображення стану об'єкта.

Формування, передача, перетворення сигналу - це процес зміни в часі і просторі деякої фізичної величини, що характеризує стан об'єкту або інформаційної системи.

Розрізняють сигнали: електричні, пневматичні, гідравлічні, оптичні, механічні та інші.

Сигнали можуть бути безперервними і дискретними. Безперервний сигнал відтворює миттєві значення фізичної величини. Дискретний сигнал формується процесом квантування. Квантуванням (дискретизацією) називається заміна нескінченної великої кількості можливих значень безперервної величини рядом дискретних раціональних значень. Здійснивши процес квантування, можна кодувати і передавати інформацію з використанням коду, що забезпечує більшу надійність при передачі інформації на великі відстані й використання її в цифрових системах контролю та керування.

Останнім часом багато автоматизованих систем управління будуються на основі використання програмно-технічних комплексів (ПТК) і промислових комп'ютерів, що сприймають і видають вхідні й вихідні сигнали. Обмін інформацією в цих системах здійснюється через інтерфейсні структури, які складаються із сукупності уніфікованих апаратних, програмних і конструктивних засобів, необхідних для реалізації алгоритму взаємодії різних функціональних блоків в автоматизованих системах обробки інформації та керування, запропонованих стандартом і спрямованих на забезпечення інформаційної й конструкційної сумісності блоків системи.

Як правило, АСУ має два інтерфейси: внутрішній, обслуговуючий керуючу ЕОМ, і інтерфейс «вводу/виведення» або «виведення/вводу». Обидва інтерфейси погоджені між собою, і це узгодження реалізується через внутрішній інтерфейс комп'ютера.

Спочатку розглянемо вимірювальні системи, архітектура яких визначається наступною схемою: передавальний перетворювач (ПП) – лінія зв'язку (ЛЗ) – пристрій зв'язку з об'єктом (УЗО).

Передавальний перетворювач або *передавальний вимірювальний перетворювач* (ПП) — це вимірювальний перетворювач, призначений для дистанційної передачі сигналу

вимірювальної інформації, який функціонує в комплекті з іншими засобами вимірів, що входять до складу СДП (системи дистанційної передачі) або УЗО.

Системи дистанційної передачі (СДП) – це комплекс технічних засобів, з'єднаних між собою лініями зв'язку (ЛЗ) і сигналів, що забезпечують передачу, вимірювальної інформації від місця її формування до пристроїв виміру, контролю і керування, вилучених на відстань до 2...5 км.

В основі побудови будь-якого технічного засобу вимірів лежить певний принцип дії, що представляє собою фізичний принцип – закон, явище, закономірність, закладені в основу функціонування засоби вимірів конкретного виду. Наприклад, термоелектричний термометр (термопара) являє собою "комплект технічних засобів, що складається з двох основних елементів: термоелектричного перетворювача температури (ТЕПТ) і електровимірювального приладу – мілівольтметра, з'єднаних між собою електричним зв'язком (дротами). Принцип дії ТЕПТ заснований на термоелектричному ефекті, а мілівольтметра – на електромагнітній індукції.

В результаті вимірів на виході будь-якого засобу вимірів виникає сигнал вимірювальної інформації про яке-небудь явище, подію, стан об'єкту, команду керування, оповіщення. Цей сигнал може бути використаний за місцем його формування, може бути перетворений до виду, зручного для використання в іншому місці. Сигнал вимірювальної інформації є носієм даних (параметрів), формованих за допомогою вимірювальних пристроїв різного призначення, принципів дії, способів і методів вимірів, виконаних з урахуванням їхнього метрологічного призначення.

Вимірювальні перетворювачі (датчики) призначені для формування сигналу вимірювальної інформації у формі, зручної для передачі, подальшого перетворення, обробки й зберігання. Вимірювальні перетворювачі (ВП) підрозділяються на наступні основні групи.

1. *Первинні перетворювачі.* До них підводиться вимірювана фізична величина. Ці перетворювачі є першими у вимірювальному ланцюзі і призначені для первинного перетворення вимірюваної фізичної величини у форму, зручну для подальшого використання.

2. *Проміжні перетворювачі* займають у вимірювальному ланцюзі місце після первинного перетворювача і призначені для

проведення необхідних перетворень (посилення, випрямлення, згладжування).

3. Передавальні перетворювачі призначені для дистанційної передачі сигналів вимірювальної інформації.

Перетворювачі можуть бути електричними, пневматичними, гідравлічними, електропневматичними, пневмоелектричними, тощо.

Вимірювальні прилади призначені для формування сигналу вимірювальної інформації (електричного, пневматичного, оптичного, тощо) у формі, зручної для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

За формою видачі інформації вимірювальні прилади підрозділяються на аналогові, показання яких є безперервною функцією вимірюваної величини, і цифрові, показання яких є дискретними і представляються в цифровій формі.

Сигнали вимірювальної інформації можуть бути природними, що не перетерпіли ніяких перетворень, і перетвореними, що перетерпіли цілеспрямованого перетворення для зручного їхнього використання.

Залежно від виду відображення інформації вимірювальні прилади підрозділяються на наступні групи.

1. Прилади, що показують — прилади, які забезпечують відлік показань.

2. Прилади реєструючі — прилади, які забезпечують реєстрацію показань. Ця група складається із двох основних типів приладів: самопишучі, у яких показання записуються у вигляді діаграм, і друкуючі, у яких показання записуються у вигляді цифр.

3. Прилади інтегруючі — прилади, у яких вимірювана величина інтегрується за часом або інший незалежної змінної.

4. Прилади підсумовуючі — прилади, показання яких функціонально пов'язані із сумою двох або декількох величин, що підведені до приладу по різних каналах.

Вимірювальні установки призначені для формування сигналів вимірювальної інформації у формі, зручної для безпосереднього сприйняття спостерігачем, і являють собою сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних перетворювачів, вимірювальних приладів, допоміжних пристроїв, розташованих в одному місці і об'єднаних єдиною конструкцією.

Вимірювальні системи призначені для формування сигналів вимірювальної інформації у формі, зручної для автоматичної

обробки, передачі і використання в автоматизованих системах керування (АСУ), що складаються із сукупності вимірювальних засобів і допоміжних пристроїв, об'єднаних між собою відповідними каналами зв'язку.

Перераховані вище засоби вимірів складаються з ланок – структурних елементів, найважливішими з яких є чутливі й перетворюючі елементи; вимірювальні, реєструючі і відлікові пристрої.

Чутливий елемент — частина першого у вимірювальному ланцюзі перетворювального елемента, що перебуває під безпосереднім впливом вимірюваної фізичної величини. У якості чутливих елементів застосовуються найрізноманітніші, засновані на різних принципах дії пристрої – від найпростіших механічних важелів, термоелектродів, електролітичних електродів до тензо- і оптопристроїв, фотомножильних пристроїв, що сприймають ефект дії на рівні елементарних часток і інші.

Перетворювальний елемент — це елемент, у якому відбуваються послідовні перетворення вимірюваної фізичної величини.

За допомогою засобів вимірів фізичні величини перетворюються в різноманітні вихідні величини, використовувані як сигнали вимірювальної інформації. Такі перетворення реалізуються за допомогою ряду структурних схем (простих, послідовних, зі зворотним зв'язком і так далі).

Вимірювальний механізм — частина засобу вимірювання, що складається з елементів, взаємодія яких викликає їхнє взаємне переміщення. Наприклад, вимірювальний механізм мілівольтметра складається з постійного магніту з деталями магнітодроту та рухливої рамки із пружинами або підвісками, через які до рамці підводиться електричний струм.

Реєструючий пристрій - частина засобу вимірювання, що призначена для запису показань або подання їх у цифровій формі.

Відліковий пристрій — частина засобу вимірювання, призначена для відлічування значень вимірюваної величини, наприклад, шкала і стрілка приладу, що показує.

Конструктивно вимірювальні прилади можуть бути виконані як одне ціле у загальному корпусі, можуть складатися з декількох частин у різних корпусах. Прилади в одному корпусі частіше є

місцевими; прилади, що складаються з декількох частин, забезпечують дистанційну передачу показань.

Деякі види приладів виконують ряд функцій, забезпечуючи одночасно видачу показань і запис вимірюваної величини. Іноді вони забезпечуються інтегруючим пристроєм, додатковим електроконтактним пристроєм, призначеним для реалізації автоматичного регулювання або сигналізації граничних значень технологічного параметру, тощо.

Перетворювачі, вимірювальні механізми приладів і інші елементи з урахуванням умов експлуатації розміщуються в спеціальні захисні корпуси, що запобігають механічним впливам, дії вологи, пилу і агресивних газів.

Засоби вимірів підрозділяють на зразкові та робочі.

Зразковий засіб вимірів — це вимірювальний перетворювач або прилад, що служать для перевірки по них інших засобів вимірів і затверджені в якості зразкових.

Робочий засіб вимірів — це вимірювальний перетворювач або прилад, призначений для вимірів, не пов'язаних з передачею розмірів одиниць фізичних величин іншим засобам вимірів.

Мають місце два режими роботи вимірювальних засобів: статичний (сталий) і динамічний (несталий). Обидва режими перетворення вхідної величини у вихідну визначаються відповідно статичними та динамічними характеристиками.

Статична характеристика засобу вимірів визначає функціональну залежність між вхідною та вихідною величинами в сталих режимах роботи. У цих режимах роботи засобу вимірів статична характеристика порушується внаслідок інерційності, що властива засобам вимірів.

Динамічна характеристика засобу вимірів визначає функціональну залежність між вхідною та вихідною величинами у несталих (динамічних) режимах роботи засобу вимірів. Величина відхилень динамічних характеристик від статичних залежить від інерційних властивостей засобу вимірів і його елементів.

2.2 Структура АСУ ТП

Характерною особливістю розвитку сучасної електронної промисловості є бурхливе зростання, яке супроводжується таким же бурхливим зниженням вартості засобів автоматизації,

обчислювальної техніки, комунікацій, пристроїв високоточних вимірювань параметрів.

Цифрові технології швидко витісняють аналогові, що пов'язано з тим, що можливості цифрових засобів вимірювання і управління на порядок вищі, ніж у аналогових. До переваг цифрових засобів вимірювання належать:

- більш точне представлення вимірюваних величин;
- велика перешкодозахищеність;
- можливості побудови обчислювальних мереж;
- велика гнучкість і ефективність в управлінні процесом.

Всі ці та інші можливості пов'язані з конкретними вигодами для користувачів:

- 1) прискорення роботи операторів системи управління;
- 2) економія фінансових ресурсів;
- 3) підвищення якості і коректності рішень, що приймаються операторами;
- 4) зменшення втрат продукції.

Як повідомлялося вище, будь-яку автоматичну систему управління технологічним процесом (АСУ ТП) умовно можна розділити на 3 основних рівня ієрархії (рис. 2.4):

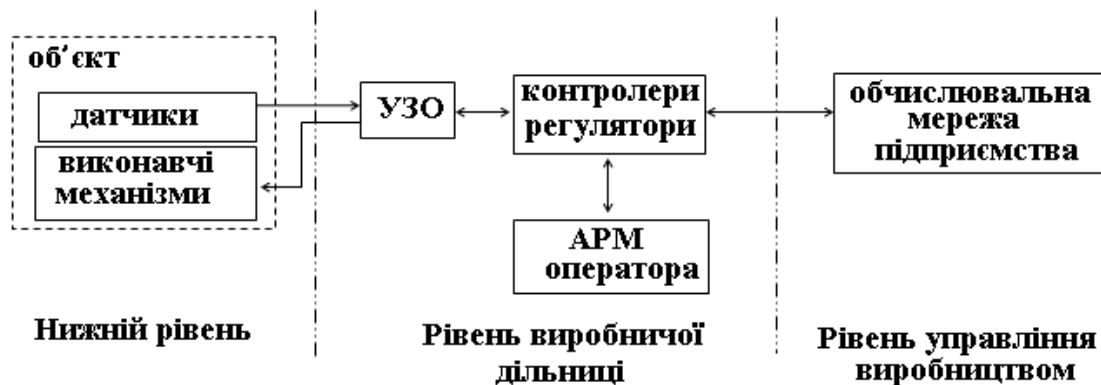


Рисунок 2.4 – Ієрархічна схема АСУ ТП

Самим нижнім рівнем є рівень датчиків і виконавчих механізмів, які встановлюються безпосередньо на технологічних об'єктах. Їх діяльність полягає в отриманні параметрів процесу, перетворенні їх у відповідний вигляд для подальшої передачі на вищий ступінь (функції датчиків), а також в прийомі сигналів, що управляють, і у виконанні відповідних дій (функції виконавчих механізмів).

Середній рівень – рівень виробничої ділянки. Його основні функції:

- збирання інформації, що поступає з нижнього рівня, її обробка і зберігання;
- вироблення сигналів, що управляють, на основі аналізу інформації;
- передача інформації про виробничу ділянку на вищий рівень.

Верхній рівень в системі автоматизації займає так званий рівень управління. На цьому рівні здійснюється контроль за виробництвом продукції. Цей процес включає збір даних, що поступають з виробничих ділянок, їх накопичення, обробку і видачу керівних директив нижнім рівням. Атрибутом цього рівня є центр управління виробництвом, який може складатися з трьох частин:

- 1) операторської частини;
- 2) системи підготовки звітів;
- 3) системи аналізу тенденцій.

Операторська частина відповідає за зв'язок між оператором і процесом на рівні управління. Вона видає інформацію про процес і дозволяє у разі потреби втручання у хід автоматичного управління. Дана система забезпечує діалог між системою і операторами.

Система підготовки звітів виводить на екрани, принтери, в архіви інформацію про технологічні параметри з вказівкою точного часу вимірювання, видає дані про матеріальний і енергетичний баланси, тощо.

Система аналізу тенденцій дає операторові можливість спостереження за технологічними параметрами і робити відповідні висновки.

На верхньому рівні АСУ ТП розміщені могутні комп'ютери, що виконують функції серверів баз даних і робочих станцій і забезпечують аналіз і зберігання всієї інформації, що поступила за будь-який заданий інтервал часу, а також – візуалізацію інформації і взаємодію з оператором. Основою програмного забезпечення верхнього рівня є пакети SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – системи управління і доступу до даних. SCADA-система – це сукупність апаратно-програмних засобів, що забезпечують можливість моніторингу, аналізу та керування параметрами технологічного процесу людиною. Впровадження

SCADA-системи дозволяє заощаджувати кошти, підвищувати ефективність і безпеку виробництва.

Розглянемо більш детально складові ієрархічної системи АСУ ТП.

2.2.1. Об'єкт та система управління

Об'єктом управління у хімічній технології є технологічні процеси, які є досить складними і різноманітними. Основним критерієм, по якому їх відносять до того або іншого типу, є ідентичність цих процесів по фізико-хімічній природі, наявності матеріальних та енергетичних внутрішніх зв'язків.

Одним з ознак класифікації технологічних процесів є розподіл їх на дискретні, безперервні, безперервно-дискретні процеси.

Розрізняють типові технологічні хімічної технології:

- механічні процеси – переміщення, транспортування, дозування, гранулювання, подрібнювання, змішування, сортування, збагачення;
- гідродинамічні процеси – процеси переміщення рідин, поділ газових, рідких неоднорідних сумішей, перемішування матеріалів;
- тепло- і масообміні та термодинамічні процеси без зміни агрегатного стану речовини – стискання, розрідження, нагрівання паром або газом, охолодження;
- тепло- і масообміні (дифузійні) процеси, у тому числі зі зміною агрегатного стану речовини, – розподіл газових сумішей, екстрагування, випарювання, конденсація, дистиляція, ректифікація, сушіння;
- хімічні процеси – окислювання, відновлення, нейтралізація, дегідратація, гідроліз, перегонка, фільтрація, утворення речовин.
- мікробіологічні процеси – ферментація, культивування, бродіння, перегонка, та інші.

Технологічні процеси одного типу можуть відрізнятися апаратурним оформленням і властивостями речовин, що переробляються, однак усі вони протікають за одними і тими ж законами і характеризуються аналогічними залежностями між параметрами. Це дозволяє розробляти типові рішення з їх

автоматизації, які з незначними змінами, викликаними особливостями ТОУ, можуть бути застосовані для всіх процесів даного типу.

Характер керованого технологічного процесу в часі визначається безперервністю або дискретністю надходження сировини, напівфабрикатів і виготовлення готового продукту, що визначається часом їхнього перебування в сталих і несталих (перехідних) станах.

Відповідно до часової характеристики, технологічні процеси можуть бути поділені на безперервні, дискретні, дискретно-безперервні.

Безперервні процеси – це процеси, у яких кінцевий продукт виробляється потоковим способом при безперервному підведенні сировини, енергії, компонентів, керуючих дій. Ці процеси мають достатню стабільність і стаціонарність і найбільш зручні для керування.

Дискретно-безперервні процеси – це процеси, при яких протягом певного тривалого проміжку часу (годин або днів) періодично виробляється певна, обмежена кількість кінцевого продукту. Для них характерна наявність циклів і сполучення особливостей безперервного та дискретного процесів. Сировина і напівфабрикати вводяться регламентованими дозами у певній послідовності (операції змішування і подачі енергії здійснюються в заданому порядку).

Дискретні процеси – це процеси, що характеризуються періодичною повторюваністю різних перетворень або чергуванням операцій переміщення й дозування, найбільш важливих для керування при виробництві штучних виробів.

Значних труднощів у керуванні безперервними технологічними процесами не виникає через їхню безперервність і стаціонарність. Керування цими процесами здійснюється, в основному, локальними системами керування, а останнім часом у зростаючому ступені – цифровими системами.

Дискретні в просторі технології мають місце при послідовній обробці кожної порції продукту на технологічних апаратах, з'єднаних у ланцюжок. При цьому потік продукту час від часу переривається – технологія періодична.

Технології обробки дискретного продукту застосовують при виробництві штучної продукції. Розглянемо їх з позицій реалізації

завдань АСУ ТП для ділянки, цеху, тощо. Тут характер готового продукту не настільки істотний, більше важлива просторова дискретність, тому що потоки продукту з певною точністю можна приймати безперервними.

У найпростішому варіанті керування дискретними процесами і потоками штучних виробів реалізується за допомогою жорстко фіксованих (у керуванні) автоматів (лінії розливу або пакування), коли встаткування виконує ряд наперед заданих операцій.

У більш складному варіанті – це автоматичне відбраковування готових виробів. Ці завдання можуть вирішуватися за допомогою теорії кінцевих автоматів, мереж Петрі, таблиць прийняття рішень, а технічна реалізація – за допомогою мікропроцесорної техніки.

Нестаціонарність дискретного процесу створює серйозні труднощі при його регулюванні (необхідність адаптації, змінна структура). Для процесу, дискретного в просторі, поряд зі стабілізацією окремих параметрів необхідно організувати взаємодію агрегатів, погодити режими послідовно працюючих агрегатів, розподілити навантаження між паралельно працюючими агрегатами. Засоби локальної автоматики можуть забезпечити тільки нижній рівень функціонування розглянутих систем. Для прийняття більше складних рішень потрібна багаторівнева система керування.

Часто при керуванні дискретними процесами необхідний облік часу, протягом якого протікає даний процес, потрібне спостереження за протіканням декількох асинхронно минаючих процесів, тому структура комплексу програм, що реалізують цю керуючу функцію ЕОМ, ускладнюється.

Важливою особливістю керування дискретними процесами є більше високий рівень (у порівнянні з керуванням безперервними процесами) різних моделей при прийнятті рішень. Більшість алгоритмів самонастроювання і адаптивного керування реалізується моделями. Зростає питома вага обчислювальних функцій ЕОМ.

Зазначені особливості мають важливе значення при виборі засобів мікропроцесорної техніки. Так, логічне керування легко реалізується перепрограмувальними логічними контролерами (ПЛК). Для рішення більше складних завдань керування

дискретними процесами потрібні мікропроцесорні системи (МПС) з досить потужними операційними можливостями, що в цей час є реальним.

Дискретні системи керування – це цифрові системи безпосереднього керування за допомогою ЕОМ. Загальним для них є дискретність у часі, тобто формування керуючих дій через певні (рівні) проміжки часу.

Моделі дискретних об'єктів керування є нелінійними, але в більшості випадків систему можна описати лінійними кусково-безперервними функціями. Для розрахунку таких систем також широко застосовують дискретне перетворення і Z-перетворення.

Існують два перспективних класи систем керування дискретними об'єктами – адаптивні (що пристосовуються до змін характеристик керованого об'єкта) і зі змінною структурою. Адаптивні системи застосовуються в ситуаціях, коли динамічні характеристики об'єкту змінюються в 1,5 і більше разів. Ці зміни можуть бути викликані «дрейфом» властивостей об'єкту в часі, істотною нелінійністю об'єкту (наприклад, коли властивості об'єкту різко змінюються при зміні навантаження), зміною характеру процесу в об'єкті (що властиві об'єктам дискретної дії).

Адаптивні системи підрозділяються на самонастроювальні системи і системи з еталонною моделлю.

У прямих адаптивних (самонастроювальних) системах самонастроювання досягається за рахунок введення в структуру елемента зв'язків, що роблять процес регулювання нечутливим до зміни одного або декількох динамічних параметрів об'єкту. У простому варіанті – це система з нескінченно більшим коефіцієнтом підсилення в прямому контурі за рахунок введення релейного елемента або нелінійного елемента з насиченням. У більш складному варіанті – вводять спеціальні фільтри, параметри яких підбудовуються під необхідну якість регулювання. Цей клас систем застосовують тільки для зміни коефіцієнта передачі об'єкта і його нелінійності. Вони функціонують у коливальному режимі.

Важливим класом адаптивних систем є системи з еталонною моделлю. У них настроювання параметрів регулятора забезпечує перехідний процес, близький до еталона, що формується спеціальною (еталонною) моделлю. Ці системи працюють без настроювання параметрів еталонної моделі й відносяться до прямих

адаптивних моделей. Такий підхід доцільно застосовувати при синтезі систем, що стежать.

Останнім часом велике поширення одержали алгоритми визначення динамічних характеристик об'єкту за його частотними характеристиками. Їх визначають шляхом подачі на вхід об'єкту, поряд з основним керуючим впливом, пробного сигналу. Цей метод відносно точний і легко реалізується в цифрових системах. Достоїнством алгоритму є простота обчислень, він легко реалізується засобами обчислювальної техніки.

Слід зазначити, що для об'єкту (агрегату) періодичної дії навіть у простих випадках система має бути надійною. Наприклад, у точно задані моменти часу необхідно відкрити клапан, перевірити, чи дійсно він відкрився, витримати заданий час, закрити цей клапан, відкрити інший і так далі. При цьому мова йде тільки про автомат, що працює за часом, без регулювання. Однак і у цьому випадку система має почати нестандартні дії у випадку неспрацьовування виконавчого механізму. Можливий і більш складний випадок, коли технологія вимагає зворотного зв'язку по ходу процесу.

В основі всіх процесів керування перебувають інформаційні процеси, що відбуваються в системі управління.

Об'єкт управління (об'єкт регулювання, ОУ) – пристрій, необхідний режим роботи якого повинен підтримуватися ззовні спеціально організованими діями, що управляють.

Реальні об'єкти управління більшою чи меншою мірою піддаються збурюючим діям, які порушують нормальний хід процесу в об'єкті.

Внутрішні збурюючі дії виникають в самому об'єкті управління (корозія, забруднення і так далі).

Зовнішні збурюючі дії проникають в об'єкт управління ззовні (зміна вхідних параметрів, параметрів навколишнього середовища і так далі).

Основними властивостями об'єктів регулювання є: ємність об'єкта, самовирівнювання, час розгону об'єкту та запізнювання.

Ємність об'єкту — це здатність акумулювати речовину або енергію.

Самовирівнювання — властивість об'єкту регулювання після внесення збурювання (наприклад, порушення рівноваги між припливом і витратою речовини) самостійно, без участі людини або

регулятора, переходити в новий рівноважний стан. Самовирівнювання сприяє більше швидкій стабілізації регульованої величини і полегшує функціонування регулятора.

Об'єкти регулювання, що володіють властивістю самовирівнювання, називаються *статичними*, а ті, що не володіють цією властивістю — *астатичними*.

Технологічним процесом називається послідовна зміна в часі станів комплексу виробничого встаткування, матеріальних та енергетичних потоків, способів обробки або переробки сировини, напівфабрикатів для виготовлення готової продукції.

Під технологічними об'єктами керування (ТОУ) розуміють сукупність технологічного встаткування і реалізованого на ньому по відповідних регламентах та інструкціях технологічного процесу виробництва.

Технологічна установка — це сукупність декількох взаємозалежних апаратів і машин, у яких виконується певна технологічна операція.

Технологічна лінія може містити ряд технологічних установок, агрегатів та апаратів, у яких здійснюється кілька технологічних процесів.

Система взагалі — це сукупність елементів, що перебувають у відносинах і зв'язках один з одним і утворюють певну цілісність та єдність.

Система, що управляє — це сукупність персоналу і автоматичних пристроїв, зв'язаних завданням управління. Автоматичні пристрої, що входять в систему управління, по функціональних ознаках підрозділяються на пристрої контролю, регулювання, програмного управління, сигналізації, блокування і захисту. До них відноситься також і обчислювальна техніка.

Кожна система може складатися з ряду підсистем. Будь-яка кібернетична система складається із двох підсистем: керуючої і керованої.

Керуючої є підсистема, що реалізує процес переробки інформації (сприймає інформацію, що характеризує стан системи; переробляє інформацію; генерує нову інформацію).

Керованої є підсистема, що під дією певної інформації реалізує процеси функціонування всієї системи.

Система керування являє собою єдність керуючих і керованої підсистем.

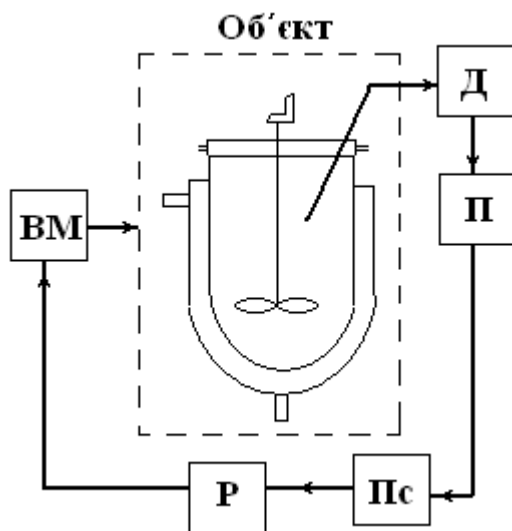
Слід зазначити, що класифікація кібернетичних систем здійснюється за багатьма ознаками, у тому числі, і за ступеню складності.

Прості системи — це системи, що не мають розгалуженої структури (відсутні ієрархічні рівні), з невеликою кількістю взаємозалежних і взаємодіючих елементів, що виконують більш складні функції. При цьому зміни в них легко описуються.

Складні системи — це системи з розгалуженою структурою і значною кількістю взаємозалежних і взаємодіючих елементів, що виконують більш складні функції. Зміна якого-небудь елемента або зв'язку приводить до зміни багатьох елементів системи. У таких системах можлива наявність декількох різних структур, декількох різних цілей. Однак конкретний стан складної системи можна описати.

Дуже складні системи — це такі системи, стан яких по різних причинах дотепер не вдається докладно описати (приклад — Сонячна система у світовому просторі).

Регульований хімічний процес як система представлена на рисунку 2.5.



Д – датчик, П – підсилювач, Пс – перетворювач сигналів,
Р – регулятор, ВМ – виконавчий механізм

Рисунок 2.6 – Регульований хімічний процес як система

Датчик або *первинний перетворювач* отримує інформацію з об'єкту управління про параметри технологічного процесу (температуру, тиск, витрату, концентрацію рН, тощо) від чутливого елемента у вигляді аналогового (безперервного) сигналу.

Наприклад, це може бути значення термоелектрорушильної сили (ТЕРС) від термопари. По-перше, цей сигнал є дуже слабким, по-друге – незручним для подальшого використання. Тому спочатку він підсилюється підсилювачем, а потім перетворюється в зручний для подальшого використання уніфікований токовий сигнал у перетворювачі сигналів. Токівий сигнал поступає у регулятор.

Регулятор – це устрій, призначений для підтримки постійного значення параметрів процесу (стабілізуєчий регулятор), а також для зміни їх по заздалегідь заданому або невідомому закону (програмні, що стежать, екстремальні регулятори). Ці пристрої отримують від об'єкту управління інформацію про стан параметрів і діють на об'єкт за допомогою регулюючих органів.

Виконавчий механізм призначений для переміщення регульовального органу (РО) під впливом сигналу неузгодженості, отриманого від керуючого пристрою (регулятора).

Регулюючий орган служить для впливу на об'єкт регулювання (ОР) за допомогою збільшення або зменшення подачі речовини або енергії в об'єкт (клапан, засувка, тощо).

Для забезпечення необхідної дії регулятора на регульований об'єкт у перехідному процесі, тобто для переходу від старого сталого стану процесу до нового, призначені зворотні зв'язки.

У перехідному процесі регулятор не завжди може забезпечити необхідний характер зміни регульованого параметру, що спричиняється наявністю перерегулювання, тобто великого відхилення регульованого параметру від заданого значення, що неприпустимо для оптимального протікання процесу. Зворотний зв'язок стабілізує процес у перехідний період. Керуючий пристрій одночасно знаходиться під впливом вимірювального пристрою та пристрою, що задає, а також – зворотного зв'язку.

Вплив, якому піддається регулятор від об'єкту за допомогою вимірювального пристрою, називається *головним або зовнішнім зворотним зв'язком*. Крім цього, є *внутрішні зворотні зв'язки*, що дозволяють змінювати характеристику регулятора. Внутрішні зворотні зв'язки бувають позитивні і негативні.

Взагалі *зв'язком* у кібернетиці є процеси одержання інформації, її зберігання і передачі. Розрізняють два види зв'язку: *прямий і зворотній*.

Прямий зв'язок — це зв'язок, що визначає дію на об'єкт керування, від з'єднання елементів системи керування, при якому

вихідна дія елемента *A* передається на вхід якого-небудь елемента *B*.

При управлінні необхідно знати, як реагує на керуючий сигнал об'єкт керування, тобто необхідний зворотний зв'язок *B* з *A*.

Зворотній зв'язок — зв'язок, що дозволяє здійснити вибір керуючої дії залежно від стану системи. Сутність зворотного зв'язку полягає в тому, щоб використати самі відхилення системи (об'єкту) від певного стану для формування керуючої дії. Вихідний сигнал регулятора має компенсувати вплив збурюючої дії, тобто має діяти на об'єкт у зворотному напрямку (зі знаком мінус) у порівнянні зі збурюючою дією. Такий зворотний зв'язок, коли сигнал з виходу об'єкту повертається регулятором на його вхід зі зворотним знаком (знаком «мінус» у порівнянні з збурюючою дією) називається *негативним зворотним зв'язком*. Сигнали, що надходять по каналах зворотного зв'язку, забезпечують регулювання стану (діяльності) об'єкту. Такий зв'язок забезпечує більшу стійкість системи, значно зменшує інерційність, збільшує ступінь загасання, змінює динамічну характеристику перехідного періоду.

Позитивний зворотний зв'язок діє на попередній елемент системи з тим же знаком, з яким на нього виробляється основна дія від вимірювального пристрою. Ефект позитивного зв'язку полягає в посиленні діючого основного сигналу.

Принцип зворотного зв'язку лежить в основі функціонування автоматичних регулюючих систем у техніці, природі, економіці та інших областях.

Зворотні зв'язки бувають *твердими* і *гнучкими* (пружними).

Твердий зворотний зв'язок передає імпульс, пропорційній вихідній величині. Введення такого зв'язку приводить до формування статичної системи регулювання зі статичною помилкою, але при цьому має місце швидке загасання коливань параметрів системи в перехідний період.

Гнучкий зворотний зв'язок передає імпульс, пропорційний швидкості зміни вихідної величини. Цей зв'язок при сталому режимі працює так само, як і системи без зворотних зв'язків, що забезпечує системі астатичне регулювання, тобто в цьому випадку відсутня статична помилка. У перехідний період гнучкий зворотний зв'язок зменшує коливання, але повільніше, ніж при твердому зворотному зв'язку.

У регуляторах може використатися синтез гнучких і твердих зворотних зв'язків, що формує гнучкий ізодромний зв'язок. Цей зв'язок забезпечує стійке регулювання системи без статичної помилки.

Твердий зворотній зв'язок формується важільними, важільно-пневматичними, важільно-гідрравлічними, лекальними, електричними мостовими, електронними та іншим пристроями.

2.2.2. Первинні перетворювачі (датчики)

Вимірювальні перетворювачі (датчики) встановлюють на технологічному устаткуванні (на апаратах, агрегатах або в потоці), які безперервно формують інформацію про технологічні параметри і стан устаткування. Далі, завдяки пристроям зв'язку з об'єктом (УЗО) інформація поступає на засоби її відображення і обробки. До перетворювачів можна також віднести сигналізатори (індикатори) параметрів, які передають в систему управління граничні (дискретні) значення заданих параметрів.

Згідно номенклатурі вимірюваних параметрів, вимірюючи перетворювачі (ВП) підрозділяють таким чином:

- ВП загально технічних параметрів (температури, тиску, рівня, витрати, маси, об'єму);
- ВП параметрів складу і властивостей сировини, напівфабрикатів і готової продукції.

Для проведення технохімічного і мікробіологічного контролю сировини, напівфабрикатів і готової продукції доцільно застосовувати експрес-аналізатори в напіваавтоматичному і автоматичному режимах функціонування залежно від технології виробництва.

До оператора (технолога) інформація поступає від вимірювальних пристроїв (датчиків), локальних ПЛК і логіко-програмних ПМК, а також інших вимірювальних засобів. Для перетворення, обробки інформації і формування команд управління використовуються регулятори, мереживі ПЛК і ПМК, пристрої функціонального і позиційного типу, SCADA-системи, вбудовані в щити і пульти управління.

Датчики – це контрольно-вимірювальні прилади в системі управління, які збирають за допомогою чутливого елемента (ЧЕ) інформацію про стан технологічного об'єкту, перетворюють її у

зручну для подальшого використання форму та підсилюють за допомогою підсилювача-перетворювача та передають інформацію наступним елементам регулятора.

Вимірювальний пристрій або датчик складається з двох частин – вимірювальної головки і перетворювача (рис.2.7)

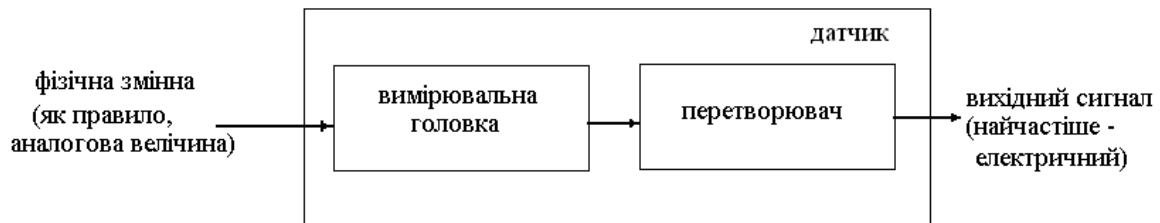


Рисунок 2.7 – Складові елементи датчика

Вимірювальна головка включає чутливий елемент, що розміщується у зоні вимірювання технологічного параметру (наприклад, термопара) і за допомогою якого отримується інформація про стан технологічного об'єкту. Для більшості фізичних величин існує безліч різних вимірювальних технологій, що характеризуються залежністю між сигналом, що виробляється, і вимірюваною величиною. Перетворення сигналу за відповідною фізичною залежністю відбувається у перетворювачі.

Первинні прилади або первинні перетворювачі призначені для безпосереднього перетворення вимірюваної величини в іншу величину, зручну для вимірювання або використання.

Розрізняють три класи датчиків:

- аналогові датчики, що виробляють аналоговий сигнал;
- цифрові датчики, що генерують послідовність імпульсів або двійкове слово;
- бінарні (двійкові) датчики, які виробляють сигнал тільки двох рівнів: «включено/вимкнено» (0 або 1).

Крім того, розрізняють генераторні, параметричні і механічні перетворювачі.

Генераторні датчики здійснюють перетворення різних видів енергії в електричну, тобто вони генерують електричну енергію (термоелектричні, п'єзоелектричні, електрокінетичні, гальванічні і інші датчики).

До параметричних відносяться реостатні датчики, тензодатчики, термоопори і тому подібне. Їм для роботи необхідне джерело енергії.

Вихідним сигналом механічних первинних перетворювачів (мембранних, манометрів, дифманометрів, ротаметрів) є зусилля, що розвивається чутливим елементом під дією вимірюваної величини.

2.2.3. Виконавчі пристрої

Виконавчим пристроєм (ВП) називається пристрій в системі управління, що безпосередньо реалізує керуючу дію з боку регулятора на об'єкт управління шляхом механічного переміщення *регулюючого органу (РО)* об'єкту.

Більшість керуючих дій в хімічній технології реалізуються шляхом зміни витрат речовин (наприклад, сировини, палива, кубового залишку колони і так далі).

Рівняння статички ВП для витрати F рідини або газу може бути описане як $F = f(\Delta P, \nu, \rho, C_1, C_2, \dots)$, де ΔP – перепад тиску на РО, ν – в'язкість, ρ – щільність, C_i – деякі параметри, залежні від конструкції РО, режиму течії потоку, тощо. Звідси видно, що витрата F може бути змінений шляхом:

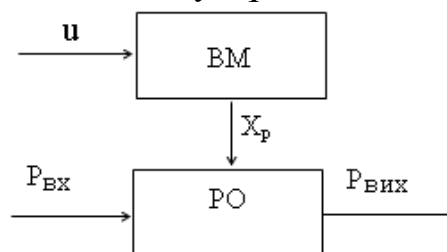
- зміни ΔP (насосні ВП),
- ν або ρ (реологічні ВП),
- коефіцієнтами C_i (дросельні ВП).

Виконавчі пристрої за принципом дії поділяються на:

- виконавчі пристрої насосного типу,
- виконавчі пристрої реологічного типу,
- виконавчі пристрої дросельного типу.

Виконавчі пристрої насосного типу.

Структура ВП насосного типу представлена на рис. 2.8.



u – керуюча дія з боку регулятора; ВМ – виконавчий механізм (привід), РО – регулюючий орган (насос), X_p – параметр, що змінює продуктивність насоса (частота обертання валу, хід поршня і так далі).

Рисунок 2.8 – Структура ВП насосного типу

Для даних ВП, як правило, тиск на виході $P_{\text{вих}}$ більший, ніж тиск на вході $P_{\text{вх}}$, а перепад тиску на РО визначається як $\Delta P = P_{\text{вих}} - P_{\text{вх}}$.

Насосні ВП діляться на:

1) ВП з **обертальним** рухом РО:

1.а) **шестеренчасті** (рис.2.9) – зуби шестерень створюють із стінками корпусу безліч об'ємів, за допомогою яких рідина зі всмоктуючих ліній подається в нагнітальну; зворотний струм рідини істотно менший, оскільки при зачепленні шестерень між собою залишкові об'єми невеликі.

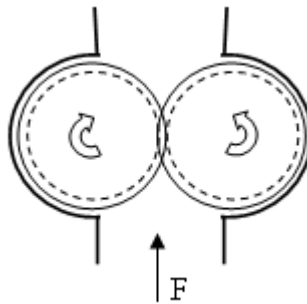


Рисунок 2.9 – Шестеренчастий насос

1.б) **шиберні** (рис. 2.10) – при обертанні шибери відцентровими силами притискаються до корпусу і утворюють з ним змінні об'єми: на всмоктувальній лінії, що збільшуються, на нагнітальній – що зменшуються.

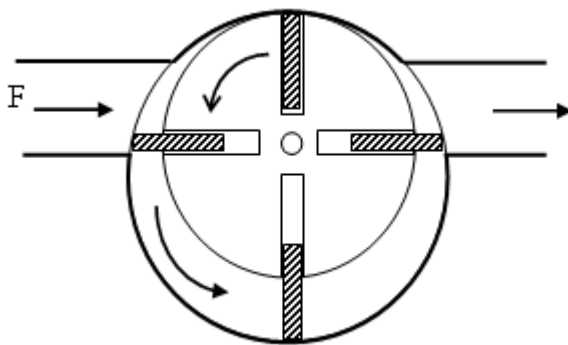


Рисунок 2.10 – Шиберний насос

1.в) **гвинтові** – перекачування проводиться гвинтовим шнеком.

1.г) **відцентрові** – зміна витрати відбувається за рахунок зміни входній швидкості в порожнині ротора насоса.

2) З **поступальною** ходою РО:

2.а) поршневі,

2.б) мембранні,

2.в) сільфонні.

Виконавчі пристрої реологічного типу (рис 2.11).

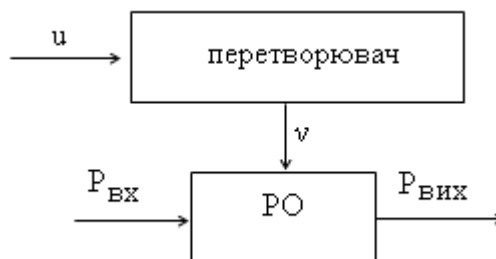


Рисунок 2.11 – Виконавчі пристрої реологічного типу

Деякі рідини і дисперсійні системи можуть змінювати в'язкість під дією електричного поля (наприклад, вазелінове, трансформаторне, касторове масла, олефіни, алюмосилікати і інші), тобто витрата є пропорційною в'язкості ($F = f(\nu)$).

Перетворювач в ВП даного типу здійснює зміну електромагнітного поля в РО залежно від u , яке, у свою чергу, впливає на ν . При цьому витрата F на РО змінюється пропорційно.

Виконавчі пристрої дросельного типу (рис 2.12).

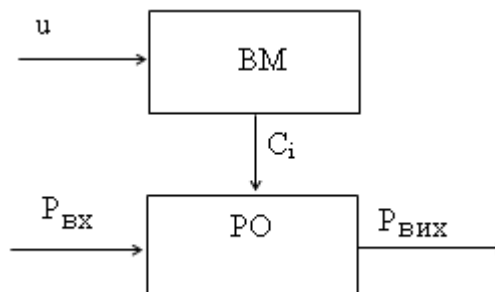


Рисунок 2.12 – Виконавчі пристрої дросельного типу

Ці ВП знайшли переважне розповсюдження через універсальність і простоту. Залежно від u ВМ змінює який-небудь параметр дроселя РО, що приводить до зміни витрати F .

Пропускною характеристикою дроселя є залежність витрати F від перепаду тиску $\Delta P = P_{вх} - P_{вих}$, положення РО і так далі.

Залежність $F(\Delta P)$ для турбулентного потоку:

$$F = \gamma \sqrt{\Delta P},$$

де $\gamma = S \sqrt{\frac{2}{\xi \rho}}$, S – площа перетину потоку ξ – коефіцієнт місцевого опору ρ – щільність.

Типи виконавчих пристроїв дросельного типу:

1) **Плунжерні** – витрата в них регулюється шляхом зміни площі прохідного перетину, утвореного парою «сідло-затвор» (рис. 2.13). Форма затвору підбирається так, щоб пропускна характеристика $F = f(h)$ була лінійна (h – положення штоку 1).

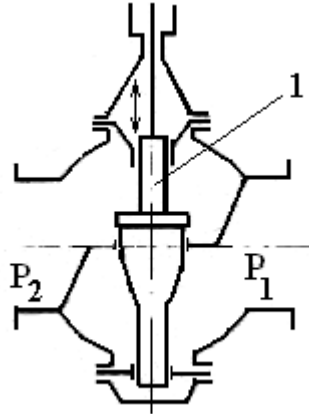


Рисунок 2.13 – Плунжерний виконавчий пристрій

2) **Шлангові** – витрата регулюється стисканням гнучкого шлангу.

3) **Діафрагмові** – у виконавчих пристроях даного типу використовують гнучкі мембрани.

4) **Заслінкові** – використовують заслінки у вигляді дисків, що обертаються в перетині трубопроводу.

5) **Крани** – використовують затвори, які виконані у вигляді циліндру, усіченого конусу або сфери з прохідним отвором. Витрата в них регулюється поворотом затвору на певний кут.

6) **Засувки** – витрата регулюється плоскою засувкою, що переміщується перпендикулярно осі трубопроводу.

2.2.4. Виконавчі механізми

Стандартні виконавчі механізми (ВМ) працюють в комплекті з регулюючим органом, утворюючи разом виконуючі пристрій (ВП), і класифікуються за:

- видом енергії, що створює перестановочне зусилля (електричні, пневматичні, гідравлічні, тощо);
- видом руху (прямоходові, однооборотні, багатооборотні);
- принципом створення перестановочного зусилля (мембранні, поршневі, сільфони, електромагнітні, електрорухомі і інші).

Пневматичні ВМ (рис. 2.14) знайшли широке розповсюдження завдяки простоті конструкції, низькій вартості, надійності, здатності працювати в пожежо- і вибухонебезпечних умовах. Недоліки: обмеженість відстані від регулятора до місця установки ВП (звичайно до 200 м), низька швидкодія, низький клас точності.

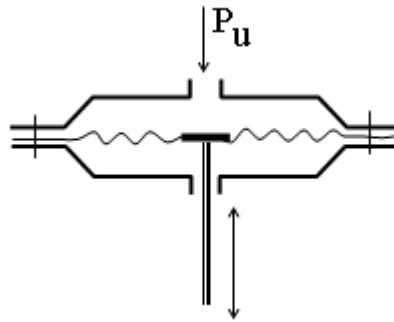


Рисунок 2.14 – Пневматичний ВМ

Вхідним сигналом цих ВМ є тиск стислого повітря, який, діючи на мембрану, створює зусилля

$$F = S_{\text{еф}} (P_u - P_o)$$

де P_u – керуючий тиск; P_o – початковий тиск, при якому створюється рух плунжера; $S_{\text{еф}}$ – ефективна площа мембрани.

Електричні ВМ мають переваги перед виконуваними механізмами іншого типу, які полягають у високій швидкодії, точності позиціонування, компактності, доступності джерела енергії, великих перестановочних зусиллях. Однак електричні ВМ мають і недоліки: вони достатньо дорогі, потребують необхідності засобів захисту у вибухо- і пожежонебезпечних умовах.

Електричні ВМ підрозділяються на електрорухомі (мають привід від двигуна) і електромагнітні.

Промисловість випускає практично тільки електрорухові ВМ з напругою 220 В або 380 В:

- багатооборотні (МЕМ)
- однооборотні (МЕО) з кутом повороту до 360° С,
- прямоходові (МЕП).

Приклад маркірування: МЕО-0,63/10-0,25 (одно оборотний електричний ВМ, момент 6,3 Н·м, час ходу 10 сек., номінальний хід 0,25 обороту).

2.2.5. Пристрої зв'язку з об'єктом (УЗО)

Основним видом інформації про стан об'єкта керування в АСУТП є поточні значення технологічних параметрів, які перетворюються автоматичними вимірювальними пристроями (датчиками) у сигнали вимірювальної інформації. Після приведення до стандартної форми ці сигнали вводяться в програмно-технічний комплекс (ПТК) і представляють у ньому значення відповідних параметрів у даний момент часу. Однак, для використання в завданнях керування масив вихідної інформації необхідно піддати попередній обробці, яку називають первинною. Таку обробку виконують пристрої зв'язку з об'єктом (УЗО).

УЗО – це апаратура, яка призначена для сполучення по відповідних каналах зв'язку датчиків (вимірювальних перетворювачів), виконавчих пристроїв (автоматичних регулюючих пристроїв, технічних засобів показань, запису, сигналізації вимірюваних і регульованих параметрів), керованого технологічного об'єкту з обчислювальними та керуючими засобами комп'ютерних систем. УЗО призначені для введення сигналів з датчиків у пристрої обробки і виводу сигналів для керування виконавчими механізмами.

Модулі введення/виводу є локальними УЗО, що здійснюють первинну обробку безперервних та дискретних сигналів від вхідних датчиків і видачу керуючих дій на виконавчі механізми (ВМ).

Кожен модуль має вихід у технологічну мережу на основі інтерфейсу. Оброблений сигнал перетворюється модулем у захисний цифровий код для подальшої передачі в мережу. З мережі модуль отримує команди на видачу керуючих дій. Обчислювальні потужності модулів забезпечують також вироблення додаткових сигналів про вихід значення за припустимі межі, синхронізацію ведення єдиного часу системи, взаємодію з міні пультом, тощо.

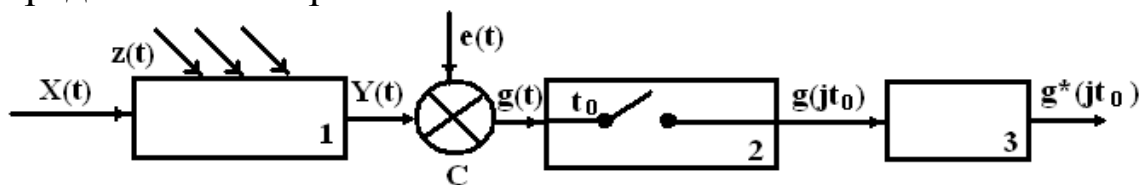
Модулі УЗО – це конструктивно закінчені пристрої, виконані у вигляді модулів, що встановлюються, як правило, в спеціалізовані плати з клемними з'єднувачами або стандартний DIN-рельс. Всі модулі мають єдині конструкцію, інтерфейс і живлення.

Модулі УСО виконують:

- введення аналогових сигналів середнього рівня:
 ± 10 В; ± 5 мА; ± 20 мА; 4 - 20 мА;

- введення аналогових сигналів низького рівня від термоелектричних перетворювачів (термопар) і термометрів опору;
- введення аналогових сигналів змінного струму від обертових і диференціальних трансформаторів;
- введення дискретних сигналів постійної напруги і струму: 6; 12; 48; 110; 220В; 5 мА; 20 мА; сигналів напруги змінного струму 24; 110; 220 В;
- введення імпульсних (число-імпульсних і час-імпульсних) і частотних сигналів;
- виведення (формування) аналогових сигналів напруги і струму: ± 10 У, ± 5 мА, ± 20 мА;
- виведення (формування) гальванічно розв'язаних дискретних сигналів постійної напруги від 5 до 48 В (у тому числі з контролем лінії зв'язку та із захистом від перевантажень);
- виведення (формування) імпульсних сигналів напруги до 24 В (у тому числі із заданим періодом проходження та із заданою тривалістю);
- виведення дискретних сигналів постійного і мінливого струму для керування виконавчими механізмами шляхом комутації виконавчих ланцюгів зі струмами до 10 А при напрузі до 220 В (із застосуванням виносних безконтактних і релейних формувачів);
- виведення (формування) сигналу керування асинхронними електродвигунами (із застосуванням виносних безконтактних пускачів 220/380 В на струм від 5 до 25 А, що забезпечують включення, реверс, динамічне гальмування, захист від перевантажень).

Послідовність необхідних перетворень, яким піддається вимірювана величина в типовому пристрої зв'язку з об'єктом (УЗО) представлена на рис. 2.15.



1 – первинний вимірювальний перетворювач (датчик); 2 – комутатор; 3– аналого-цифровий перетворювач (АЦП)

Рисунок 2.15 – Схема УЗО

Вимірювана величина $x(t)$, що звичайно є стаціонарною випадковою функцією часу, діє на вхід вимірювального

перетворювача (ВП), на виході якого формується сигнал вимірювальної інформації $y(t)$.

Принцип дії більшості ВП такий, що їхній вихідний сигнал залежить не тільки від значення вимірюваної величини, але і від ряду інших величин z_j , які є збуреннями. Наприклад, термоелектричний перетворювач температури (ТПТ) перетворює вимірювану величину (температуру) у сигнал вимірювальної інформації – ЕРС. Однак цей сигнал залежить не тільки від величини вимірюваної температури, що сприймається робочим спаєм, але і від температури вільних спаїв, що у цьому випадку є збуренням.

У загальному випадку зв'язок між сигналами на вході та виході ВП описується статичною характеристикою виду

$$y = f(x, z), \quad (2.1)$$

Однозначна відповідність між сигналами вимірювальної інформації і вимірюваною величиною забезпечується тільки при постійних значеннях збурень. Для кожного ВП номінальні значення z°_j указують у його паспорті. Підставивши їх у рівняння (2.1), одержимо номінальну (паспортну) статичну характеристику ВП

$$Y = f(x, z^{\circ}) = f_0(x) \quad (2.2)$$

Можна вважати, що в процесі роботи ВП значення збурень відповідають номінальним; отже, перетворення значень вимірюваної величини в сигнал вимірювальної інформації виконується відповідно до паспортної статичної характеристики (2.2). Однак і при виконанні цієї умови всякий реальний ВП вносить у результати деяку погрішність.

На рис. 2.15 погрішність представлена у вигляді випадкової функції часу $e(t)$, що накладається на корисний сигнал $Y(i)$ вимірювальної інформації. Перешкода $e(t)$ моделює не тільки випадкову погрішність ВП, але і електричні наведення в сполучних дротах, які обумовлені магнітними полями електросилового встаткування, дією пульсації тиску і витрати рідини в технологічних трубопроводах внаслідок роботи насосів і компресорів та інші фактори.

На вхід програмно-технічного комплексу (ПТК), позначеного на рис. 2.15 як (3), надходить сумарний сигнал

$$g(t) = Y(t) + e(t). \quad (2.3)$$

Оскільки будь яка АСУ ТП має безліч УЗО, їхнє обслуговування розділене в часі, кожен канал періодично з

періодом t_0 підключається на короткий час до входу керуючого обчислювального комплексу (КОК). У результаті безперервна функція $g(t)$ перетворюється в послідовність імпульсів, модульованих по амплітуді функцій $g(t)$. На схемі УЗО функцію квантування сигналу $g(t)$ за часом виконує комутатор (2), умовно зображений у вигляді ключа, що замикається з періодом t_0 . На виході комутатора утворюється решітчаста функція

$$\begin{aligned} g(jt_0) &= g(t) \text{ при } t = jt_0 \quad j = 0, 1, 2, \dots \\ g(jt_0) &= 0 \quad \text{при } t \neq jt_0. \end{aligned}$$

Наступним видом перетворення, якому піддається сигнал вимірювальної інформації в УЗО, є квантування за рівнем, виконуване АЦП. При цьому амплітуди імпульсів $g(jt_0)$ перетворюються в числа $g^*(jt_0)$, виражені в кодї, з якими надалі оперує ЕОМ. Сучасні комп'ютери, як правило, використовують двійковий код і оперують із числами, що мають 16, 32 або 64 розрядів.

Число $g^*(jt_0)$, отримане в результаті виконання всіх перетворень вимірюваної величини в УЗО, вводиться в ПТК і надалі представляє в ньому значення вимірюваної величини $x(t)$ у момент часу $t = jt_0$.

За характером оброблюваного сигналу УЗО можна розділити на аналогові, дискретні і цифрові.

Аналогові УЗО (аналогово-цифрові перетворювачі АЦП, цифро-аналогові перетворювачі ЦАП) повинні володіти великою точністю, лінійністю і великою напругою ізоляції.

Дискретні УЗО забезпечують опит датчиків з релейним виходом, вимикачів, контроль наявності напруги в мережі і так далі, а вихідні дискретні УЗО формують сигнали для управління пускачами, двигунами і іншими пристроями. Дискретні УЗО задовольняють тим же вимогам, що і аналогові, але, крім того, володіють мінімальним часом перемикання, а вихідні – можуть забезпечувати комутацію вищих струмів і напруги.

Серед модулів УЗО існують також пристрої, що працюють тільки з цифровою інформацією. До них відносяться комунікаційні модулі, призначені для мережевої взаємодії (наприклад, повторювачі для збільшення протяжності лінії зв'язку, перетворювачі інтерфейсів RS-232/RS-485).

За напрямком проходження даних модулі УСО можна розділити на три типи:

- 1) пристрої введення, що забезпечують передачу сигналів датчиків;
- 2) пристрої виведення для формування сигналів на виконавчі механізми;
- 3) двонаправлені.

У реальних системах модулі УСО можуть бути не присутніми у вигляді самостійних пристроїв, а входити до складу датчиків (в цьому випадку датчики називають інтелектуальними) або промислових комп'ютерів. Прикладом можуть служити датчики, що видають готовий цифровий сигнал. в цьому випадку межа між первинним перетворювачем і УЗО проходить десь усередині датчика. З іншого боку, УЗО можуть бути виконані у вигляді АЦП/ЦАП-плат, що вставляються в стандартні слоти комп'ютера. В цьому випадку аналогові сигнали можуть бути введені прямо в комп'ютер, де вони і перетворюються в цифровий вигляд.

УЗО випускаються електронною промисловістю у вигляді готових модулів, наприклад, таких як серія модулів ADAM-4000, «Прософт», «Analog Devices» і інші.

Модулі серії ADAM-4000 є малогабаритними багатофункціональними інтелектуальними пристроями зв'язку з об'єктом, спеціально розробленими для застосування в промислових умовах експлуатації. Вбудований мікропроцесор, що входить до складу кожного виробу, забезпечує незалежне від керуючої обчислювальної системи виконання функцій гальванічно ізольованого вводу-виведення аналогових і дискретних сигналів з наступною їхньою нормалізацією, фільтрацією та перетворенням у форму, придатну для передачі по послідовному каналі зв'язку, а також інформаційний обмін із провідним вузлом мережі передачі даних на базі інтерфейсу RS-485.

Мережа послідовної передачі даних, що містить модулі ADAM-4000, може управлятися комп'ютером практично будь-якого виробника і з будь-якою архітектурою. При цьому немає необхідності у виконанні яких-небудь додаткових операцій по налаштуванню модулів, тому що їхнє конфігурування в повному обсязі виробляється програмним способом.

Перетворення технологічної інформації, яка, в основному, є аналоговою, є процесом складним. Для перетворення аналогової інформації в цифрову форму використовують аналого-цифрові

перетворювачі (АЦП), які оцифровують аналоговий сигнал і представляють його у вигляді числової послідовності.

Одноканальні модулі аналогового вводу-виведення серії ADAM (ADAM-4000, ADAM-4011/4011B/4012/4013/4014У/4016/402П) мають у своєму составі 16-розрядний сігма-дельта АЦП, що призначений для прийому і перетворення сигналів термопар, термоопорів, аналогових сигналів у формі струмів або напруг. Мікропроцесор, що управляє аналогово-цифровим перетворювачем, здійснює перетворення цифрових відліків аналогового сигналу, що надходять із виходу АЦП, у значення, які представляються в одному з наступних форматів: інженерні одиниці, відсотки повної шкали, додатковий код або числові значення величин. Після одержання запиту на передачу даних від провідного вузла мережі на базі RS-485 мікропроцесор модуля передає відлік вхідного аналогового сигналу, представлений в одному з перерахованих форматів, на адресу провідного вузла мережі. Структурна схема модуля аналогового введення ADAM-4011 представлена на рис. 2.16.

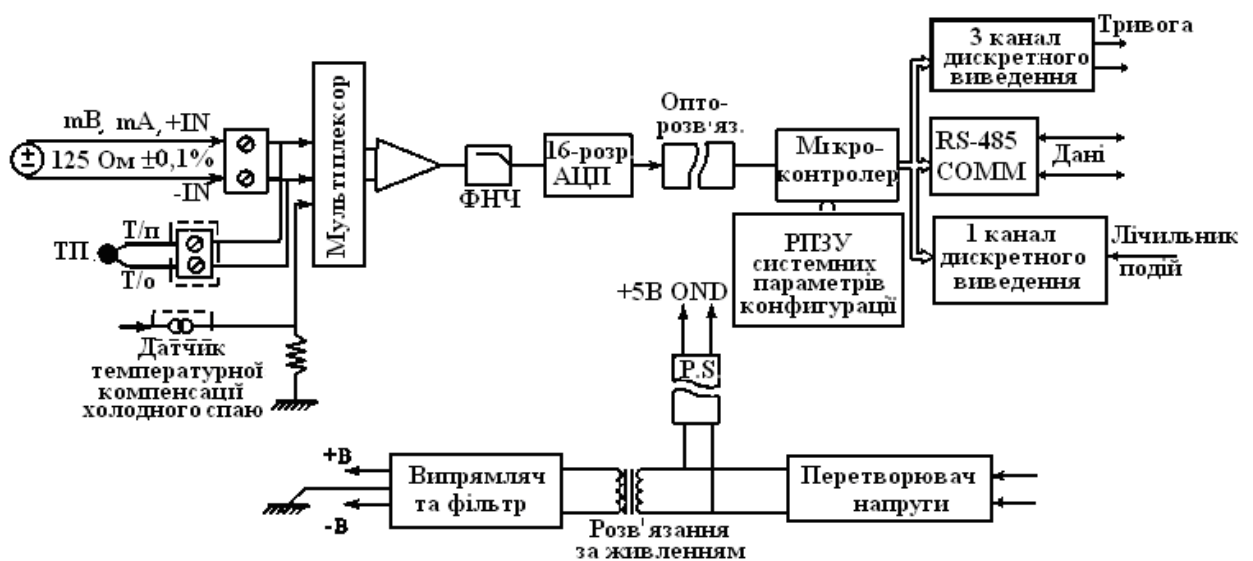


Рисунок 2.16 – Структурна схема модуля аналогового введення ADAM-4011

Одноканальний модуль аналогового введення ADAM-4011 може бути дистанційно настроєний на функціонування в одному з 14 різних режимів введення, яким відповідають різні типи і діапазони вхідного сигналу (струми термопар різних типів, що змінюються в широких діапазонах струму (мА), напруги (мВ, В). Ця властивість дозволяє істотно скоротити номенклатуру

комплекту ЗВП, оскільки для рішення різних завдань може застосовуватися модуль того самого типу.

Існують також багатоканальні модулі аналогового вводу-виведення серії ADAM-4011.

Модулі ADAM-4017/ADAM-4018 є 8-канальними пристроями аналогового введення, оснащеними 16-розрядним АЦП, і мають встановлюваний програмним способом для всіх каналів діапазон і тип входних аналогових сигналів. Модулі зазначених типів являють собою найбільш економічне рішення для створення територіально розподілених автоматизованих систем збору даних. Кожен модуль має гальванічну розв'язку між підсистемою аналогового введення і вбудованим мікропроцесором, що значно знижує ймовірність пошкодження пристроїв і провідної обчислювальної системи перешкодами та наведеннями високої інтенсивності, характерними для промислових умов експлуатації.

Модуль ADAM-4050 має у своєму составі сім каналів дискретного введення та вісім каналів дискретного виведення. Канали виведення являють собою транзисторні ключі, виконані за схемою з відкритим колектором, керування якими здійснюється по команді від центрального комп'ютера. Ці канали разом із проміжними реле дають можливість включення та вимикання силового встаткування, такого, як насоси, нагрівальні елементи, тощо. Канали дискретного введення можуть використатися центральним комп'ютером для контролю положення комутаційних апаратів, що перебувають у місці розміщення модуля ADAM-4050.

Модуль ADAM-4052 має шість незалежних гальванічно ізольованих каналів дискретного введення і два гальванічно ізольованих канали дискретного виведення із загальною «землею».

До складу модуля ADAM-4053 входять 16 каналів дискретного введення, призначених для контролю положень комутаційної апаратури. Максимальна відстань між каналом дискретного введення і контрольованим «сухим» контактом може досягати 500 м.

Пристрої ADAM-4080/4080B є гальванічно ізольованими модулями введення гармонійного або імпульсного сигналу. Вони оснащені двома 32-розрядними рахунковими каналами і програмувальним таймером для виміру частоти. У цих модулях реалізована функція дискретного локального керування. Є можливість завантаження провідним комп'ютером мережі в

енергонезалежну пам'ять модуля значень уставок, що представляють у вигляді 32-розрядних чисел.

Для придушення шумів у вхідному сигналі модулі ADAM-4080В оснащені цифровим фільтром із програмувальною смугою пропускання. Є можливість програмної установки окремих постійних часу для забезпечення стабільності зчитувальних значень вхідних сигналів.

Підбиваючи підсумок вищевикладеному, можливо стверджувати, що у пристроях первинної обробки інформації (УЗО) вирішуються наступні основні завдання:

- 1) фільтрація сигналу вимірювальної інформації від випадкової перешкоди (погрішності) $e(t)$;
- 2) відновлення значення вимірюваної величини $x(t)$ по сигналу вимірювальної інформації $y(t)$;
- 3) корекція відновлених значень вимірюваної величини з урахуванням відхилення умов виміру від номінальних;
- 4) відновлення значень вимірюваної величини $x(t)$ при $jt_0 < t < (j + 1)t_0$, тобто інтерполяція та екстраполяція.

Тобто, первинна обробка інформації складається з операцій збору, лінеаризації і приведення сигналів до виду, зручному для використання в обчислювальному пристрої.

В АСУ алгоритми збору інформації визначають послідовність і періодичність опитування первинних перетворювачів (датчиків). Вони підрозділяються на алгоритми адресного, програмного, циклічного і адаптивного опитувань.

Алгоритми адресного опитування забезпечують опитування датчиків по заданих адресах. *Алгоритми програмного і циклічного опитувань* здійснюють опитування датчиків відповідно до заданої послідовності. *Алгоритми адаптивного опитування* організують опитування датчиків залежно від стану об'єкта керування: розташування до аварійного стану, швидкості змін параметрів заданих рівнів.

Вихідними даними алгоритмів опитування датчиків є: число пронумерованих датчиків (x_i), масиви верхніх і нижніх меж припустимих значень (норм) показань датчиків, час, при якому відбулося відхилення від норми (t_i) і порядковий номер датчика (i). Після опитування всіх датчиків результати виводяться на принтер або вводяться в мікропроцесорну систему для контролю або формування керуючих впливів.

Алгоритми лінеаризації застосовують у випадках, коли залежність показань датчика нелінійна (непропорційна) значенням вимірюваної величини.

Алгоритми приведення інформації до виду, зручному для використання в керуючому пристрої, застосовують для узгодження меж вимірів з вихідними сигналами комп'ютера і приведення інформації до стандартного виду.

Алгоритми оцінювання (алгоритми вторинної обробки інформації) застосовують для зниження інструментальних і методичних погрешностей вимірів, підвищення вірогідності інформації, перетворення результатів непрямих вимірів. Вони реалізуються алгоритмами інтерполяції, екстраполяції і фільтрації.

Алгоритми інтерполяції використовуються для відновлення значення змінної в проміжку між дискретними її змінами. При цьому застосовується лінійна інтерполяція за допомогою кусочно-лінійної апроксимації досліджуваної функції.

Алгоритми екстраполяції (прогнозування) забезпечують запам'ятовування результату виміру до моменту наступного виміру. При наявності математичної моделі і дискретного виміру змінної її значення приймають за початкову умову для рішення рівняння моделі процесу. Результат рішення є екстрапольованою оцінкою до наступної дискретної зміни. Якщо вимірювана змінна описує випадковий процес, то як початкова умова приймається математичне очікування контрольованого параметра.

Алгоритми фільтрації призначені для одержання оцінок результату в даний момент. У практиці набули застосування алгоритми фільтрації (фільтри), які реалізуються аналоговими засобами (апаратурно) або програмно. Поширення одержали експонентний фільтр, фільтр ковзної середньої і статистичний фільтри.

Практика експлуатації фільтрів показала, що для аналогового варіанта доцільно використати експонентний фільтр, а для програмної реалізації – статистичний фільтр першого порядку, хоча можна і експонентний.

Контроль вірогідності вихідної інформації є визначальним чинником у системах керування. Недостовірна інформація є причиною повних або часткових відмов системи вимірів.

Ознакою появи відмови може бути вихід контрольованого параметра за задані границі. Алгоритми, що реалізують цю ознаку,

називаються *алгоритмами контролю допустимого параметра і швидкості зміни сигналу* вимірювальної інформації.

2.2.6. Контролери та регулятори

Контролер являє собою функціонально закінчений виріб із внутрішньою програмою, настройка якого на конкретний об'єкт керування робиться з лицьової панелі приладу або по мережі з персональної ЕОМ.

Контролери для АСУ ТП можна умовно поділити на такі класи:

1. *Контролери на базі ПК* — напрямок, що бурхливо розвивається в цей час, і забезпечує підвищення надійності ПК. Вони характеризуються наявністю модифікацій, відкритої архітектури, доступності включення у свій склад будь-яких блоків вводу/виводу; мають можливість використання широкої номенклатури ПЗ. Такі контролери знайшли застосування в спеціалізованих системах автоматизації, наукових лабораторіях, засобах комунікації, невеликих замкнутих об'єктах у виробництвах. Кількість входів/виходів таких контролерів кілька десятків. Контролери здійснюють досить складну обробку вимірювальної інформації з наступним формуванням керуючих дій. Реалізовані контролерами функції доцільно програмувати на мовах високого рівня типу Си++, PASCAL, а також на мовах стандарту IEC 1131-3 та інших.

На ринку контролерів на базі ПК успішно працюють: Advantech, Analog Devices, Octagon, МІКРОЛ та інші. Деякі фірми закупають комп'ютерні плати і плати вводу/виводу і збирають із них контролери (наприклад, Прософт). На рисунку 2.17 наведена модульна структура програмуемого мікроконтролера, що застосовується на локальному рівні керування в АСУ ТП.

Спеціалізація такого мікроконтролера за його функціями характеризується сукупністю програм, що зберігаються в постійному запам'ятовуючому пристрої.

Центральний процесор (ЦП) виконує універсальні логічні і обчислювальні операції.

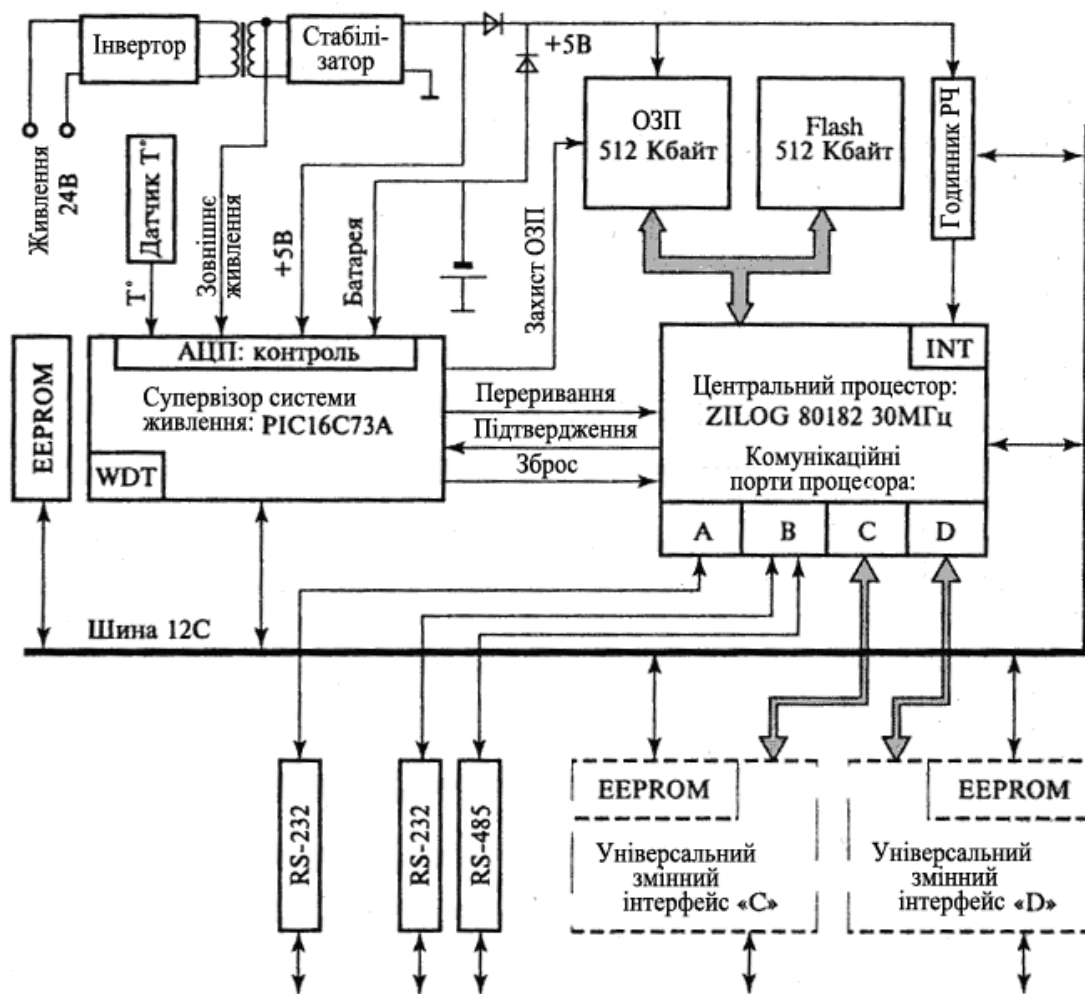


Рисунок 2.17 – Модульна структура програмуемого мікроконтролера

Оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП), як правило, невеликого обсягу. Конструкційно обчислювач виконується у вигляді одноплатного вбудованого модуля. До внутрішньої (стандартної) магістралі обчислювача підключають модулі пристрою сполучення з об'єктом, АЦП і ЦАП, дискретні вводи/виводи, регулятори, пристрої відображення і вводу даних різного класу, блоки сполучення з іншими інформаційними рівнями.

Підвищення рівня інтеграції мікропроцесорів обумовило появу однокристальних мікроЕОМ, що повторюють наведену структуру. Внаслідок цього стало можливим у межах мікроконтролера спеціалізувати відмічені функції для деякої кількості обчислювачів, зв'язаних загальною магістраллю, але оброблюваних і керованих своєю сукупністю сигналів. МікроЕОМ відрізняється від наведених мікроконтролерів розширенням

функцій вводу/виводу інформації від периферійних пристроїв, розширенням обсягу ОЗП, більш потужним обчислювачем, наявністю крос-засобів для налагодження програмного забезпечення мікроконтролерів.

Таким чином, технічна реалізація координатора визначається функціональними завданнями цього рівня керування. При цьому більша увага приділяється алгоритмічним і програмним засобам, засобам автоматизації програмування, орієнтованим на мікропроцесори загального і спеціального призначення, пакетам прикладних програм, операційним системам реального часу, зручним і гнучким мовам програмування. Адаптація і врахування вимог конкретних об'єктів і систем у ПТК проводиться на нижньому рівні завдяки модернізації технічних засобів, а на рівні координатора – програмним забезпеченням.

2. Локальний ПЛК. Програмований логічний контролер (ПЛК) — мікропроцесорний пристрій, який виконує функції логічного аналізу і управління по відповідних алгоритмах згідно вимогам технологічного процесу і взаємодіє з оператором.

Останнім часом знайшли застосування кілька типів ПЛК:

- вбудований в устаткування і як невід'ємна частина останнього (наприклад, верстати з ЧПУ, сучасні потокові лінії в різних галузях промисловості, сучасні аналітичні прилади);
- автономний, що реалізує функції контролю і керування невеликим, в основному, ізольованим технологічним об'єктом.

Застосовуються також вбудовані ПЛК без спеціального корпусу, які монтуються в загальний корпус устаткування. Автономні контролери розміщують у захисні корпуси для експлуатації в різних умовах. У більшості ці контролери мають порти, які через мережу зв'язують їх у режимі «точка-точка» з іншою апаратурою, і за допомогою інтерфейсів через мережу – з іншими засобами автоматизації (диспетчерськими системами, пультами операторів, тощо).

Випускаються спеціальні типи ПЛК для аварійного захисту технологічних процесів і устаткування. Вони мають високу надійність, швидкодію і живучість. У них передбачені різні варіанти повної діагностики і резервування. Контролери цієї групи розраховані на десятки входів/виходів від датчиків і ВМ. Вони реалізують найпростіші типові функції обробки вимірювальної інформації, логічного керування і регулювання.

МІК-51 (МІКРОЛ) – компактний малоканалльний багатофункціональний мікропроцесорний контролер, призначений для автоматичного регулювання і логічного управління технологічними процесами (рис. 2.18).



Рисунок 2.18 - Мікропроцесорний контролер МІК- 51

Він призначений для застосування в електротехнічній, енергетичній, хімічній, металургійній, харчовій, цементній, скляній і інших галузях промисловості.

МІК-51 ефективно вирішує як порівняно прості, так і складні завдання управління. Завдяки малоканалльності МІК-51 дозволяє, з одного боку, економічно управляти невеликим агрегатом, з іншого – забезпечити високу живучість крупних систем управління.

Контролер МІК-51 дозволяє вести локальне, каскадне, програмне, супервізорне, багатозв'язкове регулювання.

Архітектура контролера забезпечує можливість вручну або автоматично включати, відключати, перемикаєти і реконфігурувати контури регулювання, причому, всі ці операції виконуються незалежно від складності структури управління. У поєднанні з обробкою аналогових сигналів контролер МІК-51 дозволяє виконувати також логічні перетворення сигналів і виробляти не тільки аналогові або імпульсні, але і дискретні команди управління.

МІК-51 містить засоби оперативного управління, розташовані на лицьовій панелі контролера (рис.2.18). Ці засоби дозволяють вручну змінювати режими роботи, встановлювати завдання, управляти ходом виконання програми, уручну управляти виконавчими пристроями, контролювати сигнали і відображати помилки.

Стандартні аналогові і дискретні датчики і виконавчі пристрої підключаються до контролера МІК-51 за допомогою індивідуальних кабельних зв'язків. У середині контролера сигнали обробляються в цифровій формі.

Контролери МІК-51 можуть об'єднуватися в локальну мережу шинної конфігурації. Через мережу контролери можуть обмінюватися інформацією в цифровій формі.

Програмування контролера виконується за допомогою клавіш передньої панелі або по інтерфейсу за допомогою спеціального програмного забезпечення – візуального редактора FBD-програм АЛЬФА.

Контролер МІК-51 – це комплекс технічних засобів. У його склад входить центральний мікропроцесорний блок контролера і клемно-блоковий з'єднувач. Центральний блок перетворює аналогову і дискретну інформацію в цифрову форму, веде обробку цифрової інформації і виробляє дії, що управляють.

3. Мережевий комплекс контролерів. Цей клас контролерів найбільш широко застосовується для керування ТП у всіх галузях промисловості. Мінімальний склад комплексу має ряд контролерів, кілька дисплейних пультів операторів, промислову мережу, що з'єднує контролери і пульти між собою.

Контролери мережного комплексу мають ряд модифікацій, що відрізняються одна від однієї потужністю, швидкодією, обсягом пам'яті, можливостями резервування і максимальним числом каналів входів/виходів, що забезпечує виконання ними широкого діапазону функцій контролю та керування.

Для дисплейних пультів використовуються різноманітні ПК у звичайному або промисловому виконанні з алфавітно-цифровими і спеціальними функціональними клавіатурами, з одним або декількома моніторами.

Промислова мережа може мати різну структуру: кільце, шина або зірка, що часто поділяється на сегменти, зв'язані між собою маршрутизаторами. Інформація, що передається по мережі — це ряд періодичних або випадкових у часі коротких повідомлень. Вони не можуть бути загублені, а для повідомлення вищого пріоритету (наприклад, даних) повинен бути і гарантований інтервал часу їхньої передачі.

Мережні комплекси контролерів мають верхні обмеження як за складністю функцій (виміру, контролю, розрахунку, блокування,

регулювання), так і за обсягом ТОУ – у межах тисяч параметрів контролю на окремий технологічний агрегат.

Контролери призначені для роботи в складі засобів автоматизації різної архітектури як пристрої нижнього рівня, але можуть успішно використовуватися в автономному режимі, завдяки наявності вбудованих пультів для інтерфейсу оператора з ТП або устаткуванням. Контролери орієнтовані на вирішення в приладовому або календарному часі завдань всережимного регулювання, програмно-логічного керування, реєстрації та архівування подій і процесів, а також – на рішення всіляких обчислювальних задач.

Мікропроцесорна техніка (МТ) — покоління засобів управління, яке включає мікропроцесорні інтегральні схеми, мікропроцесори (МП), мікропроцесорні системи (МПС), мікроЕОМ, контролери, програмовані мікропроцесорні контролери (ПМК), а також ПТК, ЕОМ і ПЕВМ.

Мікропроцесорна техніка складається з апаратних пристроїв і програмних продуктів (засобів).

Промислові контролери і комп'ютери, розташовані на середньому рівні АСУ ТП, грають роль елементів, що управляють, приймають цифрову інформацію і передають керуючі сигнали.

Контролери (мікроконтролери – МК) орієнтовані на виконання функцій управління з різними устроями. Мікроконтролер включає всі складові частини мікроЕОМ: 8-, 16-, або 32-розрядний мікропроцесор, пам'ять програм та пам'ять даних, а також програмуємі інтерфейсні схеми для зв'язку з зовнішнім середовищем.

Мікроконтролер (МК) — мікропроцесорний пристрій, який виконує функції логічного аналізу і управління по заданих алгоритмах без взаємодії з оператором.

Мікропроцесор (МП) – пристрій, який здійснює приймання, оброблення і видачу інформації. Мікропроцесор по своїх логічних функціях і структурі подібний до процесора звичайних комп'ютерів і оперує короткими словами 2..., 16..., 32..., 64..., 128... розрядів.

Основна функція МП — перетворювати інформацію. Проте, сам по собі МП ще не здатний здійснити переробку інформації, тобто вирішити конкретну задачу, його необхідно з'єднати з пристроєм, що запам'ятовує (ЗУ), і пристроєм вводу-виведення

(УВВ), запрограмувати і забезпечити обмін інформацією МП з цими пристроями.

Мікропроцесорна система (МПС) — сукупність взаємозв'язаних пристроїв, що складається з одного або декількох МП, ЗУ, УВВ і ряду інших пристроїв, що забезпечують виконання певних функцій.

Програмно-технічний комплекс (ПТК). Структура ПТК включає наступні компоненти: контролери — УЗО; засоби для формування міжмережевих взаємодій; АРМ-станцію оператора; АРМ служби АСУ ТП — станцію інжинірингу; сервер бази даних (БД); сервер додатків, що виконує складні розрахункові завдання; архівний сервер — станцію архівації; комунікаційний сервер, що забезпечує зв'язок з контролерами, УЗО, датчиками різних фірм-виробників, з іншими системами за допомогою модемів; системи безперебійного живлення; сервісні засоби для експлуатації, перевірки, контролю роботи, наладки і обслуговування.

Засоби МТ мають невеликі розміри, відносно низьку вартість, високу надійність, універсальність у функціональному відношенні, що дозволяє вбудовувати їх в технологічне устаткування і переходити до розподілених децентралізованих систем контролю і управління. Вони забезпечують переваги централізованого управління і мають високу надійність, характерну для класичних децентралізованих систем регулювання і управління.

Застосування МТ дозволяє здійснити безпосереднє цифрове управління; практично реалізувати будь-які алгоритми (програми) регулювання; здійснити функціональне перетворення сигналів, їх первинну статистичну обробку; здійснити тестові методи діагностики; сполучати засоби виробництва з моніторами і іншою периферією за допомогою стандартного інтерфейсу.

Технічні апаратні засоби призначені для первинної обробки технологічної інформації, зібраної датчиками, відображення інформації для обслуговуючого персоналу, обробки, формування і видачі керуючих дій на виконавчі пристрої.

Первинна обробка інформації включає операції усереднення, масштабування, порівняння із заданими значеннями, а також, при необхідності, реалізацію деяких математичних операцій: складання, віднімання, ділення, множення, витягання кореня, інтеграції і диференціювання.

Формування дій, що управляють, виконується за допомогою автоматичних регуляторів, програмованих контролерів, що реалізують стандартні закони регулювання: позиційний, пропорційний (П), пропорційно-інтегральний (ПІ), пропорційно-інтегрально-диференційний (ПІД) та інші. При цьому, разом з одноконтурними, можна сформувати каскадні, програмні, програмно-логічні і багатозв'язані системи регулювання з виходом на систему виконуючих пристроїв.

Разом з автоматичними регуляторами останнім часом використовуються пристрої логічного і програмного управління на основі апаратних засобів з жорсткою логікою функціонування і мікропроцесорних контролерів.

Відображення інформації для операторів (технологів) може бути реалізоване у вигляді аналогової і цифрової індикації, реєстрації, індикації за викликом на шкалах індикаторних табло або на дисплеях і екранах моніторів, а також включенням сигналізації при відхиленні параметрів процесів від заданих значень.

Згідно призначенню, до складу технічних апаратних засобів входять: пристрої статичного перетворення інформації (вимірювальні блоки, блоки обчислювальних операцій); пристрої динамічного перетворення інформації (автоматичні регулятори, контролери, блоки динамічного перетворення, диференціювання); пристрої оперативного управління (задатчики, блоки управління); логічні пристрої обробки дискретної інформації з «жорсткою логікою функціонування»; програмно-технічні комплекси (ПТК) і контролери.

До останнього часу роль контролерів в АСУ ТП, в основному, виконували PLC (Programmable Logic Controller – програмовані логічні контролери) зарубіжного і вітчизняного виробництва. Найбільш відомі у нашій країні PLC таких виробників, як Allen-Braidly, Siemens, АВВ, Modicon, «Constar», а також «Ломіконт», «Реміконт», «Мікродат», «Емікон» та інші.

В наш час все частіше використовуються РС-сумісні контролери (*programmable controller*), тобто контролери, сумісні з комп'ютером.

Програмований логічний контролер (PLC – *programmable logic controller*) – електронна складова промислового контролера спеціалізованого (комп'ютеризованого) пристрою, використовуваного для автоматизації технологічних процесів.

ПЛК є пристроями реального часу та мають ряд особливостей, що відрізняють їх від інших електронних приладів, вживаних в промисловості:

- на відміну від мікроконтролера (однокристального комп'ютера) – мікросхеми, призначеної для управління електронними пристроями, областю застосування ПЛК зазвичай є автоматизовані процеси промислового виробництва у контексті виробничого підприємства;
- на відміну від комп'ютерів, орієнтованих на ухвалення рішень і управління оператором, ПЛК орієнтовані на роботу з машинами через розвинене введення сигналів з датчиків і виведення сигналів на виконавчі механізми;
- на відміну від вбудованих систем, ПЛК виготовляються як самостійні вироби, окремі від керованого при його допомозі устаткування.

У системах управління технологічними об'єктами логічні команди, як правило, переважають над арифметичними операціями над числами, що дозволяє при порівняльній простоті мікроконтролера отримати могутні системи, які діють в режимі реального часу. У сучасних ПЛК числові операції в мовах їх програмування реалізуються нарівні з логічними. Всі мови програмування ПЛК мають легкий доступ до маніпулювання бітами в машинних словах, на відміну від більшості високорівневих мов програмування сучасних комп'ютерів.

Головна перевага РС-контролерів пов'язана з їх відкритістю, що дозволяє застосовувати в АСУ устаткування різних фірм. Тепер користувач не прив'язаний до конкретного виробника. Друга важлива перевага їх полягає в більш «споріднених» зв'язках з комп'ютерами верхнього рівня. В результаті чого не потрібні додаткові витрати на підготовку персоналу. Третя перевага – надійність. Зазвичай розрізняють фізичну і програмну надійність контролерів. Під фізичною надійністю розуміють здатність апаратури стійко функціонувати в умовах навколишнього середовища промислового цеху і протистояти її шкідливій дії. Під програмною – розуміється здатність програмного забезпечення (ПЗ) стійко функціонувати в ситуаціях, що вимагають реакції в заданий час.

Програмна надійність визначається, насамперед, ступенем відлагодженого ПЗ. Оскільки в більшості РС-контролерів

використовуються комерційні, широко поширені і добре відлагоджені операційні системи (Windows, Unix, Linux, QNX і інші), то слід чекати, що програмна надійність буде навіть вища, ніж у PLC.

Операційні системи контролерів повинні задовольняти не тільки вимогам відвертості, але і вимогам роботи в режимі реального часу, мають бути компактними і мати можливість запуску з постійно-записуючого пристрою (ПЗП) або флеш-пам'яті.

Для PC-контролерів краще всього підходить операційна система QNX (фірма QSSL, Канада). Перш за все, це пов'язано з тим, що архітектура QNX є відкритою, модульною і такою, що легко модифікується. QNX може завантажуватися як з ПЗП, флеш-пам'яті, так і за допомогою видаленого завантаження по мережі. QNX розроблена відповідно до стандартів POSIX, є комерційною операційною системою, широко поширена на світовому ринку, підтримує всі шини, використовувані в PC-контролерах. Більше ста фірм - виробників програмного і апаратного забезпечення випускають продукцію, орієнтовану на QNX.

QNX є операційною системою, яка дає повну гарантію в тому, що процес з найвищим пріоритетом почне виконуватися практично негайно, і що критична подія (наприклад, сигнал тривоги) завжди буде оброблена. Вона відома як операційна система, що функціонує в "захищеному режимі". Це означає, що всі програми в системі захищені одна від однієї і будь-яка "фатальна" помилка в одній з програм не призводить до "краху" всієї системи. Файлова система QNX була розроблена з урахуванням забезпечення цілісності даних при відключеннях живлення. Навіть при форс-мажорному відключенні живлення будуть втрачені лише деякі дані з кеш-пам'яті, але файлова система не руйнуватиметься. Після включення комп'ютера буде забезпечена нормальна робота системи.

У QNX повністю реалізована вбудована мережева взаємодія "точка-точка". По суті, мережа з машин QNX діє як один могутній комп'ютер. Будь-які ресурси (модеми, диски, принтери) можуть бути додані до системи простим підключенням до будь-якої машини в мережі. QNX підтримує одночасну роботу в мережах Ethernet, Arcnet, Serial і Token Ring і забезпечує більш ніж один шлях для комунікації, а також балансування навантаження в мережах. Якщо кабель або мережева плата виходять з ладу і зв'язок

припиняється, то система автоматично перенаправлятиме дані через іншу мережу. Це надає користувачеві автоматичну мережеву надмірність і збільшує швидкість і надійність комунікацій у всій системі.

Специфіка роботи з контролерами в порівнянні із звичайними офісними комп'ютерами полягає не тільки в орієнтації на роботу з платами вводу-виводу, але і в переважному використанні мов технологічного програмування. Як правило, на промислових підприємствах з контролерами працюють не програмісти, а технологи, що розуміють специфіку об'єктів управління і технологічного процесу. Для опису процесів зазвичай використовуються такі мови, як мова релейно-контактних схем, функціональних блоків, теоретичні основи яких взяті з методів автоматичного управління. Накопичений багатьма фірмами досвід був узагальнений у вигляді стандарту ІЕС 1131-3, де визначено п'ять мов програмування контролерів: SFC – послідовних функціональних схем, LD – релейних діаграм, FBD – функціональних блокових діаграм, ST – структурованого тексту, IL – інструкцій. Використання даного стандарту повністю відповідає концепції відкритих систем, робить програму для контролера незалежною від конкретного устаткування – ні від типу процесора, ні від операційної системи, ні від плат вводу-виведення.

В даний час програми багатьох фірм підтримують цей стандарт: ACCON-Prosys 1131 (фірма DeltaLogic), Open DK (фірма infoteam Software GMBH), Multiprog (фірма KW Software), NAI S Control (Matsushita Automation Controls) і інші.

Найбільш відомою реалізацією цього стандарту є пакет ISaGRAF фірми CJ International, що включає систему розробки (WorkBench) і систему виконання (Target). Якщо перша використовується для створення, моделювання, тестування і документування прикладних програм, що виконуються під управлінням ядра ISaGRAF, то друга завантажується ззовні або записується в ПЗП. За даними організації PLCopen, в даний час програма, створена за допомогою ISaGRAF, може бути завантажена і виконана на процесорах Intel і Motorola під управлінням операційних систем OS-9, QNX, iRMX, Lynx, pSOS, OS-9000, VMEexec, VRTX, VxWorks, Windows, тощо. Основними достоїнствами ISaGRAF є простий, інтуїтивно зрозумілий для технолога графічний інтерфейс, вбудовані засоби відлагодження,

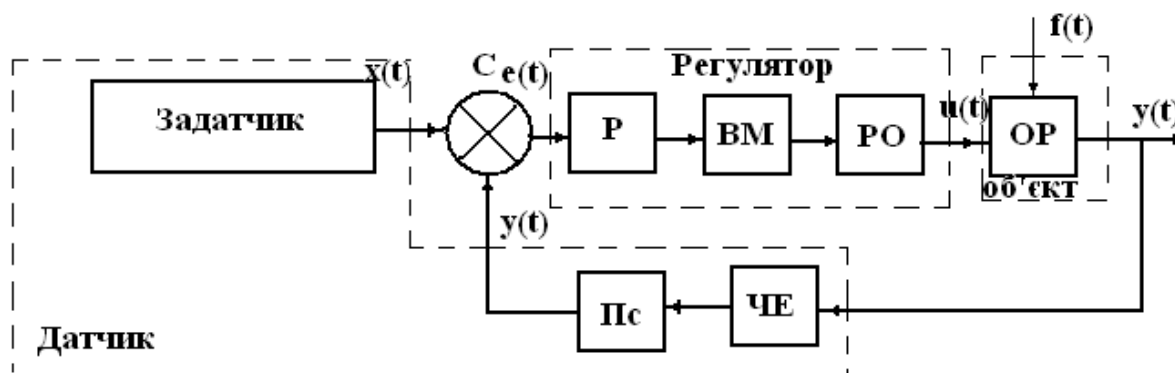
моделювання, тестування і документування програм, підтримка промислових мереж (Profibus, Modbus).

У якості прикладу контролера, побудованого на базі концепції відкритих систем можливо розглянути контролер CS104 фірми Steinhoff. Це компактний, модульний і PC-сумісний контролер, який може комплектуватися устаткуванням будь-якої фірми, що поставляє плати у форматі PC/104, зокрема плати вводу-виводу, жорсткі диски, PC-карти, флеш-пам'ять і так далі. Базовий комплект контролера фірми Steinhoff складається з процесорного модулю, що включає процесор, 4-Мбайт динамічне ОЗУ, інтерфейси для клавіатури та миші, двох послідовних і одного паралельного портів, 128-Кбайт флеш-пам'яті, таймеру реального часу, сторожового таймеру, Ethernet. Для ОС QNX забезпечується видалене завантаження по мережі. За розсудом користувача контролер CS104 може бути укомплектований одним з наступних інтерфейсів для промислових мереж: Profibus, CAN, InterBus-S, LonWorks, II/O Lightbus, до кожного з яких поставляються драйвери, що працюють в QNX.

Для технологічного програмування використовується пакет ISaGRAF з виконавською системою для ОС QNX. Така архітектура ПЗ дозволяє на працюючій системі здійснювати видалене програмування (на технологічних мовах IL, ST, FB, SFC, LD) і відлагодження в захищеному режимі елементів додатку, обслуговуючих окремі 32-розрядні завдання робочого процесу, що гарантує високу надійність роботи системи в цілому.

Взаємодію контролеру зі SCADA-системами забезпечують драйвери для декількох пакетів, таких як RealFlex, Sitex і інші. Таким чином, контролер CS104 дозволяє побудувати систему АСУ ТП з використанням стандартних компонентів, що володіє модульністю і масштабованістю, тобто повною мірою відповідає концепції відкритих систем.

Регулятори. Система автоматичного регулювання (САР) складається з об'єкта регулювання, датчика і автоматичного регулятора (рис. 2.19).



С – суматор; Р – регулятор; ВМ – виконавчий механізм; РО – регулюючий орган; ОР – об'єкт регулювання; ЧЕ – чутливий елемент; Пс – підсилювач-перетворювач

Рисунок 2.19 – Структурна схема системи автоматичного регулювання

Як правило, сучасні технології складаються із взаємозалежних сукупностей технологічних процесів, що чергуються в часі, їхніх хронологічних послідовностей. Вони мають певні структури з входами та виходами, фактори, що на них впливають, керуючі дії для оптимізації технологічних параметрів та одержання продукту стандартної якості.

Для здійснення регулювання до об'єкту підключається комплекс устроїв, який у сукупності є регулятором. Об'єкт та регулятор представляють собою систему автоматичного регулювання.

На САР діють деякі зовнішні фактори, які прагнуть вивести неї з рівноважного стану. Ці фактори називаються збуреннями $f(t)$. Збурення бувають: сходячкові, імпульсні, гармонійні, стохастичні, «білий шум».

Метою САР є підтримка постійною деякої величини (параметра), що характеризує процес або зміну її за заданим законом (алгоритмом), при якому регульована величина мало відрізняється від заданого значення.

Існують три принципи побудови САР, що забезпечують реалізацію необхідного закону зміни регульованої величини:

- по розімкнутому циклу (принцип Понселе, за збуренням);
- по замкнутому циклу (принцип Ползунова-Уатта, по відхиленню);
- по комбінованому циклу (по замкнено-розімкнутому принципу).

Сутність принципу Понселе полягає у тому, що регулювання по збуренню або по компенсації засновано на тому, що з сукупності обурень $f(t)$, що діють в системі, вибирається одне, головне, на яке реагує САР. При цьому компенсується вплив на регульований параметр $y(t)$ тільки основної збурюючої дії і регулююча дія $u(t)$ формується в САР згідно з результатами вимірювання головного збурюючого чинника, що діє на об'єкт (рис. 2.20).

Перевага цього принципу у тому, що вплив збурюючої дії $f(t)$ внаслідок дії регулятора на об'єкт може бути усунено до того, як відбудеться відхилення регульованого параметра. Регульований параметр $y(t)$ на виході об'єкту не пов'язаний з входом регулятора. Регулююча дія $u(t)$ залежить ні від протікання процесу в об'єкті, ні від регульованого параметра, а формується лише збурюючою дією і законом управління, що реалізується регулятором.

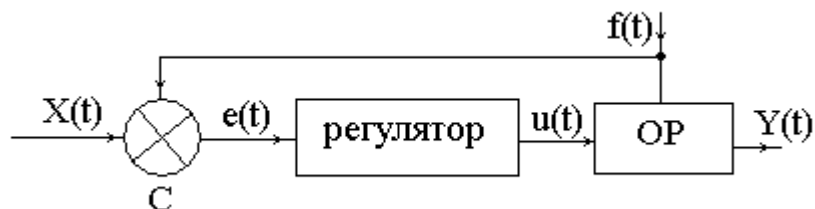


Рисунок 2.20 – Схема САР за збуренням:

$$e(t) = x(t) - y(t) \text{ — розузгодження}$$

Сутність принципу Ползунова-Уатта в тому, що регулювання по відхиленню базується на тому, що будь-яке відхилення регульованого параметра $y(t)$ від його заданого значення $x(t)$ обумовлює формування регулюючої дії $u(t)$ незалежно від кількості, виду і місця прикладення збурень (рис. 2.21).



ЗЗ — зворотній зв'язок

Рисунок 2.21 – Схема САР за відхиленням

Регульований параметр $y(t)$ порівнюється із заданим значенням $x(t)$, визначається різниця (розузгодження)

$e(t) = x(t) - y(t)$, і регулятор виробляє регулюючу дію $u(t)$, тобто для формування регулюючої дії необхідна наявність помилки, що є недоліком.

Комбінований (замкнуто-розімкнений) принцип регулювання по відхиленню і по збуренню поєднує достоїнства і недоліки описаних вище принципів (рис. 2.22).

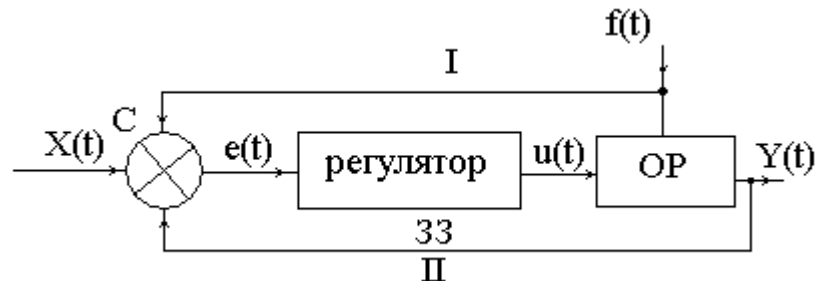


Рисунок 2.22 – Схема комбінованої САР

У комбінованій САР дія по навантаженню (збуренню) $f(t)$ забезпечує негайне формування регулюючої дії $u(t)$ згідно змінам навантаження (контур I) і по відхиленню (контур II), для усунення погрешностей, що виникають в результаті неточності регулювання за навантаженням.

Регулятор (Р) — це автоматичний пристрій, що реагує на відхилення регульованого параметра від заданого значення і змінює приток речовини або енергії в реалізований об'єкт для підтримки рівноважного стану. Регулятор складається з вимірювальних пристроїв, виконавчого механізму, регулюючого органу і ліній зв'язку.

Вимірювальний пристрій (датчик) сприймає вимірювання регульованого параметра за допомогою чутливого елементу (ЧЕ), перетворює і підсилює отриману сформовану дію за допомогою підсилювача-перетворювача для управління подальшими елементами регулятора.

Керуючий пристрій (регулятор) призначений для сприйняття дії від вимірювального пристрою. Він порівнює дію від вимірювального пристрою з дією від задаючого елементу (задатчика) в суматорі (С) і виробляє сигнал (розузгодження), пропорційний заданому значенню регульованого параметра. Керуючий пристрій підсилює отриману різницю (розузгодження) і управляє подачею речовини або енергії за допомогою виконавчого механізму.

Виконавчий механізм призначений для переміщення регулюючого органу (РО) під впливом сигналу розузгодження, отриманого від керуючого пристрою.

Регулюючий орган служить для дії на об'єкт регулювання (ОР) за допомогою збільшення або зменшення подачі речовини або енергії в об'єкт.

Для забезпечення необхідної дії регулятора на регульований об'єкт в перехідному процесі, тобто для переходу від старого сталого стану процесу до нового, призначені зворотні зв'язки. У перехідному процесі регулятор не завжди може забезпечити необхідний характер зміни регульованого параметру, що обумовлює наявність перерегулювання, тобто великого відхилення регульованого параметра від заданого значення, що неприпустимо для оптимального протікання процесу. Зворотний зв'язок стабілізує процес в перехідній період. Отже, керуючий пристрій одночасно знаходиться під дією вимірювального і задаючого пристроїв, а також зворотного зв'язку. Дія, яку отримує регулятор від об'єкту за допомогою вимірювального пристрою, називається головним або зовнішнім зворотним зв'язком. Окрім цього, є внутрішні зворотні зв'язки, що дозволяють змінювати характеристику регулятора. Як зазначалося вище, внутрішні зворотні зв'язки бувають позитивними і негативними. Позитивний зворотний зв'язок діє на попередній елемент системи з тим же знаком, з яким на нього проводиться основна дія від вимірювального пристрою. Ефект позитивного зв'язку полягає в посиленні основного сигналу, що діє. Негативний зворотний зв'язок діє із знаком, протилежним знаку основної дії. Такий зв'язок забезпечує більшу стійкість системи, значно зменшує інерційність, збільшує ступінь загасання, змінює динамічну характеристику перехідного періоду.

У свою чергу, зворотні зв'язки бувають жорсткими і гнучкими (пружними). Жорсткий зворотний зв'язок передає імпульс, пропорційний вихідній величині. Введення такого зв'язку приводить до формування статичної системи регулювання із статичною помилкою, але при цьому має місце швидке загасання коливань параметрів системи в перехідній період. Гнучкий зворотний зв'язок передає імпульс, пропорційний швидкості зміни вихідної величини. Цей зв'язок при сталому режимі працює так само, як і системи без зворотних зв'язків, що забезпечує системі астатичне регулювання, тобто в цьому випадку відсутня статична

помилка. У перехідній період гнучкий зворотний зв'язок зменшує коливання, але повільніше, ніж при жорсткому зворотному зв'язку.

У регуляторах може використовуватися синтез гнучкого і жорсткого зворотних зв'язків, що формує гнучкий ізодромний зв'язок. Цей зв'язок забезпечує стійке регулювання системи без статичної помилки.

Жорсткий зворотний зв'язок формується важелем, важельно-пневматичним, важельно-гідравлічним, лекальним, електричним мостовим, електронним і іншими пристроями.

Гнучкий зворотний зв'язок може створюватися в сильфонно-пневматичній системі сильфонами і важелем зворотного зв'язку, що діє на дросельну заслінку; у електричній мостовій системі — резисторами (опорами), які підігріваються нагрівачами.

Будь-яка САР складається з 2-х основних елементів: об'єкту регулювання і регулятора.

Об'єкт регулювання — це машина, апарат або інша структура, в якій протікає деякий технологічний процес. Залежно від структури ОР підрозділяються на одновимірні — мають по одній вхідній і одній вихідній змінній (наприклад, збірник води) і багатовимірні — мають число векторів вхідних і вихідних змінних більш ніж за одиницю (наприклад, два послідовно сполучених збірники води).

Основними властивостями об'єктів регулювання є: ємність об'єкту, самовирівнювання, час розгону об'єкту і запізнювання.

Ємність об'єкту — здатність об'єкту акумулювати речовину або енергію.

Самовирівнювання — властивість об'єкту регулювання після внесення збурення (наприклад, порушення рівноваги між притокою і витратою речовини) самостійно, без участі людини або регулятора, переходити в новий рівноважний стан. Самовирівнювання сприяє швидшій стабілізації регульованої величини і, отже, полегшує функціонування регулятора.

Об'єкти регулювання, що володіють властивістю самовирівнювання, називаються статичними, а ті, що не мають цієї властивості — астатичними.

2.2.7. Автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора

До другого рівня в системі автоматичного управління (рис. 2.4) відносять автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора (оператора-технолога, хіміка-аналітика).

Робота оператора-технолога. Автоматизоване робоче місце оператора-технолога оснащено персональними комп'ютерами (ПК) і прикладними програмами, призначеними для реалізації окремих функцій (наприклад, виміру параметра) або блоків функцій (наприклад, керування технологічною операцією). Всі АРМ приєднані до єдиної технологічної платформи, що працює на базі потужного сервера.

АРМ – це комплекс об'єднаних між собою технічних модулів, забезпечений програмними засобами і здатний реалізувати закінчену інформаційну технологію. У комплекс входять наступні модулі: процесор, дисплей, принтер, клавіатура, маніпулятор «миша», плотер, сканер, стример, устаткування для дистанційної передачі даних. Програмними елементами АРМ є операційні системи, системи керування базами даних, пакети прикладних програм, спеціальні програми, графічні і текстові редактори, табличні процесори і так далі. Таким чином, мова йде про комплекс технічного й програмного забезпечення – інструмент будь-якого користувача.

Поняття АРМ багато хто часто зв'язують тільки з комплексом технічних і програмних засобів, що забезпечують рішення певних функціональних завдань кінцевого користувача. Однак на практиці поняття АРМ охоплює проблеми від створення систем розподіленої обробки даних (з визначенням інформаційних рівнів) до рішення ергономічних питань (розташування і состав технічних засобів, зручність користування ними, тощо).

Основні функції АРМ оператора: контроль технологічних параметрів; звукова і світлова сигналізація; керування регуляторами, клапанами, дискретними ВМ; контроль і керування програмно-логічними операціями протиаварійного захисту (ПАЗ); запам'ятовування передісторії параметрів у формі трендів; формування режимних аркушів, протоколів порушень, спрацьовування блокувань і захистів із вказівкою причини; розрахунок узагальнених показників якості технологічного процесу (ТП).

Інформація, що видається на монітор, групується на відеокадрах за функціональною ознакою і відображається у вигляді фрагментів технологічних схем, графіків, таблиць, гістограм. Вона надається операторові за принципом «деталізація зверху вниз» (від загального до частки). У системі передбачені відеокадри: стандартні і мнемосхеми.

Стандартні відеокадри (вікна) включають:

- протокол подій (по системі в цілому, технологічним відділенням);
- «настроювання» – таблицю операторного настроювання для кожного параметра;
- групові і одиночні тренди;
- доступ до системи (таблиця прав доступу до функцій системи для кожного користувача);
- меню друкованих документів: відеокадри, у тому числі «оглядове табло», тобто узагальнений кадр системи (перший рівень деталізації) в якому інформація про стан цеху (відділення) поділена на технологічні ділянки, і назви яких висвічуються на відеокадрі; зміна кольорів назв (зелений, жовтий, червоний) указує на появу сигналізації на відповідній технологічній ділянці;
- «ділянка» (установка, агрегат), тобто другий рівень деталізації: інформація про стан параметрів однієї технологічної ділянки. При цьому всі його змінні умовно розбиваються на функціонально зв'язані групи. Зміна кольорів назв груп змінних (зелений, жовтий, червоний) указує на появу сигналізації на відповідній технологічній ділянці;
- «група змінних» (третій рівень деталізації) – докладна інформація про технологічні змінні; при цьому передбачений вивід на мнемосхеми (екран монітора) наступних динамічних елементів: поточного значення аналогової змінної в цифровій формі; стан дискретної змінної у вигляді написів «вкл.», «вимкн.», «відчин.», «зачин.»; динамічного барографу; динамічного елемента миготіння певного поля мнемосхеми; динамічної віртуальної клавіші, при натисканні на яку відбувається перехід від поточної мнемосхеми на вибір на будь-яку іншу; динамічної області мнемосхеми, на якій можуть висвічуватись різні «картинки» залежно від взаємного стану дискретних сигналів й інших логічних змінних, і багатьох інших.

У системі передбачені формування і відображення на моніторі, а також друк «протоколу подій» – звітнього документа, у якому в хронологічному порядку фіксуються всі події в системі; звітних документів довільної форми; «протоколів перед аварійного та після аварійного станів».

Основні функції АРМ оператора:

- 1) моделювання об'єкта і САР, виконання функцій АРМ операторів;
- 2) настроювання програм на конкретне застосування, навчання операторів-технологів керуванню ТП в умовах АСУ ТП на базі двох ПЕОМ, одна з яких виконує роль моделі об'єкту, друга – АРМ оператора АСУ ТП, на якій оператор здобуває навички керування ТП.

Основні функції АРМ хіміка-аналітика:

- 1) прийом і зберігання аналітичних сигналів;
- 2) керування відбором проб і режимами роботи аналізаторів якості;
- 3) обробка результатів у режимах градуювання і аналізу;
- 4) ручне уведення і ведення архіву аналітичних даних;
- 5) формування звітних документів.

ПЕОМ зв'язані між собою, наприклад, послідовним інтерфейсом RS-485. Обмін даними передбачає передачу керуючих дій від ПЕОМ навчання до ПЕОМ моделі і назад – від моделі розрахованих значень змінних.

Видачу керуючих дій оператор здійснює із клавіатури ПЕВМ навчання, а збурюючих дій – із клавіатури моделі. Крім того, збурення може бути задано цугом прямокутних імпульсів або синусоїдальною хвилею, випадковим образом.

2.2.8. Устаткування дистанційної передачі

Устаткування для дистанційної передачі даних, як вже повідомлялося, входить до комплексу технічних модулів АРМ. Це – перетворювачі, що передають, або вимірювальні перетворювачі (ПП) та первинні вимірювальні перетворювачі (ПВП).

ПП – це вимірювальний перетворювач, призначений для дистанційної передачі сигналу вимірювальної інформації. Вхід ПП знаходиться під впливом якого-небудь сигналу, пропорційного вимірюваній фізичній величині, який виробляється первинним

вимірювальним перетворювачем (датчиком), чутливий елемент якого перебуває в безпосередньому контакті із середовищем, фізичний параметр якого вимірюється. Іноді в якості ПП може бути використаний ПВП, якщо вихідний сигнал останнього відповідає вимогам, що збігаються з умовами передачі по лініях зв'язку (ЛЗ) і по входу приймального пристрою або УЗО. Сучасні ПВП часто виконуються як єдине конструктивне ціле із ПП.

Ряд ПВП (або модулів) мають вихідні сигнали, що відповідають вимогам державної системи приладів (ДСП), які можуть бути сприйняті ПТК АСУ ТП. Однак безпосередньо їх включити в керуючу систему не завжди можливо. Це можна здійснити лише через УЗО, тому що тільки останні мають функцію гальванічної розв'язки між джерелами вимірювального сигналу і іншими елементами системи.

Передавальні пристрої (ПП) і системи дистанційної передачі (СДП) підрозділяються на дві великі групи: з уніфікованими сигналами, що відповідають вимогам ДСП, і з уніфікованими природними сигналами, які використовуються в тім виді, у якому вони отримані за допомогою вимірювального перетворювача фізичної величини, не піддавшись подальшому перетворенню.

Розглянемо деякі перетворювачі, що використовуються в промисловості.

Широке застосування у промисловості одержали уніфіковані перетворювачі, що функціонують за принципом *силової компенсації*. Принципова спрощена схема уніфікованого електросилового перетворювача наведена на рис. 2.23.

Вимірювана фізична величина впливає на чутливий елемент вимірювального пристрою і перетворюється в зусилля P , що пропорційне значенню фізичної величини. Це зусилля через важільну систему 1 електросилового перетворювача врівноважується зусиллям $P_{зс}$, створюваним магнітоелектричним пристроєм зворотного зв'язку. При зміні вимірюваної фізичної величини і зусилля P відбувається незначне (кілька мікронів) переміщення важільної системи 1 і пов'язаного з нею керуючого прапорця 4. Індикатори неузгодженості 5 диференційно-трансформаторного типу перетворюють це переміщення в керуючий сигнал у вигляді напруги змінного струму.

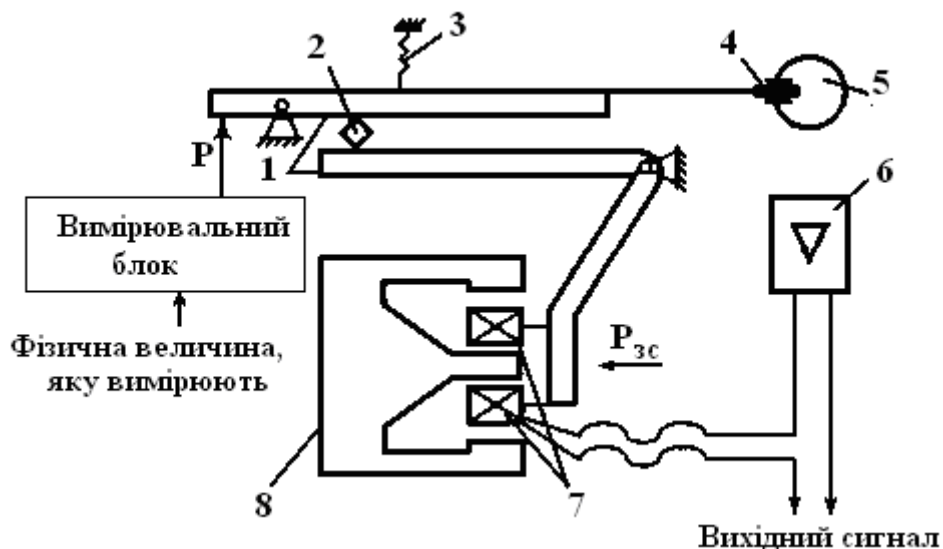


Рисунок 2.23 – Принципова схема уніфікованого електросилового перетворювача (пояснення в тексті)

Керуючий сигнал надходить на електронний нормуючий підсилювач 6. Після посилення і випрямлення вихідний сигнал у вигляді постійного струму надходить у лінію дистанційної передачі і одночасно – у послідовно з'єднані з нею обмотки рамок 7 магнітоелектричного пристрою 8 електросилового перетворювача, де він перетворюється в пропорційне механічне зусилля зворотного зв'язку P_{zc} , яке врівноважує за допомогою важільної системи вимірюване зусилля P .

Таким чином, мірою зусилля P є сила постійного струму, що необхідна для створення зусилля, що врівноважує, зворотного зв'язку P_{zc} . Межі зміни вихідного сигналу постійного струму – 0-5 або 4-20 мА, що забезпечується використанням відповідних типів електронних підсилювачів. Перетворювач настраюється на заданий діапазон виміру за допомогою плавної зміни передатного відношення важільної системи, що виробляється переміщенням сухаря 2. Точна установка початкового значення вихідного сигналу перетворювача (нуля приладу) виробляється за допомогою пружини 3 коректори нуля.

Наступним видом приладів для дистанційної передачі даних є прилади та пристрої *частотно-феродинамічної системи*, в яких використовуються уніфіковані сигнали у вигляді синусоїдальної напруги промислової частоти, що змінюється по амплітуді, яка є функцією переданої величини. У приладах і пристроях цієї системи для одержання уніфікованих сигналів звичайно використовується

проміжне перетворення вхідної величини в лінійне переміщення або кут повороту, що сприймаються феродинамічними або струнними перетворювачами і перетворюються ними в уніфікований сигнал.

Для формування уніфікованих сигналів постійного струму знаходять широке застосування *тензорезисторні перетворювачі «Сапфір»*. Принцип їхньої дії заснований на використанні тензорезисторного ефекту в монокристалічній гетероепітаксіальній плівці кремнію, вирощеної на сапфірній мембрані (КНС-структурі). Під дією вимірюваної фізичної величини відбувається деформація сапфірової мембрани, і в кремнієвих тензорезисторах виникають механічні напруги. Їхні опори змінюються, що викликає появу на виході електричного сигналу, які за допомогою нормуючого підсилювача приводяться до уніфікованого виду 0 - 5, 0 - 20 або 4 - 20 мА.

Чутливий елемент перетворювача «Сапфір» являє собою тензомодуль мембранного або мембранно-важільного типу, що розміщується усередині порожнини вимірювального блоку первинного перетворювача, заповнюваної поліметилсілоксановою рідиною. Конструкція уніфікованого тензорезисторного перетворювача наведена на рис. 2.24.

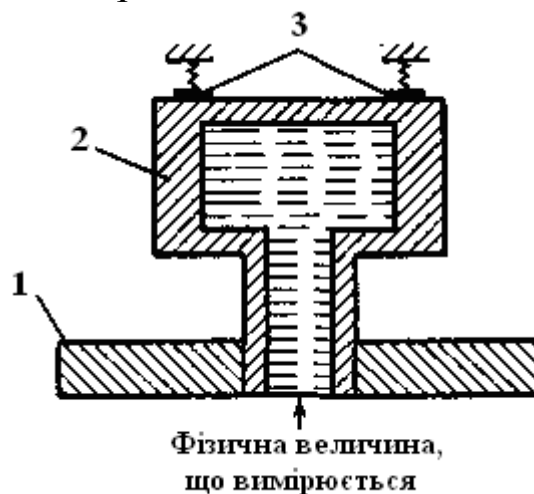


Рисунок 2.24 – Уніфікований тензорезисторний перетворювач «Сапфір»

Він складається з підставки 1, на якій закріплений тензомодуль 2 мембранного типу з нанесеними на нього у вигляді монокристалічної плівки чутливими елементами 3. Зміна опору тензорезисторів, є пропорційною зміні вимірюваної фізичної величини, яка діє на мембрану, викликаючи її прогин, та

перетворюється за допомогою вбудованого електронного пристрою в струмовий вихідний сигнал.

Достоїнством тензорезисторних перетворювачів є швидкодія, підвищена вібростійкість, малі габаритні розміри та й маса.

Як уже вказувалося, в системах дистанційної передачі із природними сигналами, сигнал вимірювальної інформації, що подається в лінію зв'язку від передавального перетворювача, не приводиться до уніфікованого (нормалізованому) виду. Використання природних сигналів менш зручно, чим уніфікованих, однак перетворювачі і системи дистанційної передачі із природними сигналами досі широко застосовуються. Це можна пояснити тим, що вони були розроблені до створення і впровадження системи ДСП. Наприклад, у ряді випадків, при виконанні локальних завдань по виміру температури, тиску, рівня, тощо вони простіше і дешевше перетворювачів і систем з уніфікованими сигналами, тому що до них не пред'являються тверді вимоги функціонування в єдиному комплексі з іншими пристроями та приладами.

Для безперервного виміру тиску, витрати, рівня, розрядження та інших параметрів, контрольованих при веденні технологічних процесів широко застосовується *диференційно-трансформаторна система*. Пристрою цієї системи можуть бути сумісні із пристроями електричної аналогової галузі ДСП. Схема диференційно-трансформаторної системи дистанційної передачі представлена на рис. 2.25.

Принцип дії цієї системи заснований на компенсації різниці трансформованих напруг у котушках передавального пристрою 7 і прийомного пристрою 8. Зі зміною вимірюваного параметру змінюється положення чутливого елемента 3 і переміщається сердечник диференціального трансформатора 2. Внаслідок зміни взаємоіндукції між первинною обмоткою збудження і двома вторинними обмотками, включеними назустріч одна одній, переміщення сердечника передавального пристрою перетворюється в напругу електричного струму.

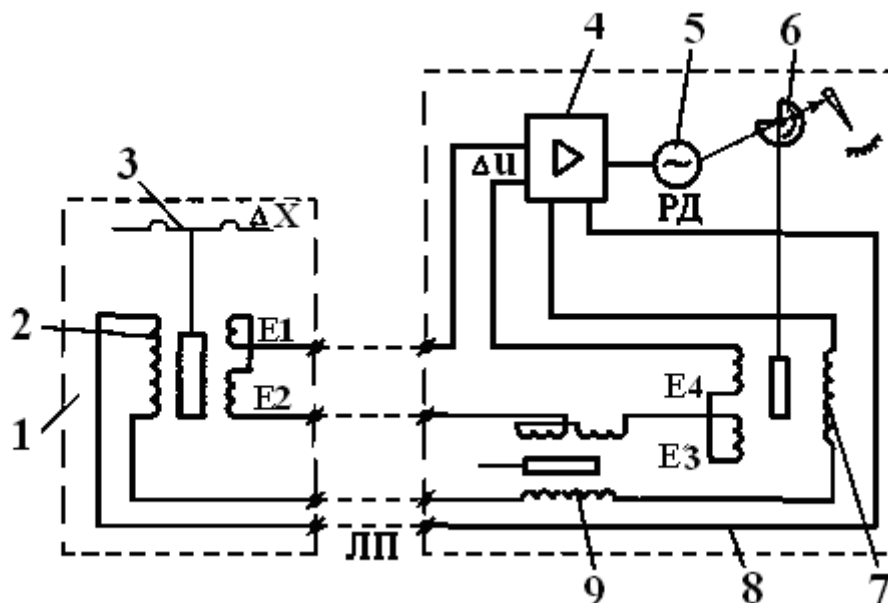


Рисунок 2.25 – Принципова схема диференційно-трансформаторної системи дистанційної передачі (пояснення в тексті)

Диференційна дія котушки заснована на тім, що переміщення сердечника в певному напрямку викликає відповідну зміну напруги в одній із вторинних обмоток і зворотну зміну напруги в іншій.

У систему входять три однакові котушки: диференційний трансформатор передавального приладу 2, диференційний трансформатор прийомного пристрою 7 і диференційний трансформатор регулювання нуля (служить для настроювання системи) 9, а також – електронний підсилювач 4 і двофазний реверсивний асинхронний електродвигун 5, що приводить в рух за допомогою профільного кулачка 6 сердечник котушки 7. З вихідним валом реверсивного двигуна 5 з'єднана стрілка відлікового пристрою вимірювального приладу. Первинні обмотки котушок з'єднані послідовно і живляться змінним струмом від силового трансформатора, встановленого в блоці електронного підсилювача 4. Вторинні обмотки включені зустрічно і підключені на вхід електронного підсилювача.

Коли сердечник котушки 2 перебуває в середньому (нейтральному) положенні, ЕРС, які індукуються у вторинних обмотках E1 та E2, рівні і спрямовані назустріч одна однієї. Це положення визначається рівнянням $\Delta U_1 = E_1 - E_2$.

Якщо сердечник котушки 7 теж перебуває в середнім положенні, різниця ЕРС у вторинних обмотках цієї котушки Е3 та Е4 також дорівнює нулю: $\Delta U_2 = E_3 - E_4 = 0$.

З рівняння слідує, що при однакових параметрах котушок напруга на вході в підсилювач дорівнює нулю й система перебуває в спокої. У цьому випадку сигнал розбалансу дорівнює нулю і можна записати:

$$\Delta U = \Delta U_1 - \Delta U_2 = 0.$$

При відхиленні положення сердечника котушки 2 від нейтрального змінюється розподіл магнітних потоків у вторинних обмотках. Отже, індуковані в них ЕРС не будуть рівними і у ланцюзі виникне струм, напруга якого визначиться виразом: $\Delta U = \Delta U_1 - \Delta U_2$.

Величина цієї напруги є функцією переміщення сердечника котушки 2, а фаза залежить від напрямку відхилення сердечника від середнього положення.

Сигнал розбалансу ΔU подається на вхід електронного підсилювача 4 і після посилення надходить на обмотку керування реверсивного двигуна 5, що за допомогою кулачка 6 переміщає сердечник котушки 7 доти, поки різниця напруг ΔU знову не стане рівної нулю. Одночасно з переміщенням сердечника переміщається стрілка відлікового пристрою і перо пишучого механізму, що пов'язані з реверсивним двигуном. Таким чином, кожному положенню сердечника котушки 2 первинного приладу відповідає певне положення сердечника котушки 7 вторинного приладу.

Слід зазначити, що погрішність диференційно-трансформаторної системи при передачі даних на відстань до 250 м становить $\pm 0,5 - 1,0\%$, а на відстань до 1 км вже $\pm 2,5\%$.

Розповсюдженою системою дистанційної передачі показань вимірювальних засобів на відстань є *реостатна (омічна)* система, принцип дії якої заснований на використанні реостатних датчиків і електровимірювальних приладів у якості вимірювальних пристроїв. Реостатні датчики застосовуються для перетворення сигналів, формованих при переміщенні чутливих елементів перетворювачів або вимірювальних приладів, у сигнали електричної напруги або сили струму, що подаються в лінії зв'язку або наступні перетворювачі. Змінним параметром у такому випадку є активний дровий або не дровий опір, розподілене лінійно або за заданим

законом на шляху переміщення движка реостатного датчика або потенціометра.

Існує велика кількість конструкцій реостатних датчиків: каркасні, стрічкові та інші.

Недоліками реостатних датчиків є застосування ковзних електричних контактів, необхідність застосувань движків, що вимагає значних зусиль, а також – значний вплив зміни опору сполучних ліній.

Знаходить застосування *індуктивна система дистанційної передачі*, що функціонує за принципом самоврівноваженого мосту змінного струму. Вона складається із двох електричних котушок, з'єднаних у мостову схему. Кожна котушка містить по дві секції, що представляють собою соленоїди, усередині яких вільно переміщуються залізні плунжери-сердечники. Одна з котушок встановлюється в передавальному пристрої, і її сердечник зв'язується з кожним з його елементів, що рухаються. Друга котушка встановлюється в прийомному пристрої, і його сердечник, повторюючи рух сердечника передавального пристрою, надає руху запилючому або механізму, що показує.

Такі ПВП (датчики) вимагають більших зусиль для перестановки сердечника, що спричиняє погрішність порядку $\pm 2 - 2,5\%$. Відстань між датчиками і приладом визначається гранично припустимим опором сполучних дротів, яке не повинне бути більше 3 Ом.

Значне застосування мають *сельсинні системи дистанційної передачі*, які засновані на використанні сельсинів — невеликих електричних машин змінного струму. Ці системи іноді називають індукційними само синхронізуючими системами змінного струму. Вони складаються із двох електричних зв'язаних і зовсім однакових асинхронних машин. Одна з них є датчиком, а інша – приймачем.

Часто електричні сигнали виражаються і передаються від одних пристроїв системи до інших у вигляді сигналів, утворених шляхом *модуляції*, тобто шляхом зміни параметрів якого-небудь носія. Носіями можуть бути постійний струм, змінний синусоїдальний струм або напруга і імпульсний струм.

2.2.9. Обчислювальна мережа цеху, підприємства

Велике число сучасних автоматизованих систем керування формуються на основі застосування промислових комп'ютерних систем, що виконують функції центрального елемента (ланки) збору, обробки інформації, а також виробітку і передачі керуючих сигналів на виконавчі пристрої.

В АСУ ТП поряд з автоматичними регуляторами використовуються пристрої логічного і програмного керування на основі апаратних засобів із твердою логікою функціонування та мікропроцесорних контролерів.

Відображення інформації для операторів (технологів) реалізується у вигляді аналогової і цифрової індикації, реєстрації, індикації по виклику на шкалах індикаторних табло, або на дисплеях і екранах моніторів, а також включенням сигналізації відхилення параметрів процесів від заданих значень.

Загальна концепція побудови автоматизованих систем керування наступна:

Апаратура: модулі вводу/виведення → локальний ПЛК → мережевий ПЛК або ПМК → промисловий ПТК+SCADA-система+комунікації зв'язку.

Операційна система: фірмова ОС → універсальна ОС РВ → Windows → Windows+розширення РВ → Unix → ОС РВ QNX й інші.

Програмування: спеціальні засоби → мови IES — 1131-3 → VBA, C++, JAVA і інші.

Мета створення і впровадження систем керування: забезпечення якості продукції, збільшення економічності виробництва, підвищення надійності функціонування устаткування, підвищення продуктивності, забезпечення екологічності і безпеки умов праці обслуговуючого персоналу.

Режим функціонування системи керування — автоматизований (людина (технолог) + ЕОМ).

Система керування — цифрова.

До складу технічних апаратних засобів входять: пристрої статичного перетворення інформації (вимірювальні блоки, блоки обчислювальних операцій), пристрої динамічного перетворення інформації (автоматичні регулятори, контролери, блоки динамічного перетворення, диференціювання); пристрої

оперативного керування (здатчики, блоки керування); логічні пристрої обробки дискретної інформації з «твердою логікою функціонування»; програмно-технічні комплекси (ПТК) і контролери. Все це, в основному, реалізується агрегатним комплексом засобів обчислювальної техніки (АЗОТ).

До групи пристроїв ДСП (комплекс АЗОТ) відносяться також засоби подання інформації: показуючі і самописні (сигналізуючі) засоби, монітори, табло, мнемонічні схеми і інші.

Використовуються одноканальні і багатоканальні пристрої контролю, сигналізації, регулювання та обробки інформації.

Засоби автоматизації промисловістю випускаються у вигляді агрегатованих комплексів ДСП, побудованих по блочно-модульному принципу із широким застосуванням уніфікованих модулів, блоків і пристроїв. Залежно від виду використовуваної енергії застосовуються електричні, гідравлічні, пневматичні і комбіновані комплекси ДСП.

Сучасні багаторівневі системи керування будуються по об'єктивному принципу: кожен рівень АСУ ТП відповідає деякому рівню технологічного об'єкта керування (ТОУ), а кожному елементу АСУ ТП — один або кілька елементів ТОУ відповідного рівня. Установлення такої відповідності значно підвищує надійність системи і зменшує інтенсивність мережних обмінів, тому що ввод/виведення інформації і її обробка максимально локалізуються.

На рис. 2.26 наведена загальна функціональна схема сучасного виробництва.

Нижній рівень цієї схеми становлять вимірювальні прилади і виконавчі механізми. Вони можуть бути аналоговими або цифровими (інтелектуальними). Аналогові представляють вимірювану величину у формі певного значення напруги, сили струму, тиску. Цифрові – це вбудовані логічні схеми, вони представляють вимірювану величину у вигляді цифрового сигналу, що відповідає специфікації протоколу передачі даних, певного для цих пристроїв.

Для обміну інформацією із приладами першого виду необхідно використати АЦП/ЦАП (аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі). Із приладами другого типу можна обмінюватися інформацією безпосередньо по мережі передачі даних.

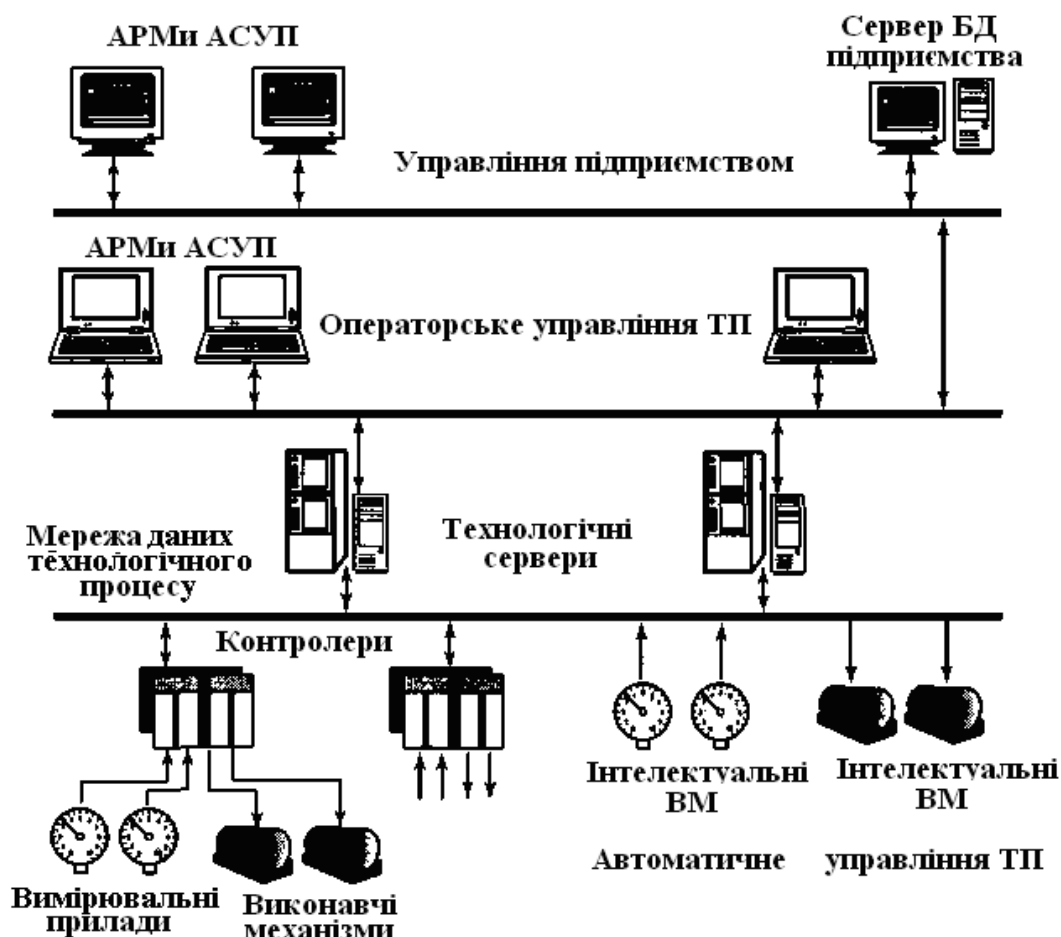


Рисунок 2.26 – Загальна схема сучасного виробництва

Наступний рівень – контролери. Вони виконують функцію автоматичного керування технологічним процесом. Метою керування є видача сигналів на виконавчі механізми в результаті обробки даних про стан технологічних параметрів, отриманих від вимірювальних приладів, по певних алгоритмах.

Сервери технологічних даних забезпечують обмін інформацією між технологічними пристроями і мережею персональних комп'ютерів. Вони підтримують протокол роботи з технологічними пристроями і протокол роботи з мережею персональних комп'ютерів.

Дані про поточні параметри технологічного процесу можуть бути використані для контролю і керування процесом з автоматизованих робочих місць операторів (АРМ); для архівування історії зміни технологічних параметрів; для формування сумарних звітних форм із метою надання інформації керівному персоналу.

На верхньому рівні керування (виробництвом у цілому) основою рішення завдань керування є окремі інформаційні мережі, що зв'язують АРМ керуючого персоналу на різних ділянках

(майстрів, технологів, начальників цехів) із плануючими підрозділами. Мережі взаємодіють (або збігаються) з корпоративною мережею всього підприємства. У цей час абсолютно домінуючим типом таких мереж є Ethernet (мережа шинної технології випадкового методу доступу довжиною в кілька десятків км залежно від фізичного середовища передачі інформації, зі швидкістю передачі даних 10 Мбод). Вона використовується і як мережа, що зв'язує окремі пульти операторів ТП між собою, і як мережа, що поєднує планові, диспетчерські, оперативні органи керування виробництвом, і як корпоративна мережа підприємства. Ці магістралі взаємодіють із мережею Ethernet і поступово заміняють її при збільшенні обсягів інформації, переданої по інформаційній мережі (ІМ) в одиницю часу. Останнє особливо актуально для корпоративних мереж, які містять у собі ряд нових функцій. Крім інформаційного зв'язку між різними виробничими і господарськими підрозділами підприємства вони забезпечують роботу місцевої АТС, охоронно-пожежної сигналізації, відео систем, інженерних обслуговуючих систем. Мережу, що інтегрально забезпечує інформаційний зв'язок цих служб, називають структурованою мережею підприємства. Вузли мережі – АРМ управлінського персоналу, сервери БД додатків, складів даних, Web-сервери (останні забезпечують вихід корпоративних систем в Ethernet).

Відкритість і простота одержання даних в ІМ досягається більш широким впровадженням Internet-технологій. Вона дає можливість будь-яким кінцевим користувачам звертатися із програмами і базами даних (БД) за допомогою гіпертексту (як в Internet), що істотно позначається на швидкості впровадження і легкості експлуатації мереж.

На середньому рівні керування (цех, відділення, великий агрегат) сполучною ланкою між контролерами і пультами операторів є промислова мережа, що повинна гарантувати як звичайні, так і специфічні вимоги доставки всіх повних повідомлень у потрібне місце і у заданий час. Якщо раніше кожна фірма, що випускає ПТК, розробляла свою, закриту для інших контролерів, промислову мережу, то в останні роки під натиском замовників фірми змінили свою політику, почали орієнтуватися на відкриття своїх промислових мереж для апаратур інших фірм. Поступово виділилося кілька найпоширеніших промислових

мереж, що зарекомендували себе на практиці із задовільними для користувачів показниками високою надійністю роботи і простотою обслуговування (мережі Modbus, Interbus, Bitbus S, CAN, Profibus і інші). Ними стали оснащувати свої ПТК різні виробники.

Останнім часом спостерігається тенденція раціонального використання мікропроцесорів, що вбудовуються в інтелектуальні прилади і в блоки вводу/виводу. Це обумовило появу ідеології Fieldbus Foundation, що ставить за мету перенос типових алгоритмів переробки вимірювальної інформації (фільтрації, масштабування, лінеаризації), регулювання (стабілізації, спостереження, каскадного керування), логічного керування (пуску, зупинки, блокування) на самий нижній рівень інтелектуальних блоків вводу/виводу, датчиків та виконуючих механізмів.

Для реалізації цієї ідеології застосовується типова польова мережа Fieldbus HI. Ця мережа реалізує всі функції, властиві NART-протоколу, при цьому, по спеціальних технологічних мовах спілкування із приладами представляється можливим за допомогою цієї мережі програмувати конкретні алгоритми контролю і керування, реалізовані в приладах. Її параметри майже не відрізняються від параметрів сучасних типових промислових мереж, а саме:

- довжина одного сегмента шини – до 1,5 км;
- швидкість передачі інформації з мережі – 31,25 Кбит/с;
- число приладів, що підключаються до мережі – до 32;
- метод доступу до мережі - ведучий/відомий.

Промислова мережа Profibus має наступні характеристики:

- різна топологія – шина, кільце, зірка, дерево;
- два можливих методи доступу – передача та ведучий/відомий;
- три види протоколів (DP – швидка комунікація, PA – підвищена безпека, FMS – складні завдання комунікації);
- можливі фізичні середовища передачі даних – екранована кручена пара, оптоволокно;
- фізичний порт – RS-485;
- довжина мережі – 9,6 км на кручений парі і 90 км – на оптоволоконі;
- число вузлів (станцій) – 32 на сегмент, 126 – на всю мережу, що може складатися із чотирьох сегментів;
- швидкість передачі повідомлень від 9,2 Кбод до 12 Мбод.

Типізація окремих програмних і технічних засобів і їх відкритість до засобів інших фірм дозволяє системним інтеграторам не розробляти, а збирати з окремих програмних і технічних модулів і засобів різних фірм досить великі ПТК і СУ, орієнтовані на автоматизацію конкретних промислових об'єктів.

Поряд з типізацією ІМ відбувається типізація мережних операційних систем (ОС), якими оснащені ПК – вузли ІМ. Лідерами таких ОС, що вимагають мінімальних обсягів пам'яті, є: Windows Server; Novell Open Enterprise Server; FreeBSD.

Використовувана на середньому рівні керування апаратури досить повно типізована. Це стосується і пультів операторів, і контролерів. У якості пультів операторів використовуються різні по потужності типові ПК. Функціональні клавіатури операторів, які включають звичайно в комплект пульта, поставляються в стандартному виконанні, і все більше число фірм замість розробки оригінальної функціональної клавіатури включають їх у поставку для ПТК, тобто застосовується стандартизований варіант.

У більшості випадків ОС пультів залежно від прийнятої архітектури системи керування реалізуються у варіантах типових ОС Windows, або широко розповсюдженої ОС РВ QNX.

Основне ПЗ пультів оператора та диспетчера, робочих станцій майстра і начальника цеху реалізується SCADA-програмою, що виконує основні функції візуалізації вимірюваної та контрольованої інформації, передачі даних і команд системі контролю й керування.

У даній схемі (рис. 2.24) SCADA-система представлена серверами технологічних даних і автоматизованими робочими місцями (АРМ) операторів.

Основні функції SCADA-систем в АСУ ТП:

1. Збір, первинна обробка і нагромадження інформації про параметри технологічного процесу й стан устаткування від промислових контролерів і інших цифрових пристроїв, безпосередньо зв'язаних з технологічними апаратами.

2. Відображення інформації про поточні параметри технологічного процесу на екрані ПЕВМ у вигляді графічних мнемосхем. Відображення графіків поточних значень технологічних параметрів у реальному часі за заданий інтервал.

3. Виявлення критичних (аварійних) ситуацій.

4. Вивід на екран ПЕВМ технологічних та аварійних повідомлень.

5. Архівування історії зміни параметрів технологічного процесу.

6. Оперативне керування технологічним процесом.

7. Надання даних про параметри технологічного процесу для їхнього використання в системах керування підприємством.

Розвиток інформаційних мереж здійснюється в напрямку створення все більш високошвидкісних магістралей передачі інформації. У цей час розроблені і все ширше використовуються (особливо при побудові корпоративних мереж великих підприємств) три типи магістралей:

- Fast Ethernet – шинна топологія, що має випадковий метод доступу та швидкість передачі даних – 100 Мбод;

- FDDI – топологія типу «подвійне кільце», метод доступу – часовий маркер, швидкість передачі даних – 100 Мбод.

- ATM – шинна топологія, метод доступу – «точка до точки», швидкість передачі даних – 155 Мбод.

Для з'єднання контролерів ПТК із приладами різних фірм необхідна стандартизація польової шини. Необхідний типовий протокол – HART-протокол, що підтримується фірмами, які випускають ПТК. Основні параметри HART-протоколу:

- довжина польової шини – 1,5 км;

- швидкість передачі даних – 1,2 Кбит/с;

- число приладів, що приєднують до однієї шини, від 5 до 15 (звичайно до 8);

HART-протокол дозволяє:

- проводити налаштування датчиків на необхідний діапазон вимірів за допомогою польової шини;

- не підводити до датчиків окремі лінії електроживлення і не мати в них блоків живлення, при цьому електроживлення реалізується за допомогою польової шини від блоків живлення контролера;

- збільшувати інформаційний потік між контролером і приладами, зокрема, при наявності самодіагностики в приладах передавати повідомлення про несправності польової мережі, а далі – від контролера – операторові.

Функції автоматизованої системи підрозділяються на інформаційні, керуючі та допоміжні.

Інформаційні функції: вимір і контроль параметрів; виявлення, сигналізація і реєстрація відхилень параметрів від установлених границь; ручне введення даних; формування і видача оперативних даних; архівування; аналіз спрацьовування блокувань і захистів; розрахункові завдання.

Керуючі функції: безпосереднє цифрове регулювання з використанням всіх відомих законів автоматичного регулювання; схеми регулювання формуються з бібліотеки алгоблоків і з використанням технологічної мови Кругол; видачі сигналів завдання регуляторам зі станції оператора і дискретних дій на контролер із клавіатури комп'ютера.

Допоміжні функції: тестування і самодіагностика, перенастроювання системи (реконфігурація ПЗ), докладна екранна допомога операторові, підтримка єдиного системного часу.

Завданнями АСУ ТП і диспетчерських систем є:

- Збір і обробка технологічної інформації, взаємодія із промисловими контролерами, датчиками, вимірювальними приладами, виконавчими механізмами

- візуалізація ТП, технічна анімація;

- автоматичне керування і регулювання;

- нагромадження даних про історію роботи системи, подання їх у вигляді графіків, таблиць, звітів.

Завданнями АСУ ТП та інформаційних систем є:

- Організація потоків інформації в локальних і глобальних мережах;

- робота з локальними БД і серверами;

- створення клієнтських і серверних компонентів в архітектурі «клієнт – сервер», а також додатків – сервер даних;

- розвиток засобів введення і відображення даних (форми, сторінки, діалоги);

- складна обробка і аналіз даних (статистика, кореляційний аналіз, моделювання), генерація звітів та інших документів.

Контрольні тестові завдання до глави 2

1. Перерегулювання – це величина, що дорівнює:

- а) відношенню першої амплітуди перехідної кривої до значення вихідного параметра в сталому режимі;
- б) різниці вхідної величини та значенню вихідного параметра в сталому режимі;
- в) функції від ділення 3-ої та 1-ої амплітуд

2. У якості регулюючої величин обирають:

- а) вихідні змінні, що найбільш повно характеризують хід процесу;
- б) вихідні змінні, що найбільш повно характеризують стан процесу;
- в) вхідні і вихідні змінні і їх зв'язки

3. Регулятор – це:

- а) статичні властивості системи;
- б) динамічні властивості системи; в) статичні і динамічні властивості системи

4. Закон регулювання – це:

- а) компенсація неточностей процесу по певному алгоритму;
- б) математична залежність для визначення регулюючої дії;
- в) управління параметрами настройки за певним алгоритмом.

5. Регулятори бувають:

- а) пропорційні;
- б) інтегральні;
- в) пропорційно-інтегрально-диференційні;
- г) перехідно-інтегральні.

6. Залежність $W(s)=K_2S$ описує регулятор:

- а) ПД; б) ПД; в) П; г) И; д) Д

7. Залежність $W(s)=K_1 + K_2S$ описує регулятор:

- а) ПД;
- б) ПД;
- в) П;
- г) И;
- д) Д

8. Імпульсне регулювання рекомендується при:

- а) $K\tau < 2$;
- б) $0,2 \leq K\tau \leq 1,0$;
- в) $K\tau > 1,0$

9. Об'єкт регулюється, якщо діапазон ступеня важкості регулювання 0,2-0,4:

- а) дуже добре;
- б) ще регулюється;
- в) важко регулюється

10. Первинні перетворювачі – це:

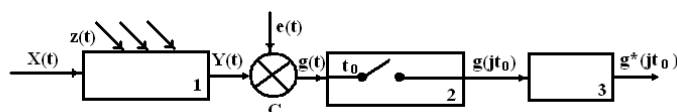
- а) посилювачі;
- б) датчики;
- в) вимірювальні прилади для дистанційної передачі інформації;
- г) засоби перетворення вимірюваної інформації

11. УЗО - це:

- а) устрої зв'язку з об'єктом;
- б) апаратура для з'єднання датчиків з виконавчою апаратурою;
- в) апаратура для первинної обробки сигналів від датчиків для видачі керуючих дій на виконавчі устрої

12. Наведена схема, де 1-датчик, 2-комутатор, 3 -АЦП -

це:



- а) вторинний перетворювач;
- б) перетворювач, що передає;
- в) УЗО

13. «ADAM-4000» – це:

- а) УЗО;
- б) модуль аналогового введення;
- в) модуль цифрового введення

14. Апаратурна концепція побудови АСУ:

- а) модулі вводу/виведення → локальний ПЛК → мережевий ПЛК або ПМК → промисловий ПТК + SCADA-система + комунікації зв'язку;
- б) локальний УЗО → локальний ПЛК → мережевий ПЛК або ПМК → промисловий ПТК + SCADA-система + комунікації зв'язку;
- в) УЗО → локальний ПЛК → мережевий ПЛК або ПМК → промисловий ПТК + SCADA-система + АРМ-засоби програмування;

ГЛАВА 3 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Виробничі процеси і керуючі ними системи складаються з чисельних і різноманітних елементів, що взаємодіють один з одним. Ці елементи зв'язані між собою так, щоб забезпечити обмін матерією, енергією і інформацією для отримання певного кінцевого результату

Управління – це формування дій, що управляють, та забезпечують необхідний режим роботи ОУ.

Під управлінням розуміються дії, направлені на підтримку або поліпшення функціонування об'єкту управління.

В об'єкт управління поступають збурюючі дії, що приводять до зміни вихідних параметрів об'єкту, які характеризують мету управління. Інформація про поточні значення вихідних параметрів передається в керуючу систему, де вони порівнюються з відповідними заданими значеннями. В результаті порівняння виробляються керуючі дії, що поступають в об'єкт управління (рис. 3.1).



Рисунок 3.1– Схема управління об'єктом

Об'єкт управління (об'єкт регулювання, ОУ) – це пристрій, необхідний режим роботи якого повинен підтримуватися ззовні спеціально організованими керуючими діями.

Реальні об'єкти управління більшою чи меншою мірою піддаються збурюючим діям, які порушують нормальний хід процесу в об'єкті.

Внутрішні збурюючі дії виникають в самому об'єкті управління (корозія, забруднення).

Зовнішні збурюючі дії проникають в об'єкт управління ззовні (зміна вхідних параметрів, параметрів навколишнього середовища).

Керуюча система – це сукупність персоналу і автоматичних пристроїв, зв'язаних завданням управління. Автоматичні пристрої, що входять в систему управління, за функціональними ознаками підрозділяються на пристрої контролю, регулювання, програмного управління, сигналізації, блокування і захисту. До них відноситься також і обчислювальна техніка.

Пристрої контролю (контрольно-вимірювальні прилади) служать для отримання інформації про стан об'єкту і умови його роботи. Вони можуть бути у вигляді окремих приладів, призначених для візуального контролю за параметрами процесу, або є складовою частиною пристроїв регулювання, сигналізації і захисту.

До пристроїв контролю відносяться термометри, манометри, витратоміри, рівнеміри, газоаналізатори і інші прилади. Контрольно-вимірювальні прилади (КВП) встановлюють безпосередньо у технологічних апаратів (місцевий контроль) або на центральних щитах управління (дистанційний контроль). Останній є більш переважним. Місцевий контроль в сучасних технологічних системах використовують тільки для пуску і наладки устаткування.

Регулювання – приватний вид управління, коли завданням є забезпечення постійності якої-небудь вихідної величини ОУ. Пристрої регулювання призначені для підтримки постійного значення параметрів процесу (стабілізуючі регулятори), а також для зміни їх за заздалегідь заданим або невідомим законом (програмні, слідкуючі, екстремальні регулятори). Ці пристрої отримують від об'єкту управління інформацію про стан параметрів і впливають на об'єкт за допомогою регулюючих органів.

Пристрої програмного управління служать для управління процесом шляхом включення або виключення різних механізмів, машин, апаратів за заздалегідь заданою програмою, що є функцією часу.

Пристрої сигналізації призначені для сповіщення персоналу про настання тих або інших подій в керованому технологічному процесі шляхом подачі звукових або світлових сигналів.

Пристрої блокування служать для попередження неправильного включення, виключення устаткування і механізмів.

Пристрої автоматичного захисту призначені для запобігання аваріям.

Керуюча система і об'єкт управління взаємодіють один з одним і складають систему управління.

Система управління може бути місцевою і централізованою. У першому випадку систему управління розташовують безпосередньо біля апаратів, в іншому – на відстані (диспетчерські пункти, операторські).

Автоматичне управління – це управління, здійснюване без безпосередньої участі людини.

Технологічні процеси одного типу (наприклад, нагрівання) можуть відрізнятися апаратним оформленням, властивостями перероблюваних речовин і так далі. Проте, вони протікають за одними і тими же законами і характеризуються аналогічними залежностями між параметрами (наприклад, між температурою, тиском, витратою речовин, тощо).

3.1 Державна система приладів (ДСП)

Державна система промислових приладів і засобів автоматизації (ДСП) визначає напрямок у розвитку вітчизняного приладобудування, що забезпечує сучасний технічний рівень приладів і збільшення темпів їх виробництва.

ДСП визначається як сукупність виробів, призначених для використання в промисловості в якості технічних засобів автоматичних і автоматизованих систем вимірювання, контролю, регулювання та керування технологічними процесами, інформаційно-вимірювальними системами, а також для вимірювання, контролю й регулювання окремих параметрів.

ДСП являє собою сукупність уніфікованих нормалізованих рядів блоків, приладів і пристроїв для формування, обробки та використання інформації, що задовольняють єдиним технічним вимогам і мають єдині параметри вхідних і вихідних сигналів, нормалізовані габарити та розміри приєднань, а також економічно доцільні точність, надійність і довговічність.

Вироби ДСП виготовляються на основі базових конструкцій з уніфікованими структурами, конструкційними параметрами і

сигналами, що забезпечують максимально можливий рівень уніфікації та загальну технологічну базу для виробництва. Уніфікація, що використовується в ДСП, здебільшого гармонізована із прогресивними аналогічними системами передових країн світу.

За належністю до ДСП прилади та пристрої поділяються на три групи:

1. *Системні*, що відповідають усім без винятку вимогам ДСП.

2. *Локального застосування*, що відповідають вимогам ДСП за призначенням, технічним і експлуатаційним характеристикам і конструкційним особливостям, але не призначені для спільної роботи в системах автоматичного контролю, регулювання і керування з іншими виробами ДСП, і не сполучаються з ними інформаційно і конструктивно.

3. *Допоміжні*, призначені спеціально для дослідження об'єктів автоматизації або випробувань і перевірки виробів, що входять у ДСП.

Прилади, що не входять у ДСП, повинні відповідати її вимогам до технічних і експлуатаційних характеристик і конструкційних особливостей.

Методологічну основу ДСП становить система стандартів, що включає в себе більше 250 стандартів, які встановлюють загальні технічні вимоги до вхідних і вихідних сигналів, правила інформаційного сполучення й конструкційного виконання.

Побудова ДСП базується на таких загальносистемних принципах:

- *цілеспрямованості* системи на забезпечення технічними засобами автоматичних і автоматизованих систем вимірювань, контролю, регулювання та керування технологічними процесами;

- *цілісності системи*;

- *сумісності виробів ДСП*, що забезпечує широку область застосування, гнучкість реалізації різноманітних структур систем автоматизованого контролю та керування різними технологічними процесами;

- *уніфікації та агрегативання* як техніко-економічної основи ефективності системи;

- *динамічного розвитку структури системи* на основі спадкоємності нових виробів і комплексів у складі всієї системи;

- *функціонального поділу технічних засобів* на основі типізації функціональних завдань і структур системи.

З досвіду застосування ДСП відомо, що технічні засоби повинні розроблятися на основі схемної і конструкційної уніфікації, стандартизації структур, сигналів, інтерфейсів, протоколів обміну й забезпечувати номенклатурну повноту та сумісність виробів при агрегуванні, що припускає створення базових програмно-технічних комплексів (БПТК).

Принцип мінімізації номенклатури засобів контролю та керування реалізується на основі розробки і випуску агрегатних комплексів (АК) технічних засобів і уніфікованих комплексів (УК) пристроїв одного функціонального призначення. Технічну основу ДСП становлять агрегатні комплекси, кожний з яких являє собою сукупність технічних засобів, упорядкованих по функціях і параметрам. Один з визначальних ознак агрегатного комплексу полягає в системній сумісності пристроїв, що входять до їх складу.

Принцип агрегатної побудови пристроїв ДСП – це створення сукупності пристроїв різного функціонального призначення з обмеженого набору уніфікованих блоків або модулів, що збираються з конструкцій нижчого порядку методом стикування. Для забезпечення стикування необхідно вирішити питання взаємозамінності блоків або модулів і їхньої сумісності за конструкційними, енергетичними, інформаційними та іншими характеристиками.

Прогресивна за структурою побудови ДСП орієнтується на передову технологію і сучасну елементну базу. У ДСП широко використовується уніфікована елементно-модульна база і стандартні ряди базових конструкцій, а число різновидів функціональних блоків, допоміжних пристроїв, джерел живлення і так далі зводиться до мінімуму. Конструкційною базою для монтажу елементів, модулів, пристроїв і агрегатів ДСП є уніфіковані типові конструкції (УТК), що являють собою універсальну систему конструкційних елементів, які забезпечують уніфікацію і стандартизацію конструкцій широкої номенклатури пристроїв: реєстрації, регулювання, обчислення, телемеханіки та інших, призначених для перетворення, обробки і відображення інформації та формування командних сигналів. До номенклатури УТК входять монтажні плати, блокові і приладові каркаси, комплектні вставні каркаси, щитові секції, пульти та шафи.

У якості базової системи логічних елементів електричної гілки ДСП широко використовуються комплекси уніфікованих логічних елементів. Типовий логічний (функціональний) модуль виконується у вигляді касети – друкованої плати, на якій розміщуються окремі компоненти схеми.

У пневматичній гілці ДСП широке поширення одержала уніфікована система елементів промислової пневмоавтоматики (УСЕППА), а також окремі елементи системи модулів струминної техніки (СМСТ).

Державна система приладів і засобів автоматизації — це велика та складна система, що розвивається. Її розвиток обумовлений багатьма факторами. Головними зовнішніми факторами є науково-технічний прогрес у створенні систем керування і розвиток їх елементної бази, до внутрішнього – відносять подальший розвиток агрегатних методів конструювання, високий рівень уніфікації, стандартизації, інформаційного забезпечення, а також розробку імітаційних систем.

ДСП об'єднує в собі всі засоби контролю і регулювання технологічних процесів. Характерною особливістю ДСП є:

1) блоково-модульний принцип, що є основою конструкцій пристроїв;

2) уніфікація вхідних-вихідних сигналів і сигналів живлення.

ДСП містить три гілки:

1) гідравлічну

2) пневматичну

3) електричну.

Блоково-модульний принцип характеризується наявністю окремих модулів або блоків, що виконують достатньо просту функцію. Цей принцип дозволяє зменшити номенклатуру засобів автоматизації, спрощує ремонт і заміну, зменшує вартість, дозволяє реалізувати принцип взаємозамінюваності.

У ДСП використовують два види уніфікованих сигналів:

1) *Пневматичні* – сигнали тиску стислого повітря, які мають наступні параметри:

діапазон зміни сигналу: 0,02 - 0,1 МПа;

сигнал живлення: 1,4 МПа;

відстань передачі сигналу: до 300 м.

2) *Електричні* сигнали мають багато діапазонів, які можна розділити на дві групи:

а) струмові (сигнали постійного струму), наприклад: 0 - 5 мА, 0 - 20 мА, 4 - 20 мА, тощо.

б) сигнали напруги постійного струму, наприклад: 0 - 1 В, 0 - 10 В і ін.

Первинні прилади (датчики) можуть перетворювати вимірюваний параметр в який-небудь уніфікований сигнал. Якщо ж датчик видає не уніфікований сигнал, то для приведення його до стандартного діапазону має бути встановлений відповідний перетворювач.

3.2 Точність перетворення інформації

Пряме вимірювання – вимірювання, при якому шукане значення величини знаходять безпосередньо з отриманих даних.

Непряме вимірювання - вимірювання, при якому шукане значення величини знаходять на підставі залежності між цією величиною і величинами, що піддаються прямим вимірюванням.

Принцип вимірювань – сукупність фізичних явищ, на яких засновані вимірювання.

Метод вимірювань – сукупність прийомів використання принципів і засобів вимірювань.

Засіб вимірювань – технічний засіб, що використовується при вимірюваннях і має нормовані метрологічні властивості.

Міра – засіб вимірювань, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру.

Вимірювальний прилад – засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

Аналоговий вимірювальний прилад – вимірювальний прилад, показання якого є безперервною функцією змін вимірюваної величини.

Цифровий вимірювальний прилад – вимірювальний прилад, що автоматично виробляє дискретні сигнали вимірювальної інформації, показання якого представлені в цифровій формі.

Показуючий вимірювальний прилад – вимірювальний прилад, що допускає тільки відлік показань.

Показання засобу вимірювань – вимірювання величини, визначуване по відліковому пристрою і виражене в прийнятих одиницях цієї величини.

Градувальна характеристика засобу вимірювань – залежність між значеннями величин на виході і вході засобу вимірювань, представлена у вигляді таблиці, графіка або формули.

Діапазон показань – область значень шкали, що обмежена кінцевим і початковим значеннями шкали.

Діапазон вимірювань – область значень вимірюваної величини, для якої нормовані припустимі похибки засобу вимірювань.

Межа вимірювань – найбільше і найменше значення діапазону вимірювань.

Чутливість вимірювального приладу – відношення зміни сигналу на виході вимірювального приладу до зміни вимірюваної величини, що його викликає.

Будь-які вимірювання супроводжуються погрішностями, які бувають:

1) *випадковими* – мають випадкову природу і причина їх невідома;

2) *промахами* – викликані неправильними відліками по приладу;

3) *систематичними* – обумовлені недосконалістю методів визначення, конструкції приладу.

Види погрішностей (ΔX), у свою чергу, поділяються на:

1) *абсолютні*: $\Delta X = X - X_0$,

де X – виміряне значення параметра, X_0 – дійсне значення параметра.

Абсолютна погрішність вимірювання – погрішність вимірювання, виражена в одиницях вимірюваної величини.

2) *відносні*:

$$\gamma = (\Delta X / X_0) \cdot 100\% \text{ (виражені в \%);}$$

Відносна погрішність вимірювання – відношення абсолютної погрішності вимірювання до дійсного значення вимірюваної величини. Відносна погрішність може бути виражена у відсотках.

3) *приведені*:

$$\gamma = (\Delta X / (X_{\max} - X_{\min})) \cdot 100\%,$$

де X_{\min} і X_{\max} – мінімальне і максимальне значення вимірюваної величини.

Максимальна приведена погрішність називається *класом точності приладу*:

$$\gamma = (X_{\max} / (X_{\max} - X_{\min})) \cdot 100\%$$

Залежно від класу точності прилади діляться на еталонні (зразкові) і робочі.

3.3 Класифікація контрольно-вимірювальних приладів (КВП)

У хімічних виробництвах найбільш часто вимірюваними величинами є температура, тиск, витрата і рівень. На них доводиться близько 80 % всіх вимірювань. Решту частину займають електричні, оптичні і інші вимірювання.

При вимірюваннях використовуються різні вимірювальні прилади, які класифікуються по ряду ознак. Загальною градацією є розділення їх на прилади для вимірювання: механічних, електричних, магнітних, теплових і інших фізичних величин.

Класифікація за родом вимірюваної величини указує, яку фізичну величину вимірює прилад (тиск P , температуру T , витрату F , рівень L , вологість, тощо).

Виходячи з ознаки перетворення вимірюваної величини, вимірювальні прилади розділяють на прилади:

- а) безпосереднього оцінювання;
- б) порівняння.

За функціональною ознакою прилади і пристрої, що входять у ДСП, поділяються у такий спосіб:

1. Для одержання інформації про стан об'єкту — датчики контрольної інформації з уніфікованими вихідними сигналами або вимірювальні перетворювачі, тобто засоби вимірювання, не оснащені яким-небудь пристроєм для безпосереднього подання інформації спостерігачеві.
2. Для прийому і видачі інформації в канали зв'язку — пристрої дистанційної та телемеханічної передачі сигналів.
3. Для перетворення, обробки, зберігання, відображення інформації, формування команд керування об'єктом, які у свою чергу поділяються на підгрупи: вимірювальні прилади або прилади контролю та відображення, обчислювальні, функціональні і логічні блоки, регулюючі пристрої (контролери), оптимізатори, програмні продукти, пристрої управління та інші, призначені для автоматичного регулювання та керування виробничими процесами.
4. Для використання командної інформації з метою впливу на

об'єкт – виконавчі механізми, регулюючі органи та допоміжні пристрої: опозиціонери, магнітні пускачі, тощо.

Одержання контрольної інформації про протікання технологічних процесів можливе, якщо ця інформація буде однозначно пов'язана з якоюсь фізичною величиною (параметром). Ця фізична величина, що вибрана для передачі необхідних відомостей, називається *сигналом*. У вимірювальній техніці і автоматиці у якості сигналів використовують, в основному, енергетичні величини, тому що вони дозволяють здійснювати передачу інформації на відстань, перетворення, порівняння і одержання нових сигналів. Сигнали можуть бути безперервними і перериваними (дискретними).

ДСП охоплює всі пристрої, що забезпечують:

- формування сигналів – носіїв інформації про значення параметрів об'єкту керування (первинні перетворювачі (датчики));
- нормування сигналів – вторинні перетворювачі, «нормалізатори», функціональні перетворювачі і процесори, що забезпечують комутацію;
- аналого-цифрове і цифро-аналогове перетворення – комутатори, аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) і цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП);
- реалізацію необхідного впливу на об'єкт – виконавчі механізми.

Групи функціональних пристроїв утворюють систему засобів автоматизації, що охоплює всі ланки формування, передачі, обробки і використання інформації, з яких можуть створюватися різноманітні інформаційні системи, системи контролю, регулювання і керування.

В рамках ДСП створені і впроваджені агрегатні комплекси, що поєднують функціональні пристрої формування, обробки, передачі і використання інформації в певних сполученнях з алгоритмами зв'язку, що відповідають призначенню цих агрегатних комплексів. Вони можуть використовуватися також у системах незалежно один від одного.

Побудова і експлуатація системи керування будь-якого рівня ґрунтуються на розробці, удосконаленні і (або) застосуванні програмно-технічного комплексу (ПТК) автоматизації, до якого відносяться: вимірювальні перетворювачі (датчики) параметрів; автоматичні регулятори, логічні і програмні пристрої, управляючі

ЕОМ і обчислювальні комплекси, мікроконтролери та мікропроцесори, мікропроцесорні системи (МПС); виконавчі механізми (пристрої) і регулюючі органи.

Нове покоління засобів автоматизації технологічних процесів забезпечує розширення можливостей існуючих систем керування, а також використовує нові методології побудови і архітектуру локальних комп'ютерних мереж, інтелектуалізує засоби відображення, зберігання, обробки і передачі інформації. Тому технічні засоби – від найпростіших датчиків до складних систем з вбудованими засобами штучного інтелекту – є предметом нових розробок у рамках оновленої ДСП. При цьому підвищується роль інтерфейсів, які розробляються в рамках ДСП і встановлюють погоджені взаємодії на границях системи. Ці умови формалізовані у вигляді вимог, виконання яких гарантує правильність взаємодії системи із зовнішніми засобами, тобто забезпечує інформаційні, конструкційні, процедурні та інші аспекти ефективної взаємодії.

За видом енергії, що використовується для формування сигналів, ДСП поділяється на такі гілки: *електричну аналогову; електричну дискретну; пневматичну; гідравлічну; прилади і пристрої, що працюють без джерел допоміжної енергії (прилади прямої дії).*

1. *Електрична аналогова гілка* ДСП – це ряд приладів і засобів автоматизації, у яких в якості зовнішньої енергії використовується електрична енергія, а енергетичним носієм інформації є електричний безперервний сигнал. Стандартизовані діапазони зміни сигналів постійного струму $0 \div 5$, $0 \div 20$, $4 \div 20$ і $0 \div 100$ мА.

Межі зміни сигналів постійного струму за напругою вибираються з ряду значень, що лежать у діапазоні $0 \div 10$ мВ і $0 \div 10$ В. Навантаження, тобто опори приладів і ліній зв'язку, установлені в межах від 250 Ом до 2,5 кОм.

Менш поширеними є прилади цієї гілки, що використовують змінний струм. Межі зміни напруги змінного струму $0,25 \div 2$ В, частота 50 і 400 Гц.

Всі пристрої для одержання контрольної інформації, що використовуються в електричній аналоговій гілці ДСП, або перетворюють інформацію у вихідний уніфікований струмовий сигнал, або мають у комплекті додатковий пристрій, що

перетворює природний вихідний сигнал датчика в уніфікований струмовий сигнал.

2. *Електрична дискретна (цифрова) гілка* ДСП — це ряд приладів і засобів автоматизації, у яких в якості зовнішньої енергії використовується електрична енергія, а енергетичним носієм інформації є електричний дискретний сигнал (вхідний і вихідний). Розрізняють такі основні види вхідних і вихідних сигналів електричної дискретної гілки ДСП: перепади постійного струму та напруги; частотні; імпульсні.

Вхідні та вихідні сигнали постійного струму призначені для сполучення приладів і пристроїв дискретної і аналогової гілок. Частотні вхідні і вихідні сигнали використовуються для зв'язку частотних ПВП з дискретними блоками обробки інформації. Імпульсними сигналами є, як правило, сигнали із широтно-імпульсною і кодово-імпульсною модуляцією. Параметри зазначених сигналів стандартизовані. Частотний діапазон роботи виробів вибирається в межах частот від 5 Гц до 500 кГц. Параметри імпульсних сигналів лежать у діапазоні амплітуд для напруги від 0,6 до 220 В і сили струму – від 1 до 500 мА. Можливі такі коди для електричних сигналів: одиничний нормальний і позиційний; двійковий нормальний; одинично-десятковий і двійково-десятковий. При використанні сигналів постійного струму доцільніше вибирати силу струму в діапазоні $0 \div 5$ мА і $4 \div 20$ мА.

3. *Пневматична гілка* ДСП – це ряд приладів (датчики, перетворювачі, регулятори, виконавчі механізми), у яких у якості джерела зовнішньої енергії використовується стиснене повітря, а енергетичним носієм інформації є імпульс тиску. Робочий діапазон зміни вхідних і вихідних сигналів приладів і пристроїв цієї гілки стандартизовані і встановлюються в межах $20 \div 100$ кПа. Номінальний тиск живлення для приладів і пристроїв пневматичної системи $0,14$ МПа $\pm 10\%$.

Широке застосування засобів пневмоавтоматики пояснюється високим ступенем надійності пневматичної апаратури, простотою її обслуговування, порівняною дешевизною і вибухобезпекою.

Широке застосування одержав елементний принцип побудови приладів пневмоавтоматики, що полягає в тому, що будь-який новий пневматичний прилад створюється не у вигляді

принципово нової конструкції, а збирається з елементів універсальної системи елементів промислової пневмоавтоматики (УСЕППА) за допомогою без шлангового (друкованого) способу монтажу на спеціальних комутаційних пластинах (платах), усередині яких проходять канали з'єднань між елементами.

4. *Гідравлічна гілка* ДСП — це ряд приладів і пристроїв, в яких джерелом зовнішньої енергії, а також енергетичним носієм інформації є гідравлічні сигнали, що створюються мінеральними маслами (веретенним, турбінним, трансформаторним) або водою. Тиск робочої рідини, що є енергоносієм, варіює в межах від 1 до 64 МПа.

У порівнянні з іншими гілками ДСП гідравлічна гілка має незначне поширення. У якості чутливих елементів датчиків у гідравлічній гілці ДСП найбільш часто використовуються мембрани, сільфони, манометричні пружини і дилатометричні стрижні, а в якості основного перетворювального і підсилювального елемента – струминний підсилювач, що перетворює кінетичну енергію струменя рідини в потенційну.

5. *Гілка приладів і пристроїв* ДСП, *що працюють без джерел допоміжної енергії*, — це ряд пристроїв, що використовують для роботи енергію того середовища, параметри якої вони вимірюють і регулюють. При цьому додаткового джерела енергії (електричної, енергії стисненого повітря, тощо) не потрібно.

У цю гілку ДСП входять регулятори температури, тиску, перепаду тиску, витрати і рівня.

За способом приведення в дію регулюючого органа регулятори поділяються на регулятори прямої і непрямой (з підсилювачем) дії. У регуляторах прямої дії для перестановки регулюючого органа використовується енергія, що розвивається на чутливому елементі. У регуляторах з підсилювачем для цих цілей застосовується спеціальний перетворювач – підсилювач, що також працює від енергії середовища, що регулюється.

Впровадження ДСП не передбачає повсюдного повного переходу на випуск приладів і засобів автоматизації, що мають на виході тільки уніфіковані сигнали. Широко використовуються прилади, у яких для передачі контрольної інформації використовуються так звані природні сигнали, що представляють собою зміну різних параметрів (переміщення, електричний струм і напругу, тиск води, повітря і інші) залежно від зміни фізичної

величини. Природні сигнали передаються в тому вигляді, у якому вони отримані за допомогою чутливого елемента вимірювального приладу або пристрою, без додаткових перетворень.

Перетворення сигналів з аналогової форми в дискретну, і навпаки, а також зміна несучих величин здійснюється функціональними перетворювачами, які забезпечують взаємозв'язок пристроїв різних гілок ДСП у єдиних вимірювальних або автоматичних системах.

Для забезпечення спільної роботи приладів з природними сигналами з приладами ДСП, а також один з одним, служать спеціальні нормуючі перетворювачі, що входять в систему ДСП і приводять природні сигнали до рівня і виду нормалізованих стандартних сигналів ДСП.

Слід зазначити, існують і інші ознаки для класифікації приладів, наприклад, за способом відліку вимірюваної величини прилади поділяються на прилади, що показують, реєструють, підсумовують; за характером вимірювання: стаціонарні і переносні.

3.4 Методи та засоби вимірювання основних технологічних параметрів

Отримання інформації про параметри технологічного процесу в автоматизованих системах управління відбувається за допомогою первинних перетворювачів (датчиків). Як вже повідомлялося, датчики – це контрольно-вимірювальні прилади в системі управління, які збирають за допомогою чутливого елемента інформацію про стан технологічного об'єкту, перетворюють її у зручну для подальшого використання форму та підсилюють за допомогою підсилювача-перетворювача та передають інформацію наступним елементам регулятора.

Ринок датчиків постійно рухається в сторону покращення технологічних, метрологічних та функціональних характеристик приладів. Кожного року така тенденція на ринку засобів автоматизації прискорюється. Це пояснюється розробкою більш досконалих приладів, що здатні задовольнити постійно зростаючі з боку споживача вимоги, а також створенням сучасних систем управління технологічними процесами з використанням найновіших світових досягнень.

Інтелектуальність, інтеграція, підтримка стандартів відкритих комунікаційних технологій є ключовими моментами, на які звертають увагу розробники обладнання, системні інтегратори. Освоєння інтелектуальних польових пристроїв – шлях до найсучасніших технологій. Інтелектуальні засоби автоматизації застосовуються в сучасних цифрових АСУ і в аналогових системах автоматизації, що набувають можливостей цифрових.

Засоби формування інформації про технологічний процес безпосередньо взаємодіють з останнім і формують вихідний сигнал, функціонально пов'язаний з вимірюваним параметром. Первинні вимірювальні перетворювачі звичайно встановлюються безпосередньо на об'єкті контролю і залежно від виду вимірюваних параметрів поділяються на 5 основних груп:

- засоби вимірювання теплоенергетичних параметрів, до яких відносяться температура, тиск, розрядження, перепад тисків, рівень, витрата, а також електроенергетичні (сила струму, напруга, потужність та інші);

- засоби формування інформації про фізичні властивості речовини і якість готової продукції;

- засоби формування інформації про склад і властивості речовини;

- засоби вимірювання мас, сил, а також ваги і дозуючі пристрої;

- засоби вимірювання кінематичних величин, у тому числі кількості виробів, циклів.

3.4.1. Методи і засоби вимірювання температури

Температура – фізична величина, що характеризує середню кінетичну енергію хаотичного руху молекул речовини. Вимірювання температури практично можливо тільки методом порівняння ступеня нагрятості двох тіл. Технічний засіб для вимірювання температури, називають термометром.

Для порівняння нагрятості цих тіл використовують зміни яких-небудь фізичних властивостей, що залежать від температури і легко піддаються вимірюванню.

За властивостями термодинамічного тіла, використовованого для вимірювання температури, можна виділити наступні типи термометрів:

- термометри розширення, засновані на властивості температурного розширення рідких тіл;
- термометри розширення, засновані на властивості температурного розширення твердих тіл;
- термометри газові манометричні;
- термометри рідинні манометричні;
- термометри конденсаційні;
- термометри електричні;
- термометри опору;
- оптичні монохроматичні пірометри;
- оптичні колірні пірометри;
- радіаційні пірометри.

Методи і засоби вимірювання (ЗВ) температури поділяються на контактні та безконтактні, аналогові та цифрові.

Контактні ЗВ температури засновані на безпосередньому контакті вимірювального перетворювача (ВП) з контрольованим середовищем. Контактні термометри підрозділяються на термометри розширення, електричні і спеціальні. У свою чергу, термометри розширення поділяються на рідинні, біметалічні, дилатометричні і манометричні. До електричних термометрів слід віднести термометри опору (терморезистори) і термоелектричні. До спеціальних відносять різні індикатори температури.

Термометри розширення. Рідинні скляні термометри.

Теплове розширення рідини характеризується порівняльним коефіцієнтом об'ємного розширення, значення якого визначається як

$$\beta_{t_1, t_2} = \frac{V_{t_1} - V_{t_2}}{V_0(t_2 - t_1)}, \text{ 1/град}$$

де V_0 , V_{t_1} , V_{t_2} – об'єми рідини, якою заповнений резервуар термометру при 0°C , температурах t_1 і t_2 відповідно.

Чутливість термометра залежить від різниці коефіцієнтів об'ємного розширення термометричної рідини і скла, від об'єму резервуару і діаметру капіляра. Вона зазвичай лежить в межах $0,4 \dots 5 \text{ мм}^\circ\text{C}$ (для деяких спеціальних термометрів $100 \dots 200 \text{ мм}^\circ\text{C}$).

Для захисту від пошкоджень технічні термометри вмонтовуються в металеві оправы, а нижня поглинена частина закривається металевою гільзою. Застосовують для контролю

температури за місцем розташування обладнання, при його пуску та налагодженні.

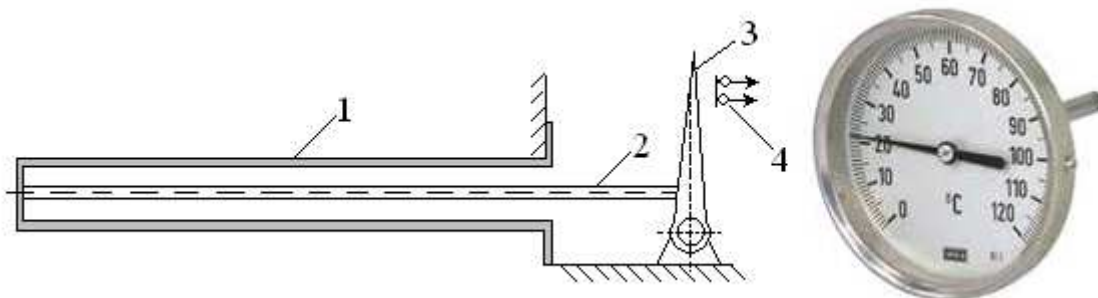
Термометри, засновані на розширенні твердих тіл. До цієї групи приладів відносяться дилатометричні і біметалічні термометри, засновані на зміні лінійних розмірів твердих тіл із зміною температури.

Конструктивне виконання дилатометричних термометрів (рис. 3.2) засноване на перетворенні вимірюваної температури в різницю абсолютних значень подовжень двох стрижнів, виготовлених з матеріалів з істотно різними термічними коефіцієнтами лінійного розширення:

$$\beta_{t_1, t_2} = \frac{l_{t_1} - l_{t_2}}{l_0(t_2 - t_1)}, \text{ 1/град}$$

де l_0 , l_{t_1} , l_{t_2} – лінійні розміри тіла при 0°C , температурах t_1 і t_2 відповідно.

Внаслідок того, що β є величиною малою, дилатометричні термометри застосовуються у різному виді теплових реле в пристроях сигналізації і регулювання температури.



1 – трубка, 2 – стержень, 3 – стрілка, 4 – контакти
Рисунок 3.2 – Дилатометричний термометр

Дія біметалічних термометрів (рис. 3.3) заснована на деформації біметалічної стрічки при зміні температури.



Рисунок 3.3 – Біметалічний термометр

Зазвичай застосовуються біметалічні стрічки, зігнуті у вигляді плоскої або гвинтової спіралі. Один кінець спіралі укріплений нерухомо, другий – на осі стрілки. Кут повороту стрілки дорівнює куту закручування спіралі, який пропорційний зміні температури.

Біметалічні термометри забезпечують вимірювання температури з відносними погрішностями 1 - 1,5 %.

Газові манометричні термометри. В основу принципу дії манометричного термометра покладена залежність між температурою і тиском термометричної (робочої) речовини, позбавленої можливості вільно розширюватися при нагріванні.

Манометричні термометри зазвичай включають термобалон, капілярну трубку і трубчасту пружину з повідцем, зубчатим сектором і стрілкою (рис.3.4) . Вся система заповнюється робочою речовиною. При нагріванні термобалону, встановленого в зоні вимірюваної температури, тиск робочої речовини усередині замкнутої системи збільшується. Збільшення тиску сприймається манометричною пружиною, яка діє через передавальний механізм на стрілку або перо приладу.



1 – термобалон, 2 – манометр, 3 – капіляр

Рисунок 3.4 – Газовий манометричний термометр

Достоїнства манометричних термометрів: шкала приладу практично рівномірна.

Недоліки: порівняно велика інерційність і великі розміри термобалону.

Рідинні манометричні термометри. Устрій рідинних манометричних термометрів аналогічний устрою газових манометричних термометрів, але на відмінність від останніх у

якості робочої речовини в них використовується рідина (метиловий спирт, ксилол, толуол, ртуть і так далі).

Рідинні манометричні термометри мають рівномірну шкалу.

Конденсаційні манометричні термометри. Конденсаційні манометричні термометри реалізують залежність пружності насиченої пари низькокиплячої рідини від температури. Оскільки ця залежність для використовуваних рідин (хлористий метил, етиловий ефір, хлористий етил, ацетон і інші) є нелінійною, отже, і шкали термометрів нерівномірні. Проте, ці прилади володіють вищою чутливістю, ніж газові рідинні термометри.



Рисунок 3.5 – Конденсаційний манометричний термометр

Електричні термометри (термопари). Термоелектричні перетворювачі (термопари) призначені для вимірювання температури і працюють у комплекті з мілівольтметрами і потенціометрами (рис. 3.6).

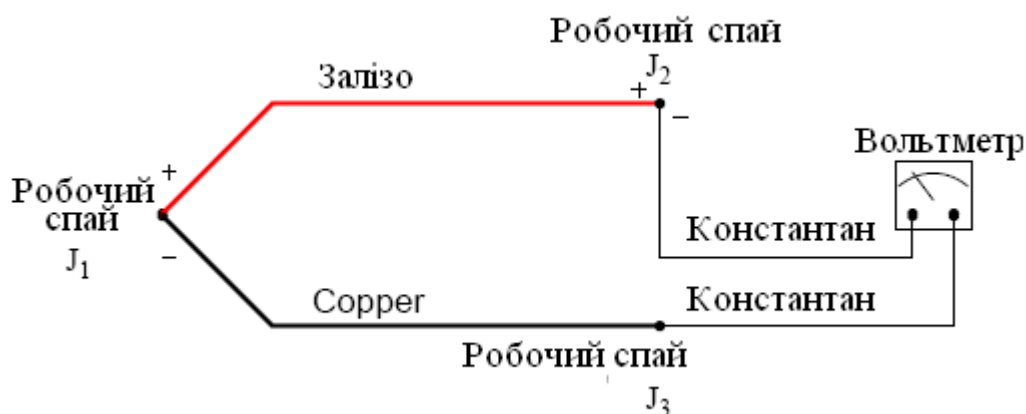


Рисунок 3.6 – Схема підключення термопари

Термопара представляє собою два різнорідних електропровідних термоелемента (звичайно металевих, рідше – напівпровідникових), сполучених між собою і утворюючих частину устрою (термоелектричного термометра), який

використовує термоелектричний ефект для вимірювання температури. Зовнішній вигляд термопари наведений на рис. 3.7.



Рисунок 3.7 – Термопара

Термоелектричний ефект пояснюється наявністю у провіднику (металі) вільних електронів, число яких є різним для різних металів.

Термопара – найбільш поширений в промисловості температурний датчик. Дія термопари заснована на ефекті, який вперше був відкритий і описаний Томасом Зеєбеком в 1822 році. Найбільш правильне визначення цього ефекту наступне: якщо гомогенний матеріал, що володіє вільними зарядами, має різну температуру на вимірювальних контактах, то між контактами виникає різниця потенціалів, яку можливо виміряти. Тобто, суть явища Зеєбека полягає в тому, що енергія вільних електронів, що обумовлюють виникнення електричного струму в провідниках, різна і по-різному змінюється з температурою. Тому, якщо уздовж провідника є перепад температур, на його гарячому кінці електрони матимуть великі енергії і швидкості в порівнянні з холодним, що зумовить виникнення в провіднику потоку електронів від гарячого кінця до холодного. В результаті на обох кінцях накопичуватимуться заряди — негативний на холодному і позитивний на гарячому. Оскільки у різних провідників ці заряди різні, то при з'єднанні двох з них в термоелемент з'явиться різницева термоелектрорушійна сила (ТЕРС), яка є сумою двох контактних електрорушійних сил, що виникають в місцях їх контакту і є функцією температури цих контактів.

Конструктивне виконання термопар різноманітне і залежить, головним чином, від умов їх застосування. Для різних

температурних діапазонів використовують різні поєднання металів. При необхідності вимірювання невеликої різниці температур або отримання великої ТЕРС застосовуються диференціальні термопари і термобатарей, які являють собою поєднання декількох послідовно сполучених термопар.

Термоелементи вельми надійні і недорогі, мають малу теплоємність і здатні працювати в широкому діапазоні температур.

Правильне вимірювання температури за допомогою термопари можливе лише при постійності температур холодних спаїв t_0 . Воно забезпечується за допомогою сполучних дротів і спеціальних термостатуючих пристроїв. Сполучні дроти в даному випадку призначені для перенесення вільних кінців термопари в зону з відомою постійною температурою, а також для під'єднання вільних кінців термопари до затисків вимірювальних приладів. Сполучні дроти мають бути термоелектрично подібні термоелектродам термопари.

Як правило, сполучні дроти для термопар, виготовлених з неблагородних металів, виготовлюються з тих же самих матеріалів, що і термоелектроди. Виняток становить хромель-алюмелева термопара, для якої з метою зменшення опору лінії у якості сполучаючих дротів застосовується мідь в парі з константаном.

Застосовуються наступні *градуювання* термопар:

ХА - хромель-алюмелеві;

ХК - хромель-копелеві;

ПП - платинородий-платинові і так далі.

Основні вимоги до термопар:

- 1) відтворюваність,
- 2) висока чутливість,
- 3) надійність,
- 4) стабільність,
- 5) достатній температурний діапазон.

Матеріали, найбільш часто використовувані для виготовлення термопар наведені у таблиці 3.1, градуювальні характеристика термопар – на рис.3.8.

Методи і засоби для вимірювання ТЕРС поділяють на:

- 1) Метод безпосередньої оцінки (за допомогою мілівольтметра);
- 2) Компенсаційний метод (за допомогою потенціометрів).

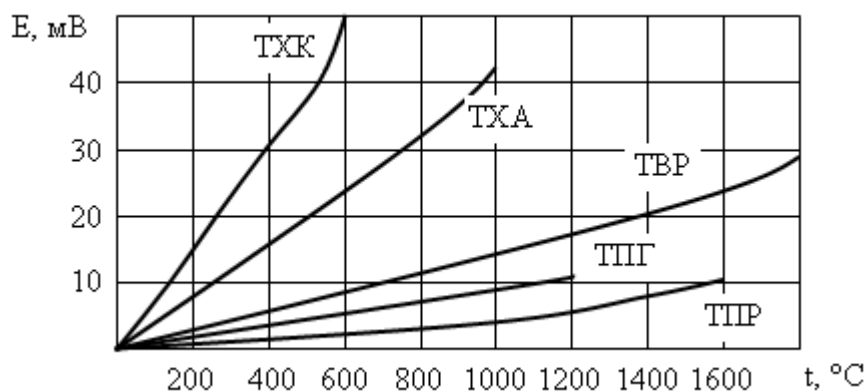


Рисунок 3.8 – Градувальні характеристики термопар

Таблиця 3.1 - Матеріали, використувані для виготовлення термопар

Назва	Склад	ТЕРС, мВ (при $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$, $t_1 = 100^{\circ}\text{C}$)	Максимальна температурна межа, $^{\circ}\text{C}$
хромель	10% Cr + 90 % Ni	+2,95	1000
платинородий	90 % Pt + 10 % Rh	+0,86	1300
мідь	Cu	+0,76	350
платина	Pt	0	1300
алюмель	95 % Ni + 5 % Al	-1,2	1000
копель	56 % Cu + 44 % Ni	-4	600
константан	60 % Cu + 40 % Ni	-3,4	600

Тип вихідного сигналу з термопар – напруга (В), струм (мА). Діапазони вихідного сигналу: $\pm 15\text{мВ}$, $\pm 50\text{мВ}$, $\pm 100\text{мВ}$, $\pm 500\text{мВ}$, $\pm 1\text{В}$, $\pm 2,5\text{В}$, $\pm 20\text{мА}$.

Типи термопар і діапазони вимірювання температури: J($0-760^{\circ}\text{C}$); K($0-1000^{\circ}\text{C}$); T($100-400^{\circ}\text{C}$); E($0-1400^{\circ}\text{C}$); K($500-1800^{\circ}\text{C}$).

Погрішність вимірювання температури термопарами – не вище $\pm 0,05\%$.

Напруга живлення термопар – від 10 до 30 В.

Основні типи стандартних промислових термоелектричних перетворювачів наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Стандартні промислові термоелектричні перетворювачі

Тип	Позначення промислового термоперетворювача	Матеріали термоелектродів	
		Позитивний електрод	Негативний електрод
R	ТПП	Платина -87% Родій -13%	Платина
S	ТПП	Платина -90% Родій -10%	Платина
B	ТПР	Платина -70% Родій -30%	Платина-94% Родій -6%
J	ТЖК	Залізо	Константан (57 % Cu + 43 % Ni)
T	ТМК	Мідь	Константан
E	ТХКн	Нікель-хром (хромель)	Константан
K	ТХА	Нікель-хром (хромель)	Нікель-алюміній (алюмель)
N	ТНН	Нікель-хром- кремній (ніхросил)	Нікель-кремній (нісил)
A	ТВР	Вольфрам-реній	Вольфрам-реній
L	ТХК	Хромель	Копель
M	ТМК	Мідь	Копель

В наш час широко розповсюджені кабельні термоелектричні перетворювачі, які виробляються з термопарного кабелю. Технологія виготовлення термоелектричних перетворювачів з термопарного кабелю КТМС з використанням імпульсного лазерного зварювання робочого спаю раніше використовувалася тільки на підприємствах атомної енергетики і військової промисловості і була закритою для широкого використання.

Кабельні термоперетворювачі є доступними для загальнопромислового застосування в різних галузях промисловості і наукових досліджень. Прикладом таких термоперетворювачів є термоперетворювачі серії «Метран» (рис. 3.9).

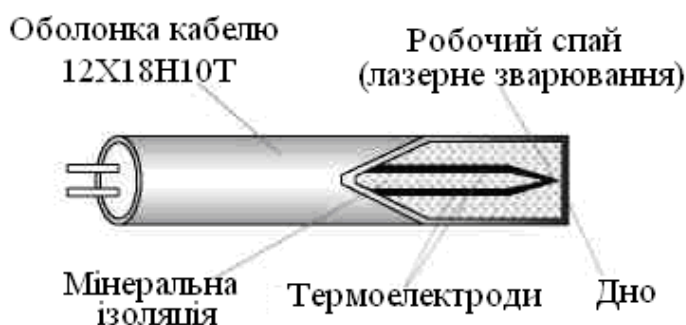


Рисунок 3.9 – Загальний вигляд кабельної термопары

Термометри опору (рис.3.10). Метали мають позитивний температурний коефіцієнт опору, тобто із збільшенням температури опір провідника зростає. Ця властивість використовується в датчиках температури.



Рисунок 3.10 – Термометри опору

Вимірювання температури термоопорами засноване на властивості провідників і напівпровідників змінювати свій електричний опір при зміні температури.

Вид функції $R = f(t)$ залежить від природи матеріалу. Для виготовлення чутливих елементів серійних термоопорів застосовуються чисті метали, до яких пред'являються наступні вимоги:

а) метал не має окислюватися або вступати в хімічні реакції з вимірюваним середовищем;

б) температурний коефіцієнт електричного опору металу має бути достатньо великим і незмінним;

в) функція $R = f(t)$ має бути однозначною.

Найбільш повно вказаним вимогам відповідають: платина, мідь, нікель, залізо і інші.

Основним недоліком термоопорів є велика інерційність (до 10 хвилин).

Для вимірювання температури найчастіше застосовуються термоопори типів ТСП (платинові) і ТСМ (мідні).

Резистивні детектори температури (терморезистори) (RTD) (рис. 3.11) виготовляються як з металів, так і з напівпровідників, хоча частіше – з платинового дроту.

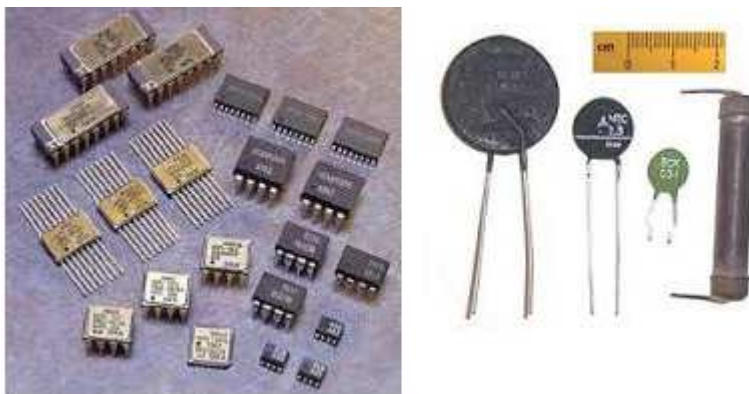


Рисунок 3.11 – Терморезистори

Терморезистори мають властивості змінювати електричний опір зі зміною температури. Опір R є практично лінійною функцією температури при опорному значенні $T_0 = 0^\circ\text{C}$ (рис. 3.12).

Відношення опору R при температурі T до опору R_0 при опорній температурі T_0 можна виразити як

$$R/R_0 = 1 + aT + bT^2 + \dots$$

де a – температурний коефіцієнт опору, b – позитивна або негативна постійна. Для платини $a=0,004^\circ\text{C}^{-1}$, $b=0.59 \cdot 10^{-6}^\circ\text{C}^{-2}$.

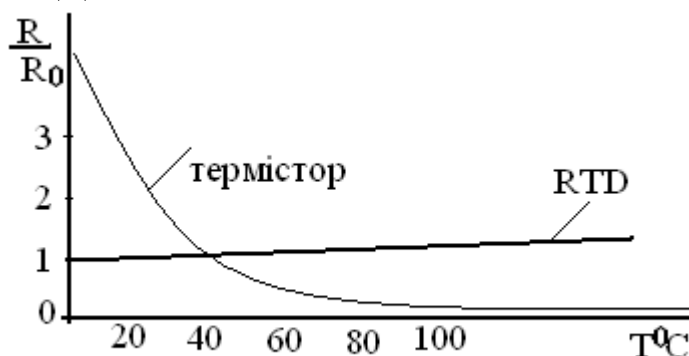


Рисунок 3.12 – Залежність опору мідного терморезистора (RTD) і термістора від температури

Існують RTD для набору стандартних опорів. Найбільш часто використовуваний тип має опір 100 Ом при опорній температурі 0⁰С або 272 К (Pt-100).

Датчики RTD мають вельми низьку чутливість, і будь-який струм (i), використовуваний для визначення зміни опору, нагріватиме датчик, змінюючи його показання на величину, пропорційну (i²). Вихідний опір найчастіше вимірюють мостовими схемами.

Термістори. Напівпровідникові терморезистори називаються термісторами.

Термістор – це температурно-залежний резистор, який виготовлюється з напівпровідникового матеріалу, що має негативний температурний коефіцієнт і високу чутливість. Його опір нелінійно залежить від температури:

$$R=R_0 * e^{\beta(1/T-1/T_0)}$$

де T – температура в градусах Кельвіна, R₀ – опір при опорній температурі T₀ (зазвичай 298К або 25⁰С), β – постійна (зазвичай 3000 - 5000 К).

Нахил кривої R – T (рис. 3.12) відповідає температурному коефіцієнту **a**, який у свою чергу, є функцією температури:

$$a = \frac{1}{R/R_0} \cdot \frac{d(R/R_0)}{dT} = \frac{-b}{T^2}$$

Значення коефіцієнта **a** зазвичай лежить в діапазоні від мінус 0,03 до мінус 0,06 К⁻¹ при 25⁰С.

Внаслідок того, що термістор має кінцевий опір, при протіканні по ньому струму виділяється тепло. Енергія, що виділяється в термісторі при 25⁰С, має зазвичай порядок 0,002 мВт. При постійній розсіянні близько 1 мВт/ ⁰С температура датчика підвищуватиметься на 1⁰С (на повітрі) на кожен міліват розсіюваної потужності.

Термістор не є точним датчиком температури. Проте, завдяки своїй чутливості, він використовується для вимірювання малих відхилень температури. Нелінійна вихідна напруга має бути перетворена в лінійну залежність від температури. Це можна зробити за допомогою аналогового пристрою або програмним способом. Лінійну характеристику можна отримати, приєднавши до термістора нескладні електронні пристрої.

Термістори застосовуються для вимірювання температур аж до 500 - 600⁰С.

Пірометри випромінювання (рис.3.13). Пірометри випромінювання засновані на використанні теплового випромінювання нагрітих тіл.



Рисунок 3.13 – Пірометри випромінювання

Верхня межа вимірювання температури пірометра випромінювання практично не обмежена. Вимірювання засноване на безконтактному способі, тому відсутнє спотворення температурного поля перетворюючого елемента приладу, що викликається введенням останнього у вимірюване середовище. Можливе вимірювання температури полум'я і високих температур газових потоків при великих швидкостях.

Промениста енергія виділяється нагрітим тілом у вигляді хвиль різної довжини. При порівняно низьких температурах (до 500°C) нагріте тіло випускає інфрачервоні промені. У міру підвищення температури колір тіла від темно-червоного доходить до білого. Зростання інтенсивності монохроматичного випромінювання з підвищенням температури описується відповідними рівняннями.

Колірні пірометри. У кольорних пірометрах визначається відношення інтенсивності випромінювання реального тіла E_{λ} в променях з двома заздалегідь вибраними значеннями довжини хвилі λ_1 і λ_2 , тобто свідчення кольорних пірометрів визначається функцією $f(E_{1\lambda} / E_2)$. Це відношення для кожної температури різне, але однозначно.

Промислові термонеперетворювачі. Температура – найважливіший параметр технологічних процесів багатьох галузей промисловості. Впровадження прогресивних автоматичних методів ведення технологічних процесів підвищує вимоги до точності вимірів температури і примушує розширювати межі вимірювань температури та знаходити нові методи її вимірювання в складніших умовах.

Промисловістю різних країн випускається значна кількість термоперетворювачів, які здатні працювати в автоматизованих системах управління технологічними процесами. Нижче будуть розглянуті деякі з них.

Термоперетворювачі «Метран» (рис. 3.14) є прикладом кабельних термоперетворювачів. Діапазон вимірювання температури ряду «Метран» складає від мінус 200 до 1600⁰С.



3.14 – Зовнішній вигляд термоперетворювача

Серія термоперетворювачів *ТХА/ТХК Метран-200, 201, 202* призначені для вимірювання температури рідких і газоподібних хімічно неагресивних середовищ, а також агресивних, але не руйнівних матеріал захисної арматури. Діапазон вимірюваних температур: мінус 40...600⁰С – для ТХК Метран-202-01...06, 31-33; мінус 40...800⁰С, мінус 40...1000⁰С - для ТХА Метран-201-01...06,31-33. Матеріал головки термопар: сплав Ак12.

Термоперетворювачі опору мідні *ТСМ Метран-203 і ТСМ Метран-204* також призначені для вимірювання температури рідких і газоподібних хімічно неагресивних середовищ, а також агресивних, не руйнівних матеріал захисної арматури. Діапазон вимірюваних температур: мінус 50...150⁰С (для класу допуску В); мінус 50...180⁰С (для класу допуску С).

ТСП Метран-226 (Pt100), ТСП Метран-227 (Pt500), ТСП Метран-228(Pt1000) призначені для вимірювання температури рідких, газоподібних і сипких середовищ, не руйнівних матеріал захисної арматури.

Діапазон вимірюваних температур: мінус 30...200⁰С; мінус 30...350⁰С (для класу допуску А); мінус 50...200⁰С, мінус 70...500⁰С (для класу допуску В).

Перетворювачі термоелектричні ТХА Метран-231 і ТХК Метран-232 призначені для вимірювання температури продуктів згорання рідкого або газоподібного палива в пульсуючому потоці, що рухається з швидкістю до 170 м/с з тиском до 3 МПа і має швидкість зміни температури вимірюваного середовища до 150°C/хвилину. Діапазон вимірюваних температур: 0...600 – для ТХК Метран-232; 0...800°C; 0...900°C – для ТХА Метран-231.

Перетворювачі термоелектричні ТХА Метран-241 і ТХК Метран-242, мідні ТСМ Метран-243 (50М), платинові ТСП Метран-245 (50П, 100П), ТСП Метран-246 (Pt50, Pt100) призначені для вимірювання температури малогабаритних підшипників, поверхні твердих тіл, корпусів і головок термопласт-автоматів, черв'ячних пресів для переробки пластмас і гумових сумішей. Діапазон вимірюваних температур: мінус 40...200°C; мінус 40...400°C.

Вибухозахищені термоперетворювачі:

- *перетворювачі термоелектричні ТХА Метран-251 і ТХК Метран-252* – діапазон вимірюваних температур: 0...600°C – для ТХК Метран-252; 0...800°C – для ТХА Метран-251;

- *термоперетворювачі опору мідні ТСМ Метран-253 (50М) і ТСМ Метран-254 (100М)* – діапазон вимірюваних температур: -50...150°C (для класу допуску В); -50...180°C (для класу допуску С).

- *термоперетворювачі опору платинові ТСП Метран-255 (50П) і ТСП Метран-256 (100П)* – діапазон вимірюваних температур: -50...500°C; -50...200°C.

Перетворювачі термоелектричні (багатозонні) ТХА Метран-261 і ТХК Метран-262 призначені для вимірювання температури в реакторах установок каталітичного риформінгу і гідроочищення нафтопродуктів, а також для вимірювання температури повітряного середовища в шахтах, кишнях, колодязях в декількох різних точках по глибині. Діапазон вимірюваних температур: -40...600°C; -40...800°C.

Перетворювачі термоелектричні (високотемпературні) ТПП Метран-211 і ТПР Метран-212 призначені для вимірювання температури в нейтральних і окислювальних газових середовищах, що не взаємодіють з матеріалами термоелектродів і не руйнують матеріал захисної арматури. Герметичні до вимірюваного середовища до $P_u=0,4$ МПа. Діапазон вимірюваних температур:

0...1300°C – для ТПП Метран-211 з НСХ-S; 0...1300°C – для ТПП Метран-211 з НСХ-R; 600...1600°C – для ТПР Метран-212 з НСХ-В.

Термоперетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом ТХАУ Метран-271, ТСМУ Метран-274, ТСПУ Метран-276 мають вбудований вимірювальний перетворювач і надають можливість побудови АСУ ТП без застосування додаткових нормуючих перетворювачів.

Виконання: *термоперетворювачі:*

-50...50; -50...100; -50...150; 0...50; 0...100; 0...150; 0... 180°C – для ТСМУ Метран-274;

-50...50; 0...100; 0...200; 0...300; 0..400; 0...500°C – для ТСПУ Метран 276.

Матеріал захисної арматури та максимальна температура застосування: 12Х18Н10Т (800°C), 10Х17Н13М2Т (800°C), Хн78Т (1000°C).

Мікропроцесорні термоперетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом ТХАУ Метран-271МП, ТСМУ Метран-274МП, ТСПУ Метран-276МП.

Переваги термоперетворювачів з уніфікованим вихідним сигналом ТХАУ Метран-271 МП, ТСМУ Метран-274МП, ТСПУ Метран-276МП:

- підвищена точність вимірювань;
- можливість перенастроювання діапазону перетворюваних температур;
- детектування обриву або короткого замикання первинного перетворювача температури;
- самодіагностика;
- можливість перенастроювання номінальної статичної характеристики у випадку заміни чутливого елемента на інший тип;
- калібрування датчика під індивідуальну статичну характеристику чуттєвого елемента по 2...8 температурним точкам для підвищення його точності;
- вибір часу демпфування вимірюваного сигналу.

Перенастроювання, калібрування і вибір часу демпфування здійснюються за допомогою конфігуратора Метран-671 і програмного забезпечення M-Master.

Вихідний сигнал: 4-20мА. Залежність вихідного сигналу від температури – лінійна. Виконання: звичайне і вибухозахищене.

Межа основної приведенної похибки, що припускається у %: 0,25; 0,5 для ТХАУ Метран-271; 0,15; 0,25; 0,5 для ТСМУ Метран-274, ТСПУ Метран-276.

Діапазон вимірюваних температур: 0...1000°C – для ТХАУ Метран-271; -50.. .180°C – для ТСМУ Метран-274; 50...500°C-для ТСПУ Метран 276.

Інтелектуальні перетворювачі температури Метран-281, Метран-286.

Переваги інтелектуальних перетворювачів температури (ПТ) Метран-281, Метран-286:

- підвищена точність вимірювань;
 - дистанційне керування ПТ за допомогою HART-комунікатора Метран-650 або комп'ютера, оснащеного HART-модемом Метран-681 і програмою H - Master;
 - можливість перенастроювання діапазону перетворюваних температур;
 - детектування обриву або короткого замикання первинного перетворювача температури;
 - самодіагностика;
 - захист датчика від несанкціонованого доступу;
 - вибір часу демпфування вимірюваного сигналу;
- У багатоточковому режимі роботи до однієї пари дротів може бути підключено до 15 датчиків.

Вихідний сигнал: 4-20 мА з накладеним цифровим сигналом в стандарті HART.

Залежність вихідного сигналу від температури – лінійна.

Виконання: звичайне і вибухозахищене.

Діапазон вимірюваних температур: -40...1000°C – для ПТ Метран-281; -50...500°C – для ПТ Метран-286.

Мінімальна різниця між верхнім і нижнім значеннями діапазону: 50°C – для ПТ Метран-281; 25°C – для ПТ Метран-286.

Матеріал захисної арматури (максимальна температура застосування): 12X18H10T (800°C), 10X17H13M2T (800°C), Хн78Т (1000°C).

Інтелектуальні перетворювачі температури Метран-281М, Метран-286М (розроблені із застосуванням технології Emerson)

Відмітні особливості:

- гальванічна розв'язка входу від виходу;

- розширений діапазон температури навколишнього повітря: -55.. .85С;

- захист від високо- і низькочастотних перешкод і стрибків перенапружень;

- підвищена стабільність і надійність;

- габаритні і настановні розміри вбудованого в головку перетворювача виконані в стандарті DIN.

Перетворювачі Метран-900Т і *Метран-900Т-Ех* застосовуються для вимірювання температури різних середовищ. Діапазон вимірювання: 0 ...+1200°С. Номінальна статична характеристика: Pt 100 і К. Основна погрішність вимірювання: 0,25; 0,5. Напряга живлення: 120 або 200 В. Вихідний сигнал: 4-20 мА. Виробник: ВАТ Челябінський завод «Теплоприбор».

АДАМ-4011 – модуль аналогового вводу сигналу термопар. Підсистема аналогового вводу. Кількість і тип каналів аналогового вводу: 1 диференціальний. Тип вхідного сигналу: напруга термопар (мВ), напруга (В), струм (мА). Діапазон вхідного сигналу: ±15мВ, ±50мВ, ±100 мВ, ±1В, ±2,5В, ±20мА. Типи термопар і діапазони вимірювання температури: J(0–760°С); К(0-1000°3); Т(-100 - +400°С); Е(0-1400°С); К(500-1750°С); S(500–1750°С); В(500–1800°С). Напряга ізоляції 500 В постійного струму. Час аналого-цифрового перетворення 100мс. Основна погрішність вимірювання: не вище ±0,05%.

АДАМ-4013 – модуль вводу сигналу термоопору. Підсистема аналогового вводу. Типи підтримуваних термометрів опору: Pt, Ni. Діапазон вхідного сигналу: ±15мВ, ±50мВ, ±100мВ, ±500мВ, ±1В, ±2,5 В, ±20мА. Типи термометрів і діапазони вимірювання температури:

Pt (-100–100°С, a = 0,00385); Pt(0-100°С, a = 0,00385);

Pt (0-200°С, a = 0,00385); Pt (0-600°С, a = 0,00385);

Pt (- 100-100°С, a = 0,003916); Pt (0-100°С, a = 0,003916);

Pt (0-200°С, a = 0,003916); Pt (0-600°С, a = 0,003916);

Ni (-80–100°С); Ni (0–100°С).

Напряга ізоляції 3000 В постійного струму. Час аналого-цифрового перетворення 100мс. Варіанти підключення: 2,3,4 – дрогове. Основна погрішність: не вище +0,05%.

АДАМ-5018 – 7-канальний модуль вводу сигналів термопар. Кількість і тип каналів аналогового вводу: 7

диференціальних. Інші технічні характеристики аналогічні модулю АДАМ-4011.

АДАМ-5013 – 3-канальний модуль введення сигналів термоопору. Кількість каналів 3. Інші технічні характеристики аналогічні модулю АДАМ-4013.

Зовнішній вигляд перетворювача АДАМ наведений на рис. 3.15.



3.15 – Зовнішній вигляд перетворювача АДАМ

Манометричні перетворювачі температури формують на виході уніфікований сигнал, зручний для запису і керування, а також дистанційного вимірювання температури без використання додаткової енергії на відстані до 60 м. Вони прості за конструкційним виконанням, надійні в експлуатації, з рівномірною шкалою, вибухобезпечні і нечутливі до зовнішніх магнітних полів.

Безконтактні засоби вимірювання температури засновані на використанні електромагнітних і ультразвукових явищ. Вони дозволяють контролювати температуру потоків продукції і не спотворюють температурне поле.

Аналогові перетворювачі температури для суміщення із засобами мікропроцесорної техніки вимагають наявності на виході аналого-цифрового перетворювача (АЦП) для перетворення аналогового сигналу цих перетворювачів у цифрову форму. Це можна здійснити за допомогою модулів вводу аналогових сигналів серій АДАМ. Застосовуючи інтелектуальні перетворювачі серій АДАМ на виході можна одержати сигнал, пропорційний величині температури, у цифровій формі.

3.4.2. Методи і засоби вимірювання тиску та розрядження

Під тиском в загальному випадку розуміють межу відношення нормальної складової зусилля до площі, на яку діє зусилля.

Розрізняють абсолютний, атмосферний, надлишковий тиск і стан, що називають вакуумом.

Тиск вимірюється за допомогою манометрів і вимірювальних перетворювачів тиску (ВПТ).

Манометр – це прилад для вимірювання тиску або різниці тисків з безпосереднім відліком (відображенням) їхніх значень. Вимірювальний перетворювач тиску – перетворювач, вихідний сигнал якого функціонально пов'язаний з вимірюваним тиском або різницею тисків.

Залежно від природи контролюваного процесу розрізняють *абсолютний* тиск P_a або *надмірний* P_i . При вимірюванні P_a за початок відліку береться нульовий тиск, який можна собі представити як тиск усередині судини після повного відкачування повітря. Природно, досягти $P_a = 0$ неможливо.

Барометричний тиск $P_{бар}$ – тиск, що надається атмосферою на всі предмети, що знаходяться в ній.

Надмірним тиском є різниця між абсолютним і барометричним тиском: $P_i = P_a - P_{бар}$.

Якщо $P_{абс} < P_{бар}$, то P_i називається тиском розрядження.

Класифікація приладів для вимірювання тиску:

I. За принципом дії:

- 1) рідинні (заснований на урівноваженні тиску стовпом рідини);
- 2) поршневі (вимірюваний тиск врівноважується зовнішньою силою, що діє на поршень);
- 3) пружинні (тиск вимірюється по величині деформації пружного елемента);
- 4) електричні (заснований на перетворенні тиску в яку-небудь електричну величину).

II. За видом вимірюваної величини:

- 1) манометри (вимірювання надмірного тиску);
- 2) вакуумметри (вимірювання тиску розрядження);
- 3) мановакуумметри (вимірювання як надмірного тиску, так і тиску розрядження);

- 4) напорометри (для вимірювання малого надмірного тиску);
- 5) тягоміри (для вимірювання малого тиску розрядження);
- 6) тягонапорометри;
- 7) дифманометр (для вимірювання різниці тиску);
- 8) барометри (для вимірювання барометричного тиску).

За принципом дії чутливого елемента (ЧЕ) засоби вимірювання тиску поділяються на три групи: до першої групи відносяться поршневі, рідинні і інші типи манометрів і перетворювачів тиску, засновані на прямих методах вимірювань; до другого – деформаційні, напівпровідникові і інші типи манометрів і перетворювачів тиску, засновані на прямих відносних методах вимірів; до третього – термоділяційні та іонізаційні вакуумметри, ультразвукові манометри та інші прилади, засновані на непрямих методах вимірювань.

Рідинні манометри широко застосовуються як зразкові прилади для лабораторних і технічних вимірювань. У якості робочої рідини використовується спирт, вода, ртуть, масла.

Двотрубний манометр вдає із себе U-подібну трубку, заповнену рідиною затвору (рис.3.16).

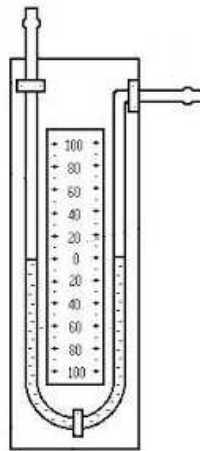


Рисунок 3.16 – Рідинний манометр

Мікроманометри застосовуються для вимірювання тиску, меншого ніж 100 – 200 мм водяного стовпа. Мікроманометри – це рідинний манометр з нахиленою під кутом 20...50° трубкою (рис.3.17).

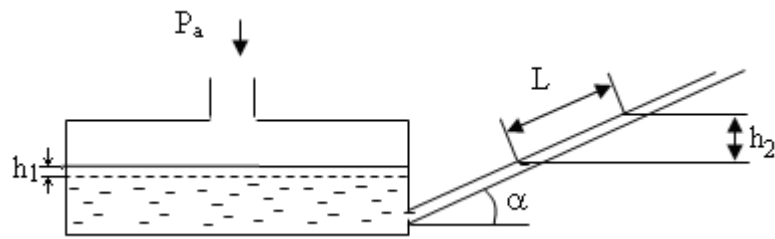


Рисунок 3.17 – Мікроманометр

$h = L \cdot \sin(\alpha)$ – висота підняття рівню рідини у вузькій трубці.

$P = \rho \cdot g \cdot h$ – зміряний тиск.

Погрішність: $\pm 1,5 \%$.

Пружинні манометри складаються з трубчастої пружини 1 з повідцем, зубчатого сектора 3 і шестерні 4 з прикріпленою до неї стрілкою 2 (рис.3.18).

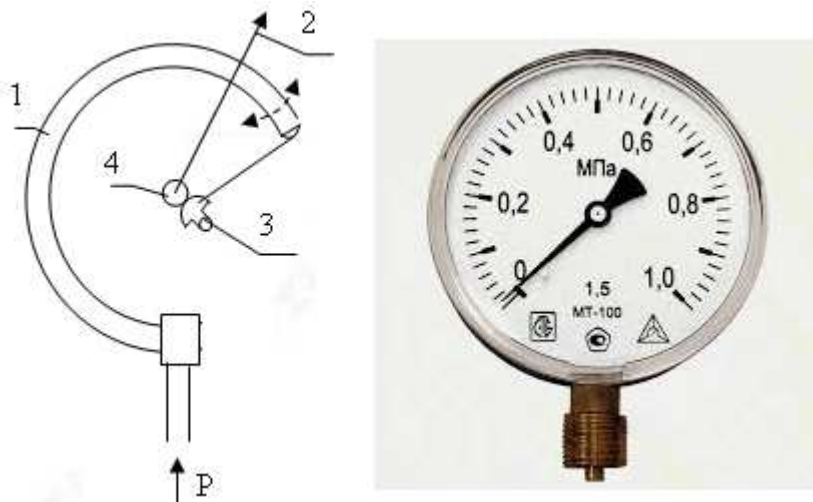


Рисунок 3.18 – Пружинний манометр

При збільшенні тиску трубчаста пружина прагне розігнутися, внаслідок чого вона через повідець починає діяти на зубчатий сектор, відхиляючи стрілку.

Широке застосування одержали **деформаційні манометри** з одновитковою трубчастою пружиною. Вони встановлюються безпосередньо на технологічному устаткуванні (по місцю) або дистанційно (на щитах). Діапазон вимірювань деформаційних манометрів становить від 10 Па до 2 ГПа, клас точності – від 0,25 до 4,0. При вимірюванні відносно невеликих тисків (менше 1 МПа) використовують мембранні манометри, які містять гофровану мембрану, герметично закріплену між фланцями, клас точності від 0,15 до 2,5.

Електромагнітні перетворювачі, що використовуються в системах передачі сигналів, поділяються на індуктивні, трансформаторні та магнітопружні.

Індуктивні перетворювачі (рис. 3.19) широко використовуються для вирішення завдань [АСУ ТП](#). Виконуються з нормально розімкненим або нормально замкнутим контактом.

Принцип дії заснований на зміні амплітуди коливань генератора при внесенні до активної зони датчика металевого, магнітного, ферро-магнітного або аморфного матеріалу певних розмірів. При подачі живлення на кінцевий вимикач в області його чутливої поверхні утворюється мінливе магнітне поле, яке наводить у внесеному до зони матеріалі вихрові струми, які ведуть до зміни амплітуди коливань генератора. В результаті виробляється аналоговий вихідний сигнал, величина якого змінюється залежно від відстані між датчиком і контрольованим предметом.

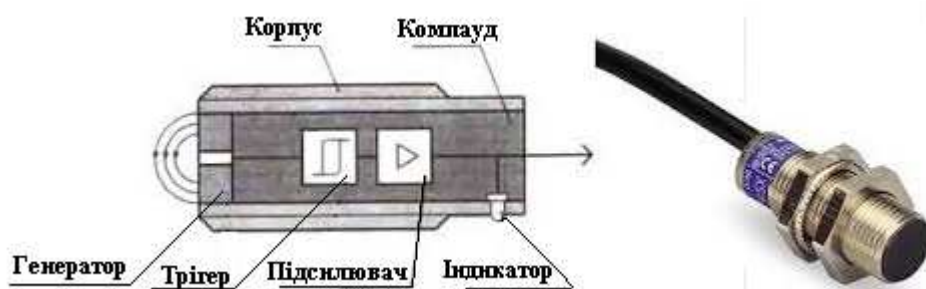


Рисунок 3.19 – Індуктивний датчик

Основні вузли датчика виконують наступні функції: генератор створює електромагнітне поле взаємодії з об'єктом; тригер перетворює аналоговий сигнал у логічний; підсилювач збільшує амплітуду сигналу до необхідного значення, індикатор показує стан вимикача; компаунд забезпечує необхідний ступінь захист від проникнення твердих часток і води, корпус забезпечує монтаж датчика.

Звичайно використовується диференціальна схема включення індуктивних перетворювачів, що розширює лінійну ділянку статичної характеристики і підвищує чутливість приладу.

Широке застосування знайшли *резисторні деформаційні манометри*, засновані на використанні *тензорезисторів*, що змінюють опір при деформації. Розрізняють такі групи тензорезисторів: дротяні, фольгові, тонкоплівкові і напівпровідникові.

Електричні манометри.

Тензорезисторні перетворювачі типу «Сапфір-22» – це інтелектуальний датчик тиску. Зараз широко використовуються тензорезисторні перетворювачі типу «Сапфір» з напівпровідниковим кремнієвим тензорезистором, нанесеним на ізольовану сапфірову підкладку. Під впливом вимірюваного тиску підкладка деформується, при цьому змінюється опір тензорезистора, який за допомогою електронного пристрою перетворюється в аналоговий стандартний сигнал 0 – 5; 0 – 20; або 4 – 20 мА постійного струму (рис 3.20).

Мембранний тензоперетворювач 3 розміщений усередині підстави 9. Внутрішня порожнина 4 тензоперетворювача заповнена кремнійорганічною рідиною і відокремлена від вимірюваного середовища металевою гофрованою мембраною 6, привареною по зовнішньому контуру до підстави 9. Порожнина 10 сполучена з навколишньою атмосферою. Вимірюваний тиск подається в камеру 7 фланця 5, який ущільнений прокладкою 8.

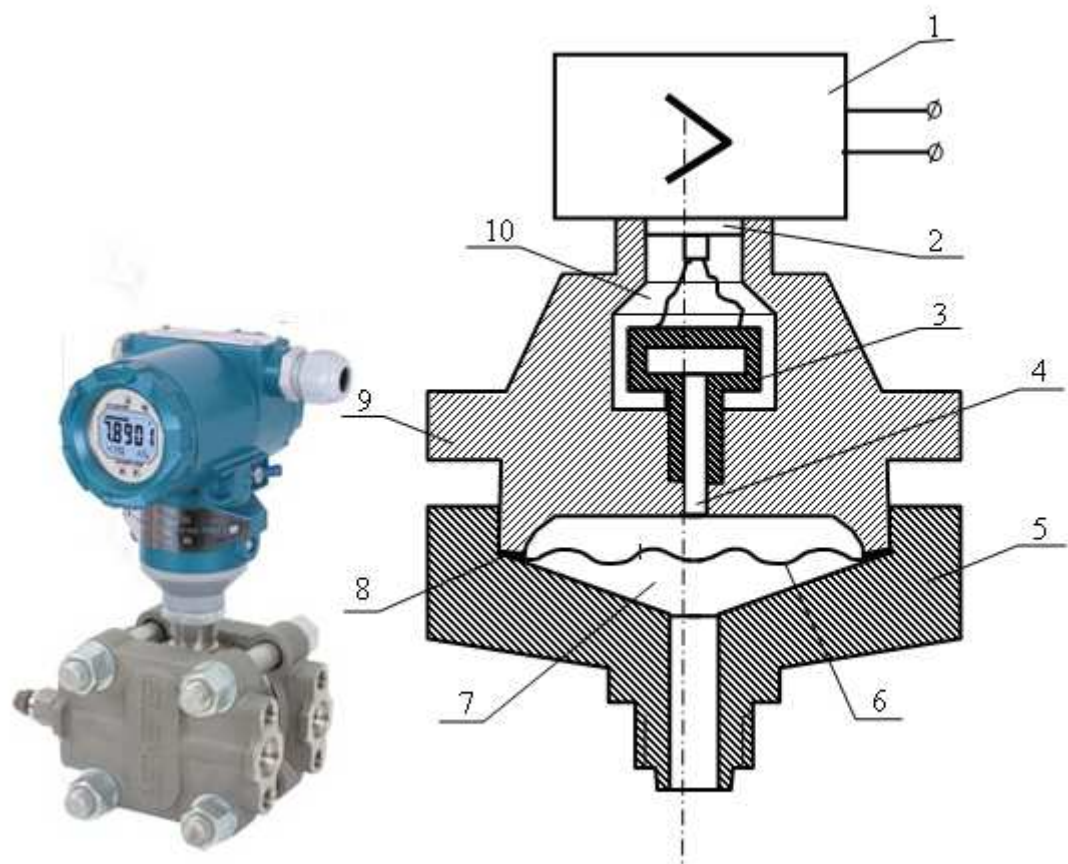


Рисунок 3.20 – Схема перетворювача «Сапфір-22»

Вимірюваний тиск діє на мембрану 6 і через рідину діє на мембрану тензоперетворювача, викликаючи її прогин і зміну опору тензорезисторів. Електричний сигнал від тензоперетворювача передається з вимірювального блоку 1 по проводах через гермовивід 2.

Перетворювачі Сапфір-22ДА призначені для вимірювання абсолютного тиску, відрізняються тим, що порожнина 10 вакуумована і герметизована.

Ці манометри забезпечують безперервне перетворення значення вимірюваного параметра (тиску надмірного, абсолютного, розрядження, різниці тиску нейтральних і агресивних середовищ) в уніфікований струмовий сигнал для дистанційної передачі (0 - 5 мА, 0 - 20 мА і інші).

Перетворювачі Сапфір-22ДД (рис. 3.21), призначені для вимірювання різниці тиску і відрізняються тим, що в них використовується тензоперетворювач типу мембранного важеля, який розміщений усередині підстави в замкнутій порожнині, заповненою кремнійорганічною рідиною, і відокремлений від вимірюваного середовища двома металевими гофрованими мембранами.

Мембрани сполучені між собою центральним штоком, переміщення якого передається важелю, що викликає деформацію тензоперетворювача. Чутливим елементом тензоперетворювача є пластина з монокристалічного сапфіра (різновид корунду - Al_2O_3) з кремнієвими плівковими тензорезисторами (структура КНС – кремній на сапфірі).

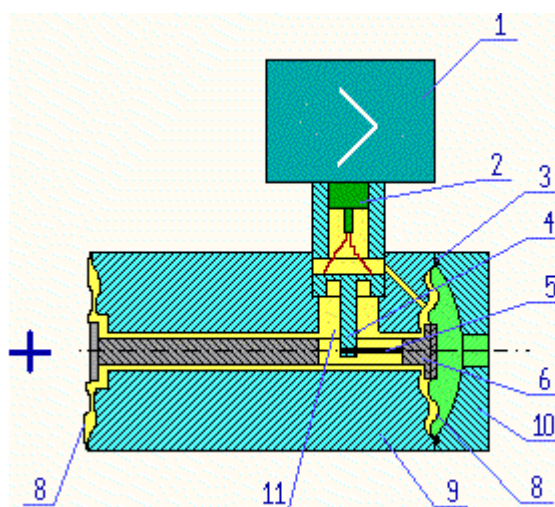


Рисунок 3.21 – Схема перетворювача Сапфір-22ДД

Електричний сигнал від тензоперетворювача передається з вимірювального блоку в електронний пристрій 1 по дротах через гермоввід 2. Вимірювальний блок витримує без руйнування дію одnobічного перевантаження робочим надмірним тиском. Це забезпечується тим, що при такому перевантаженні одна з мембран 8 лягає на профільовану поверхню підстави 9.

Вимірювальні перетворювачі «Сапфір» можна застосовувати для вимірювання таких параметрів: надлишкового тиску (НТ), абсолютного тиску (АТ), вакууму (ВТ), надлишкового тиску і вакууму (НВТ), перепаду тиску (ПТ), гідростатичного тиску (ГТ). Ці перетворювачі працюють при температурах від 5 до 50°C. За вимогою замовника можливе розширення діапазону температур до мінус 20 – плюс 80°C. Допустима основна погрішність становить 0,25 і 0,5; верхні межі вимірювань – від 0,25 кПа до 100 МПа.

Датчики тиску МТ 1000, Сапфір 22 МТ призначені для безперервного пропорційного перетворення вимірюваного тиску (розрядження або надлишкового тиску) в уніфікований струмовий сигнал.

Технічні характеристики датчиків

Верхня границя вимірів, кПа	
за розрядженням	-20; -100; -0,1
за надлишковим тиском	+1,5; +8; +20; +31; +150
нижня межа вимірів дорівнює	0
Напруга живлення	36 В
Вихідний сигнал:	0...5 мА або 4...30 мА
Виготовлювач:	ЗАО „Манометр”

Вимірювальні перетворювачі тиску ЗОНД-10, призначені для перетворення тиску рідин і газів в уніфікований струмовий сигнал 0 – 5 мА або 4 – 20 мА і використовуються для вимірювання надлишкового, абсолютного, гідростатичного тиску і перепаду тисків (рис. 3.22)

Тензочутливий елемент відділений від вимірювального середовища типовою мембраною.



Рисунок 3.22 – Вимірювальні перетворювачі тиску ЗОНД-10

Перетворювачі тиску VEGABAR призначені для вимірювання тиску в ємностях і трубопроводах з газами, парами та рідинами (рис.3.23 а – модель 51, б – модель 14). Вимірюють абсолютний і надлишковий (додатний або від’ємний) тиск. Це компактні прилади, де чутливим елементом є сухий керамічний ємнісний чутливий елемент із утопленою мембраною або сухий п’єзорезисторний чутливий елемент із вбудованим електронним блоком. Технічні характеристики: діапазон вимірювання, бар: 0...600; температура вимірюваного середовища: 200°C; вихідний сигнал: 4...20 мА. Виготовлювач: VEGA (Німеччина).



а – модель 51, б – модель 14

Рисунок 3.23 - Перетворювачі тиску VEGABAR

Датчик різниці тиску DPE 002 призначений для виміру різниці тиску рідких і газоподібних агресивних і неагресивних середовищ. Являє собою моноблок, що складається з ємнісного первинного і проміжного перетворювачів. Технічні характеристики: діапазони виміру, кПа: 0...1,6; 0...4; 0...10; 0...25; 0...40; 0...100; 0...250; 0...400; 0...630; 0...1000. Вихідний сигнал:

4...20 мА. Напруга живлення: 27 ± 3 В. Виготовлювач: НІИФІ, м. Пенза.

Перетворювачі тиску типу «Метран».

Корозійностійкі датчики тиску (надалі датчики) *Метран-49*, *Метран-49-Ех*, *Метран-49-Вн* призначені для роботи в системах автоматичного контролю, регулювання і управління технологічними процесами і забезпечують безперервне перетворення значення вимірюваного параметра – тиску надмірного, розрідження, тиску-розрідження, різниці тиску нейтральних і агресивних середовищ в уніфікований струмовий вихідний сигнал дистанційної передачі і цифровий сигнал на базі HART-протоколу.

Датчики мають як звичайне, так і вибухозахищене виконання.

Датчики призначені для роботи з вторинною реєструючою і показуючою апаратурою, регуляторами і іншими пристроями автоматики, машинами централізованого контролю і системами управління, що сприймають стандартні сигнали постійного струму 0-5 або 0-20 або 4-20 мА і цифрового сигналу на базі HART-протоколу.

Коди виконань датчика залежно від його електронного перетворювача приведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Коди виконань датчика Метран

Код	Електронний перетворювач
МП	Мікропроцесорний без індикаторного пристрою з вихідним аналоговим сигналом постійного струму 0-5 мА, або 0-20 мА, або 4-20 мА, для датчиків виконання Ех – тільки 4-20 мА
МП1	Мікропроцесорний з вбудованим індикаторним пристроєм, з вихідним аналоговим сигналом постійного струму 0-5 мА, або 0-20 мА, або 4-20 мА, для датчиків виконання Ех – тільки 4-20 мА
МП2	Мікропроцесорний без індикаторного пристрою, з вихідним аналоговим сигналом 4-20 мА і цифровим сигналом на базі протоколу HART
МП3	Мікропроцесорний з вбудованим індикаторним пристроєм з вихідним аналоговим сигналом 4-20 мА і цифровим сигналом на базі протоколу HART

Датчики з HART-протоколом (код МП2, МП3) можуть передавати інформацію про вимірювану величину в цифровому вигляді по дводротовій лінії зв'язку разом з сигналом постійного струму 4-20 мА. Цей цифровий сигнал може прийматися і оброблятися будь-яким пристроєм, що підтримує протокол HART.

Цифровий вихід може також використовуватися для зв'язку датчика з портативним ручним HART-комунікатором або з персональним комп'ютером через стандартний послідовний порт і додатковий HART-модем. При цьому може виконуватися налаштування датчика, вибір його основних параметрів, перебудова діапазонів вимірювань, коректування "нуля" і ряд інших операцій.

HART-протокол допускає в системі наявність двох пристроїв, що управляють: системи управління і ручного комунікатора. Ці два керуючих пристрою мають різні адреси, і отже Метран-49 (код МП2, МП3) може розпізнати і виконати команди кожного з них.

Таким чином, по дводротовому зв'язку передається два типи сигналів – аналоговий сигнал 4-20 мА і цифровий сигнал на базі протоколу HART, який накладається на аналоговий вихідний сигнал датчика, не роблячи на нього впливу.

Устрій і робота датчика Метран. Датчик складається з перетворювача тиску (надалі – сенсорний блок) і електронного перетворювача. Датчики різних параметрів мають уніфікований електронний перетворювач.

Вимірюваний параметр подається в камеру сенсорного блоку і лінійно перетворюється в деформацію чутливого елемента, викликаючи при цьому зміну електричного опору тензорезисторів тензоперетворювача, розміщеного в сенсорному блоці.

Електронний перетворювач датчика перетворює цю зміну опору в струмовий вихідний сигнал.

Чутливим елементом тензоперетворювача є пластина з монокристалічного сапфіру з кремнієвими плівковими тензорезисторами (структура КНС), яка міцно сполучена з металевою мембраною тензоперетворювача.

Схема датчиків Метран моделей 9120, 9130, 9140, 9220, 9230, 9240, 9320, 9330, 9340, 9420, 9430, 9440 представлена на (рис.3.24).

Вимірювальна мембрана приварена по зовнішньому контуру до підстави датчика 2, на якій встановлений тензоперетворювач 3. Вимірювальна мембрана і тензоперетворювач захищені від

контакту з робочим середовищем за допомогою двох розподільних мембран 4 і 5.

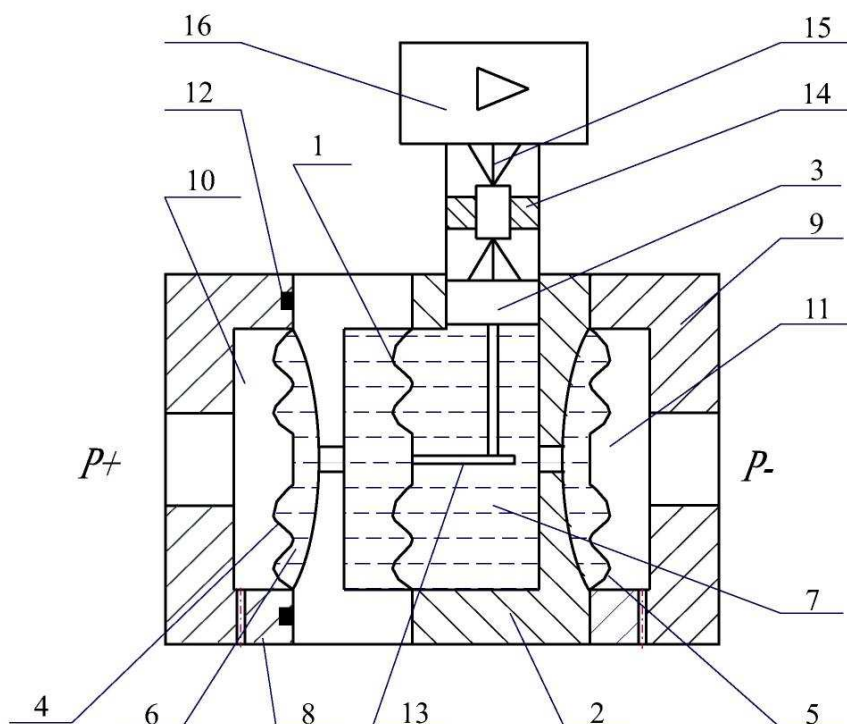


Рисунок 3.24 – Схема тензоперетворювачів Метран моделей 9120, 9130, 9140, 9220, 9230, 9240, 9320, 9330, 9340, 9420, 9430, 9440

Міжмембранні порожнини 6 і 7 заповнені кремнійорганічною рідиною; зовнішні фланці 8 і 9 утворюють робочі камери датчика 10 і 11, і герметизовані за допомогою прокладок 12.

Під дією різниці тиску в робочих камерах датчика відбувається переміщення жорсткого центру вимірної мембрани, яке передається через гнучкий зв'язок 13 до пружного елемента тензоперетворювача, викликаючи зміну опорів його тензорезисторів. Електричний сигнал від тензоперетворювача передається через гермопрохідник 14 по дротах 15 в електронний перетворювач 16.

Схема датчиків Метран-49-ДИ і Метран-49-ДИВ, моделей 9150, 9160, 9170, 9350 представлена на рис. 3.25.

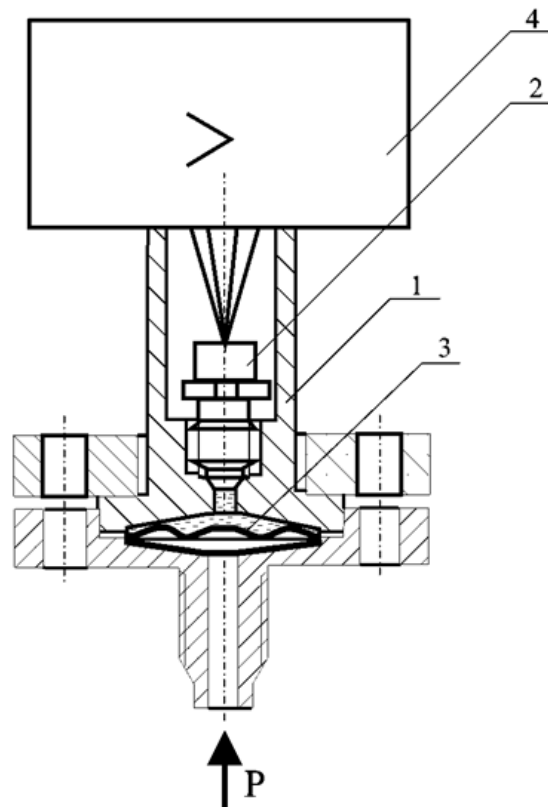


Рисунок 3.25 – Схема датчиків Метран-49-ДИ і Метран-49-ДИВ, моделей 9150, 9160, 9170, 9350

Сенсорний блок перетворювача складається з корпусу 1, у верхній частині якого закріплений тензоперетворювач 2.

До нижньої частини корпусу приварена розділова мембрана 3. Внутрішня частина корпусу між мембраною 3 і тензоперетворювачем 2 заповнена рідиною. До верхньої частини корпусу кріпиться електронний перетворювач 4.

Вимірюваний тиск діє на розділову мембрану 3 і викликає її прогин. Тиск через рідину передається на вимірювальну мембрану тензоперетворювача 2 і викликає її деформацію. Електричний сигнал, що виникає від деформації вимірювальної мембрани, передається на електронний перетворювач 4 і перетворюється в стандартний струмовий вихідний сигнал.

Функціонально електронний перетворювач складається з аналого-цифрового перетворювача (АЦП), блоку пам'яті АЦП, мікроконтролера з блоком пам'яті, цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), стабілізатора напруги, фільтру радіоперешкод і блоку регулювання і установки параметрів для перетворювача з кодом МП, МП1 або HART-модему для перетворювачів з кодом МП2, МП3. Крім того в електронні

перетворювачі з кодом МП1 і МП3 входить рідкокристалічний індикатор (РКІ).

Функціональна блок-схема типового датчика тиску моделі 3051С наведена на рис. 3.26.

Конструктивно АЦП, джерело опорної напруги і блок пам'яті АЦП розміщуються на платі АЦП, яка об'єднується з вимірювальним блоком в складальну одиницю – сенсорний модуль. Решта елементів функціональної схеми розміщується в корпусі електронного перетворювача.

Плата АЦП приймає аналогові сигнали перетворювача тиску, пропорційні вхідній вимірюваній величині тиску і температурі, і перетворює їх в цифрові коди.

Незалежна пам'ять призначена для зберігання коефіцієнтів корекції характеристик сенсорного блоку і інших даних про сенсорний модуль.

Мікроконтролер, встановлений на мікропроцесорній платі, приймає цифрові сигнали з плати АЦП разом з коефіцієнтами корекції, здійснює корекцію і лінеаризацію характеристики сенсорного блоку, обчислює скоректоване значення вихідного сигналу датчика і передає його в цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП). Цифро-аналоговий перетворювач перетворює цифровий сигнал, що поступає з мікроконтролера, у вихідний аналоговий струмовий сигнал.

Блок регулювання і установки параметрів призначений для зміни параметрів датчика. Елементами налаштування є кнопкові перемикачі, розташовані під кришкою приладу.

За допомогою кнопкових перемикачів блоку управління і регулювання параметрів і цифрового індикатора можна працювати з датчиком в наступних режимах:

- 1) контроль вимірюваного тиску;
- 2) контроль і налаштування параметрів;
- 3) калібрування датчика.

Параметри і символи режимів налаштувань датчика відображаються на дисплеї індикатора.

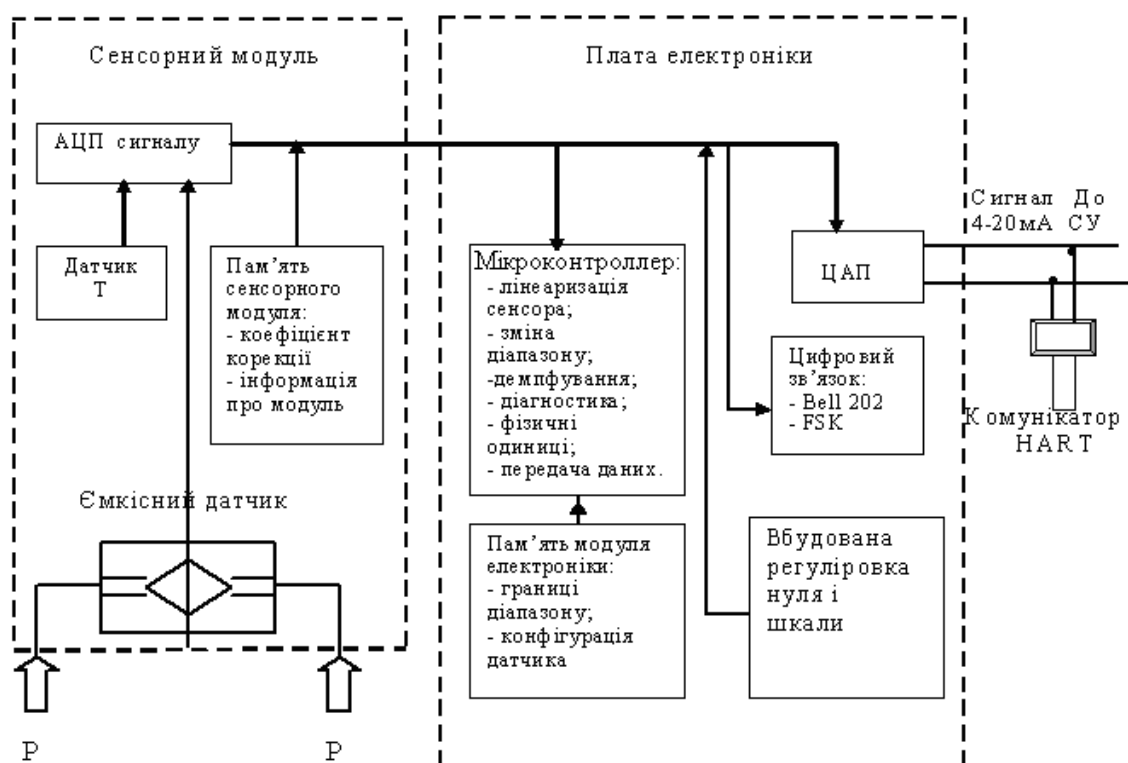


Рисунок 3.26 – Функціональна блок-схема типового датчика тиску

Параметри і символи режимів налаштувань датчика відображаються на дисплеї індикатора.

Датчик проводить безперервну самодіагностику. У разі виникнення несправності датчик формує попереджувальний аналоговий сигнал.

Для контролю, налаштування параметрів, вибору режимів роботи і калібрування датчиків використовується індикаторний пристрій. Індикаторний пристрій може бути встановлений в корпусі електронного перетворювача і підключений до плати мікропроцесорного електронного перетворювача (датчик з кодом МП1, МП3).

Індикаторний пристрій може бути виконаний у вигляді окремого пристрою – виносний індикатор (ВІ) і підключатися за допомогою роз'єму (для датчиків з мікропроцесорним електронним перетворювачем МП).

На дисплеї індикатора датчика з кодом МП1, МП3 або на дисплеї ВІ або HART-комунікатора в режимі вимірювання тиску відображається величина вимірюваного тиску в цифровому вигляді у встановлених при налаштуванні одиницях вимірювання або у відсотках від діапазону вимірювань, що калібрують.

Електрична схема електронного перетворювача МП, МП1, МП2, МП3 дозволяє здійснювати контроль вихідного сигналу без розриву сигнального ланцюга. Вимірювання проводиться вольтметром. Максимальному вихідному струму (20 мА або 5мА) відповідає напруга 200 мВ.

Погрішність контролю вихідного сигналу при контролі без розриву сигнального ланцюга – не більше 2%.

Електрична схема електронного перетворювача з кодом МП2, МП3 відрізняється від схеми МП, МП1 тільки наявністю HART-модему, призначеного для виділення HART сигналу із струмової петлі 4-20 мА і перетворення його в стандартний цифровий сигнал, а також – для здійснення зворотної операції – перетворення цифрового сигналу в HART сигнал і замішування його в струмову петлю.

Ручним комунікатором HART є портативний контролер, який здійснює обмін даними з будь-яким пристроєм, підтримуючим HART протокол, при під'єднуванні до будь-яких клем ланцюга 4-20 мА за умови, що опір навантаження між комунікатором і джерелом живлення складає не менше 250 Ом. Комунікатор використовує принцип частотної модуляції для передачі цифрового сигналу. Ця технологія полягає в накладенні високочастотного цифрового комунікаційного сигналу на стандартний струмовий сигнал датчика 4-20 мА.

Перетворювач тиску Метран - 100. Датчики тиску Метран-100 призначені для роботи в системах автоматичного контролю, регулювання і управління технологічними процесами і забезпечують безперервне перетворення вимірюваних величин – тиску надмірного, абсолютного, розрідження, тиску-розрідження, різниці тисків, гідростатичного тиску нейтральних і агресивних середовищ в уніфікований струмовий вихідний сигнал дистанційної передачі, цифровий сигнал на базі HART-протоколу, цифровий сигнал на базі інтерфейсу RS-485 з протоколами обміну ICP або Modbus.

Датчики Метран-100 призначені для перетворення тиску робочих середовищ: рідини, пари, газу (у тому числі газоподібного кисню і кисневмісних газових сумішей) в уніфікований струмовий вихідний сигнал, цифровий сигнал на базі HART-протоколу, цифровий сигнал на базі інтерфейсу RS-485.

Датчики моделей 1133, 1233, 1143, 1243, 1153, 1533, 1543 призначені для роботи в різних галузях промисловості, зокрема в харчовій при контакті з харчовими продуктами.

Датчики різниці тисків можуть використовуватися в пристроях, призначених для перетворення значення рівня рідини, витрати рідини, пари або газу в уніфікований струмовий вихідний сигнал, цифровий сигнал на базі HART-протоколу і цифровий сигнал на базі інтерфейсу RS-485.

Коди виконань датчика залежно від його електронного перетворювача приведені в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 - Коди виконань датчика Метран -100

Код	Характеристика електронного перетворювача
МП	Мікропроцесорний без індикаторного пристрою з вихідним аналоговим сигналом постійного струму 0-5 мА, 0-20 мА або 4-20 мА, для датчиків виконання Ex – тільки 4-20 мА
МП1	Мікропроцесорний з вбудованим індикаторним пристроєм з вихідним аналоговим сигналом постійного струму 0-5 мА, 0-20 мА або 4-20 мА, для датчиків виконання Ex – тільки 4-20 мА
МП2	Мікропроцесорний без індикаторного пристрою з вихідним аналоговим сигналом 4-20 мА і цифровим сигналом на базі протоколу HART
МП3	Мікропроцесорний з вбудованим індикаторним пристроєм з вихідним аналоговим сигналом 4-20 мА і цифровим сигналом на базі протоколу HART
МП4	Мікропроцесорний без індикаторного пристрою з вихідним цифровим сигналом на базі інтерфейсу RS-485 з протоколом обміну IOP або Modbus
МП5	Мікропроцесорний з вбудованим індикаторним пристроєм з вихідним цифровим сигналом на базі інтерфейсу RS-485 з протоколом обміну IOP або Modbus.

Датчики «Метран» призначені для роботи з вторинною реєструючою і показуючою апаратурою, регуляторами і іншими пристроями автоматики, машинами централізованого контролю і

системами управління, що сприймають стандартні сигнали постійного струму 0-5, 0-20 або 4-20 мА, цифрового сигналу на базі HART-протоколу і цифрового сигналу на базі інтерфейсу RS-485 з протоколами обміну ЮР або Modbus.

Датчики з HART-протоколом (код МП2, МП3) можуть передавати інформацію про вимірювану величину в цифровому вигляді по дводротовій лінії зв'язку разом з сигналом постійного струму 4-20 мА. Цей цифровий сигнал може прийматися і оброблятися будь-яким пристроєм, що підтримує протокол HART. Цифровий вихід використовується для зв'язку датчика з портативним ручним HART-комунікатором або з персональним комп'ютером через стандартний послідовний порт і додатковий HART-модем, при цьому може виконуватися налаштування датчика, вибір його основних параметрів, перебудова діапазонів вимірювань, коректування «нуля» і ряд інших операцій. HART-протокол допускає в системі наявність двох пристроїв, що управляють: системи управління і ручного комунікатора. Ці два управляючих пристрої мають різні адреси і Метран-100 (код МП2, МП3) може розпізнати і виконати команди кожного з них.

Таким чином, по дводротовому зв'язку передається два типи сигналів – аналоговий сигнал 4-20 мА і цифровий сигнал на базі протоколу HART, який накладається на аналоговий вихідний сигнал датчика, не роблячи на нього впливу.

Датчики Метран працюють в широкому діапазоні тисків – від 0,04 кПа до 100 МПа, з межею основної допустимої похибки $\pm 0,5\%$.

Перетворювач тиску Метран 55 призначені для роботи в різних галузях промисловості, системах автоматичного контролю, регулювання і управління технологічними процесами і забезпечують безперервне перетворення вимірюваних величин – тиску надмірного, абсолютного, розрідження, тиску-розрідження нейтральних і агресивних середовищ в уніфікований струмовий вихідний сигнал дистанційної передачі. Залежно від вимірюваного тиску датчики мають позначення, наведені в таблиці 3.5.

Датчики Метран-55 призначені для перетворення тиску робочих середовищ: рідини, пари, газу (в тому числі газоподібного кисню і кисневмісних газових сумішей при тиску не вище 16 МПа) в уніфікований струмовий вихідний сигнал.

Таблиця 1.4–Позначення датчиків Метран – 55

Вимірювана величина	Датчики загально-промислового виконання	Датчики вибухозахищеного виконання
Абсолютний тиск	Метран-55-ДА	Метран-55-Ех-ДА, Метран-55-Вн-ДА
Надмірний тиск	Метран-55-ДИ	Метран-55-Ех-ДИ, Метран-55-Вн-ДИ
Розрідження	Метран-55-ДВ	Метран-55-Ех-ДВ, Метран-55-Вн-ДВ
Тиск-розрідження	Метран-55-ДИВ	Метран-55-Ех-ДИВ, Метран-55-Вн-ДИВ

Датчики призначені для роботи у вибухобезпечних і вибухонебезпечних умовах. Вибухозахищені датчики з типом вибухозахисту «вибухонепроникна оболонка» мають позначення Метран-55-Вн, вибухозахищені – з типом вибухозахисту «іскробезпечний електричний ланцюг» рівня «іа», «ів» мають позначення Метран-55-Ех.

Датчики призначені для роботи з вторинною реєструючою і показуючою апаратурою, регуляторами і іншими пристроями автоматики, машинами централізованого контролю і системами управління, що сприймають стандартні сигнали постійного струму 0-5 або 4-20 мА.

Датчики мають вихідний аналоговий сигнал постійного струму 0-5 або 4-20 мА, для датчиків виконання Ех – тільки 4-20 мА.

Устрій і робота датчика Метран-55.

Схема датчика Метран-55 представлена на рис.3.27.

Датчик складається з корпусу 1, мембранного тензоперетворювача 2 і електронного перетворювача 3.

Вимірюваний тиск підводиться в робочу порожнину і діє безпосередньо на вимірювальну мембрану тензоперетворювача 2, викликаючи її прогин.

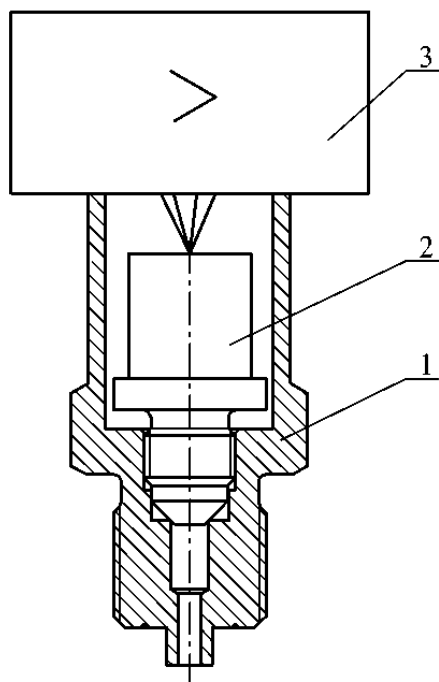


Рисунок 3.27 – Схема датчика Метран-55

Вимірювальна мембрана тензоперетворювача складається з металевої мембрани, на зовнішній поверхні якої жорстко закріплений чутливий елемент, що є монокристалічною сапфіровою пластиною з кремнієвими плівковими тензорезисторами.

Тензорезистори сполучені в мостову схему. Деформація вимірювальної мембрани викликає зміну опору тензорезистора і розбаланс мостової схеми. Електричний сигнал, що утворюється при розбалансі мостової схеми, подається в електронний перетворювач 3. Електронний перетворювач перетворює електричний сигнал від тензоперетворювача в стандартний струмовий вихідний сигнал.

Електронний перетворювач датчика складається з фільтру радіоперешкод і плати мікропроцесора, яка містить наступні функціональні вузли (рис 3.28):

- стабілізатор напруги (СН);
- джерело опорної напруги (ДОН);
- аналого-цифровий перетворювач (АЦП);
- мікропроцесор (МП);
- незалежний постійне запам'ятовуючий пристрій (НПЗУ);
- перетворювач напруги в струм (ПНС);
- кнопкові перемикачі (КП).

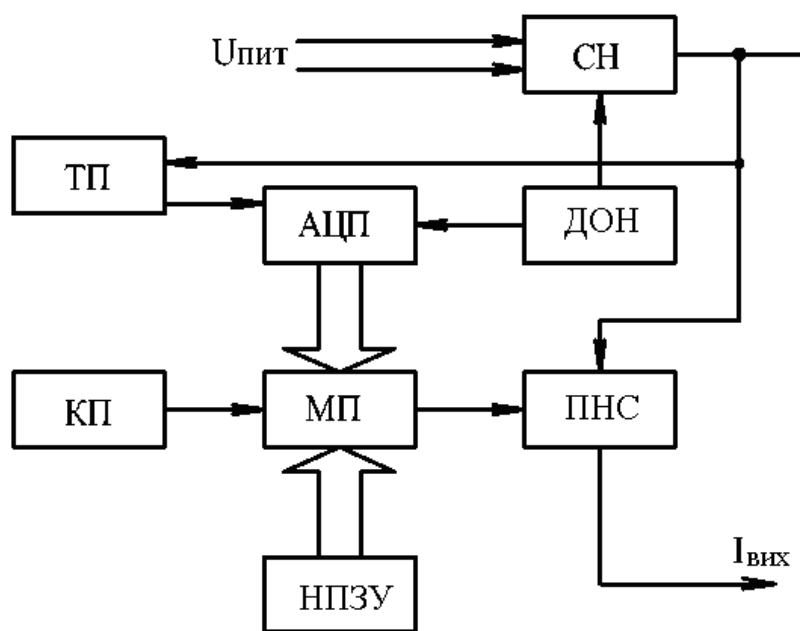


Рисунок 3.28 – Функціональна схема електронного перетворювача

Джерело опорної напруги формує напругу для аналого-цифрового перетворювача і стабілізатора напруги.

Стабілізатор напруги призначений для створення живлячої напруги для всіх вузлів схеми.

Інформація, отримана з АЦП, обробляється мікропроцесором, обчислюється дійсне значення тиску і перетворюється в напругу. При математичній обробці використовується калібрувальна інформація, що зберігається в НПЗУ.

Перетворювач напруги в струм формує вихідний уніфікований струмовий сигнал.

Кнопкові перемикачі призначені для плавного налаштування вихідного сигналу.

Прикладом розробки ХХІ століття є серія датчиків тиску Rosemount (20888, 1151, 3051, 3051S), які також пропонує промислова група Метран. Прилади розробки ПГ Технічний рівень датчиків Rosemount характеризується:

- високими параметрами основної погрішності,
- наявністю мікропроцесора всередині приладу,
- цифровим вихідним сигналом,
- широким динамічним діапазоном вимірювань,
- гарантованими значеннями стабільності вимірювань,

- малими температурними і від статичного тиску погрішностями,
- можливістю застосування у високоточних технологічних процесах і комерційному обліку дорогих продуктів,
- легкістю інтеграції в будь-яку сучасну систему управління.

Так датчики серії 3051 використовують для обміну даними і управління процесами популярніші на даний момент протоколи: HART, FOUNDATION Fieldbus, ProfibusPA, а також аналогові сигнали 4-20 мА.

Комунікаційний протокол HART широко відомий в світі, як промисловий стандарт для удосконалення струмової петлі 4-20 мА до лінії цифрової або інтелектуальної комунікації. HART-протокол здійснює двосторонній цифровий обмін між інтелектуальними приладами, не впливаючи на аналоговий сигнал 4-20 мА. В цифровому форматі HART одночасно передається по одній і тій же парі дротів:

- живлення,
- аналогова змінна,
- додаткова інформація про вимірювання параметрів процесу,
- конфігурація приладу,
- калібрування і діагностика.

HART сумісний з існуючими аналоговими приладами.

Комунікаційний протокол HART забезпечує:

- можливість застосування датчиків як в аналоговій, так і в цифровій системі, що підтримує HART-протокол (по одній парі дротів одночасно передається аналоговий сигнал 4-20 мА і цифровий сигнал на базі протоколу HART);
- двобічний обмін інформацією між датчиком і управляючим HART-пристроєм.

Застосування мікропроцесорної електроніки всередині датчика дозволяє;

- реалізувати широкий набір функцій настройки і калібрування датчика,
- підвищити точність настроювання,
- розширити діапазон можливих перенастроювань,
- забезпечити безперервну самодіагностику.

Серія датчиків тиску Rosemount використовує два види сенсорних модулів:

- ємкісна комірка (для датчиків ДД 3051 CD, ДИ 3051 CD, ДИ 3051 CG)

- п'єзорезисторний сенсор (для датчиків ДА 3051 СА, ДИ 3051 ТА, ДИ 3051 ТG)

Ємкісний сенсор має роздільні мембрани з боку високого і низького тиску. Роздільні мембрани передають робочий тиск процесу заповнюваній масляній рідині, яка передає тиск сенсорній мембрані в центрі комірки сенсора. Сенсорна мембрана діє як розтягнута пружина, відхиляючись відповідно перепаду тиску. В датчиках ДИ атмосферний тиск підводиться з боку низького тиску.

3.4.3. Методи і засоби вимірювання витрати і кількості речовини

Вимір витрати має велике значення для промисловості. Вимірювання витрати базується на фізичних властивостях рухомої рідини, пов'язаних або з масою, або з об'ємом. У разі однорідної рідини, що не стискається, ці два показники зв'язані через щільність рідини:

$$m = \rho \cdot V$$

де m – маса; ρ – щільність; V – об'єм.

Проте, багато рідин, застосованих в промисловості, не мають постійної щільності, або її важко визначити (сира нафта).

Більшість методів вимірювання витрати заснована на об'ємних показниках.

Слід зазначити, що не дивлячись на велику потребу в якісних датчиках витрати, точність цих пристроїв до цих пір залишає бажати кращого.

Кількість речовини виражається в одиницях об'єму або маси (тобто в m^3 або кілограмах). Кількість рідини з рівним ступенем точності може бути зміряне і об'ємним, і масовим методами, кількість газу – тільки об'ємним. Для твердих і сипких матеріалів використовується поняття насипної або об'ємної маси, яка залежить від гранулометричного складу сипкого матеріалу. Для точніших вимірювань кількість сипкого матеріалу визначається зважуванням.

Витратою речовини називається кількість речовини, що проходить через даний перетин трубопроводу в одиницю часу.

Розрізняють об'ємну і масову витрату речовини. Масова витрата вимірюється в $кг/с$, об'ємна – в $m^3/с$.

Прилади, що вимірюють витрату, називаються *витратомірами*. Ці прилади можуть бути забезпечені лічильниками (інтеграторами), тоді вони називаються витратомірами-лічильниками. Такі прилади дозволяють вимірювати витрату і кількість речовини.

Класифікація витратомірів.

Витратоміри поділяються на дві великі групи: механічні та електричні, які у свою чергу класифікуються за різними ознаками, що наведені нижче.

Механічні поділяються на об'ємні, швидкісні, електричні.

Об'ємні, у свою чергу, поділяються на:

- ковшові,
- барабанного типу,
- мірники.

Швидкісні витратоміри поділяються на витратоміри за методом змінного перепаду тиску та за методом постійного перепаду тиску, напірні трубки, ротаційні.

Найбільший інтерес представляють електричні витратоміри, які бувають електромагнітними, ультразвуковими, радіоактивними.

На практиці одержали найбільше поширення витратоміри таких груп: змінного перепаду тиску, обтікання, тахометричні, електромагнітні і ультразвукові.

Витратоміри змінного перепаду тиску мають широке застосування в промисловості, є найпоширенішими і вивченими методами вимірювання витрати рідини, пари і газу. Принцип їх дії заснований на вимірюванні перепаду тиску, що утворюється в результаті місцевої зміни швидкості потоку рідини, газу або пари. Витратомір складається з первинного перетворювача (звужуючого пристрою), диференціального манометра і сполучної (імпульсної) лінії. До складу витратоміра змінного перепаду може входити нормуючий перетворювач, що перетворює показання дифманометра в електричний або пневматичний сигнал і вторинний прилад для реєстрації цього сигналу.

Стандартні звужуючі пристрої поділяються на три типи: нормальна діафрагма, нормальне сопло і труба (сопло) Вентурі.

Датчики витрати, засновані на вимірювання різниці тиску, працюють у відповідність із законом Бернуллі. Рухома в трубопроводі рідина має постійну об'ємну витрату у всіх перетинах. Навіть якщо трубопровід має звуження, то масовий і

об'ємні витрати повинні залишатися однаковими. Щоб задовольнити закону збереження енергії і кількості руху, в місці звуження швидкість і статичний тиск рідини повинні відрізнятись від решти перетинів трубопроводу. У відповідності із законом Бернуллі в місці звуження швидкість руху рідини збільшується, а тиск падає. По величині перепаду тиску $\Delta P = P_1 - P_2$ можна розрахувати швидкість рідини. Витрата пропорційна $\sqrt{\Delta P}$; коефіцієнт пропорційності залежить від геометрії звуження.

Діафрагма – це тонкий диск, встановленим в трубопроводі так, щоб його отвір був концентричним внутрішньому контуру перетину трубопроводу (рис. 3.29).

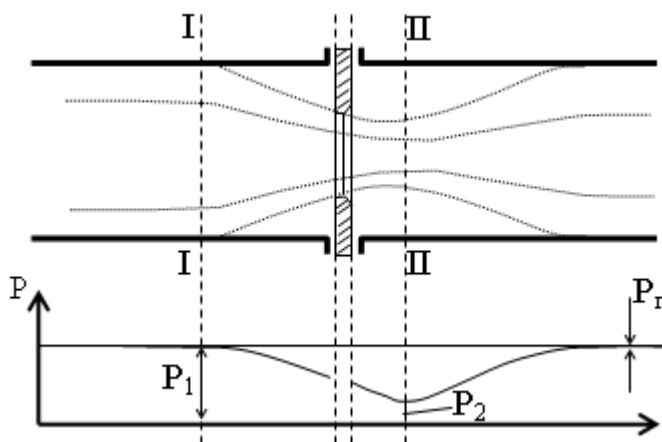


Рисунок 3.29 – Діафрагма

Звуження потоку починається до діафрагми. Потім на деякій відстані за нею завдяки дії сил інерції, потік звужується до мінімального значення, а далі поступово розширюється до повного перетину трубопроводу. Перед діафрагмою і за нею утворюються зони з вихровим рухом.

I - I - перетин потоку до спотворення форми.

II - II - перетин в місці максимального звуження.

$P_{\text{п}}$ - втрати тиску на тертя і завихрення.

Різниця тиску $P_1 - P_2$ залежить від витрати середовища, що протікає через трубопровід.

Втрати тиску на тертя можна зменшити за рахунок вибору гідродинамічно обтікаємої форми. У разі використання сопла струміння, що протікає через нього, не відривається від його профільованої частини і тому $P_{\text{п}}$ менше.

Ще менше втрати $P_{\text{п}}$ в *соплі Вентурі* (рис. 3.30). Трубка Вентурі складається з сопел, що звужується і розширюється.

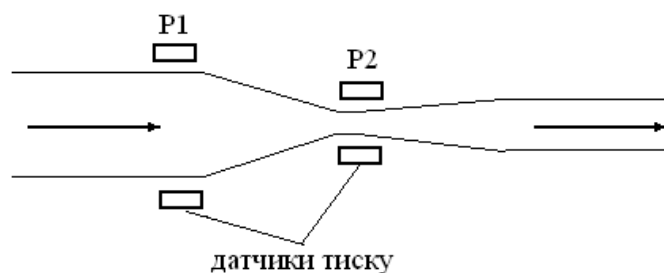


Рисунок 3.30 – Вимірювання витрати по різниці тиску (принцип трубки Вентурі)

Така конструкція приводить до зменшення вихроутворення при проходженні потоку через найменший перетин і дозволяє не зважати на втрати на тертя. Трубки Вентурі зазвичай використовуються для вимірювання великих витрат у відкритих каналах. Проте їх вартість вища, ніж вартість звичайних диференціальних витратомірів (рис.3.31).

Дифманометрами вимірюється перепад тиску. Комплект витратоміру складається з елементів:

- 1) звужуючий пристрій (Д);
- 2) імпульсні трубки (Т);
- 3) дифманометр (ДМ).

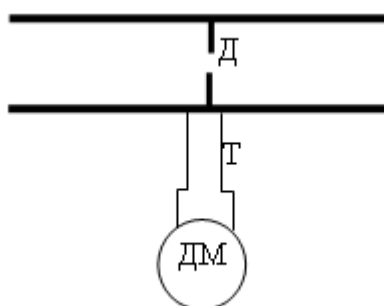


Рисунок 3.31 – Схема дифманометра

У якості дифманометрів зазвичай використовуються перетворювачі різниці тиску типу "Сапфір", відомості про які будуть наведені нижче.

Максимальна погрішність вимірювання витрати за допомогою витратомірів змінного перепаду тиску при нормальних умовах експлуатації становить від 1,0 до 6,0%.

Витратоміри обтікання експлуатуються у виробничих умовах для вимірювання витрат рідин від 0,0025 до 16 м³/год, а газів – від 0,06 до 40 м³/год. Принцип їх дії заснований на

зрівноважуванні обтічного тіла потоком вимірюваної речовини. Форма обтічного тіла може бути різною: поплавець, поршень, куля, диск, крило та інші. Вони використовуються для вимірювання малих витрат рідин і газів, включаючи агресивні, мають незначні втрати тиску і гарні динамічні характеристики, а також – сталість відносної погрішності. За конструкційними особливостями ці витратоміри підрозділяються на ротаметри, поршневі і поплавкові витратоміри. За принципом дії вони аналогічні.

Наведена погрішність становить витратомірів обтікання $0,5 \div 1,0\%$.

Тахометричні витратоміри (рис .3.32), що перетворюють швидкість потоку в кутову швидкість обертання обтічного елемента, підрозділяються на турбінні та кулькові. Ці витратоміри складаються з аксіальної або тангенціальної лопатевої турбінки, що опирається на кернові під'ятники або підшипники. В якості вторинного перетворювача, що вимірює швидкість обертання турбінки, часто використовують індукційний перетворювач. При обертанні турбінки в індукційній котушці наводяться імпульси електричної напруги, частота яких пропорційна кутовій швидкості обертання турбінки.



Рисунок 3.32 – Тахометри

Прилади прості за конструкцією, мають велику чутливість і великі межі вимірювання, як для малих – $5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{с}$, так і великих до $1 \text{ м}^3/\text{с}$ витрат рідин, малу інерційність. Приведена погрішність таких приладів становить $0,5 \div 1,0\%$.

Кулькові витратоміри застосовують, в основному, для вимірювання витрати агресивних середовищ і середовищ, що містять абразивні включення. Наприклад, витратоміри типів ШРТ,

«Сатурн», «Шторм» застосовують для вимірів витрати рідин ($0,025 \div 400$) м³/год, приведена погрішність становить $(0,5 \div 1,0)\%$.

Електромагнітні витратоміри перетворюють швидкість руху електропровідної рідини в магнітному полі в ЕРС, не маючи контакту з контрольованим середовищем. Ці витратоміри являють собою ділянку трубопроводу, виготовленого з немагнітного матеріалу, покритого зсередини електричною ізоляцією (гума, емаль, фторопласт) і розташованого між полюсами магніту, магнітна індукція якого спрямована перпендикулярно осі трубопроводу. При русі електропровідної рідини в магнітному полі утворюється ЕРС індукції, пропорційна швидкості руху рідини. Для знімання ЕРС через стінку труби вводяться електроди, сигнал з яких надходить на перетворювач і вторинний прилад.

Електромагнітні витратоміри використовують для вимірювання витрат рідин у діапазоні від 10^{-9} до 3 м³/с. Шкала приладу лінійна, погрішність виміру становить $1 \div 2\%$.

Ультразвукові витратоміри – це прилади, принцип дії яких заснований на збільшенні звукових коливань середовищем, що рухається. Вони перспективні для вимірів забруднених, швидкокристалізуємих і агресивних рідин і пульп. Основними елементами первинних перетворювачів цих витратомірів є п'єзоелементи, які виконують функції випромінювачів і приймачів ультразвукових коливань (рис. 3.33).

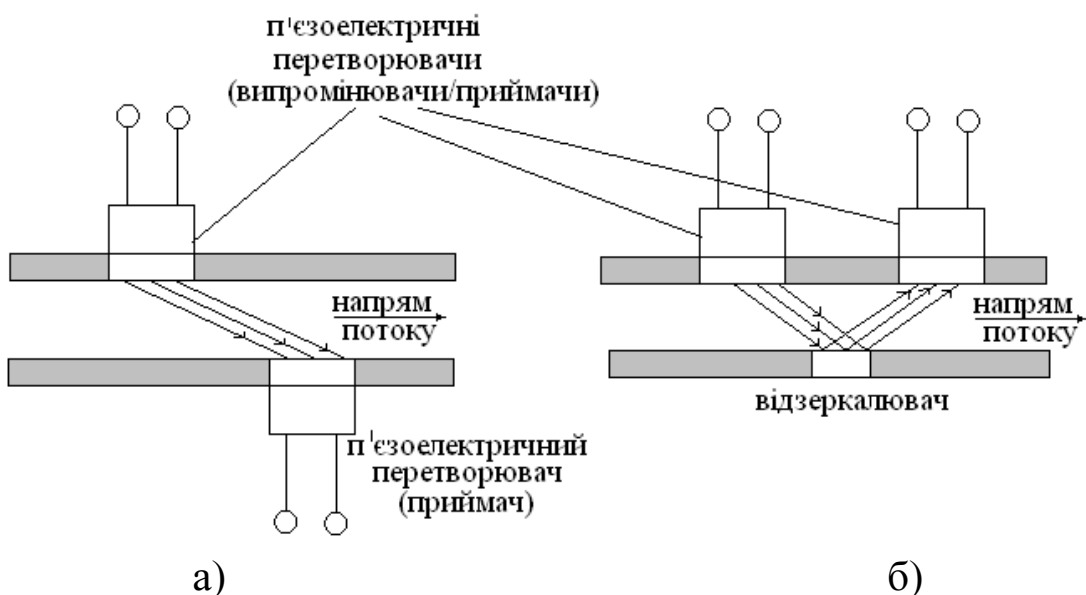


Рисунок 3.33 – Принцип ультразвукового вимірювання витрати: а) – прямий метод; б) – метод віддзеркалення

Ультразвуковий метод вимірювання витрати заснований на властивостях розповсюдження ультразвуку в рідині.

У результаті ультразвукового вимірювання можна отримати середню швидкість рідини, яка визначається по різниці розповсюдження ультразвукових хвиль. Якщо припустити, що ця швидкість дорівнює середній швидкості руху рідини, об'ємна витрата виходить простим множенням отриманої швидкості на площу перетину трубопроводу.

Ультразвукове вимірювання виконується за допомогою двох п'єзоелектричних перетворювачів, поміщених по різні сторони труби на відстані не менше 100 мм один від одного. Вони можуть працювати як в режимі випромінювання, так і в режимі віддзеркалення.

Існують два основні способи ультразвукових вимірювань: один заснований на визначенні часу проходження хвилі через рідину, інший – на вимірюванні частоти.

Перший спосіб пов'язаний з вимірюванням різниці в часі розповсюдження послідовності імпульсів в рідині (швидкість звуку залежить від виду рідини). Наприклад, вона складає 344 м/с в повітрі (при кімнатній температурі) і 1383 м/с у воді. Спочатку перший п'єзоперетворювач генерує групу імпульсів, а другий приймає їх. Потім вони міняються ролями: другий перетворювач стає випромінювачем, а перший – приймачем. У одному випадку складова швидкості рідини збільшує швидкість пробігу хвилі, в іншому – зменшує. Виходячи з двох вимірювань можна визначити середню швидкість рідини.

Другий спосіб заснований на різниці частот імпульсів, що випромінюються, і прийнятих. Складова швидкості рідини впливає на довжину хвилі ультразвукових імпульсів (ефект Допплера), що означає, що їх частота збільшується в одному напрямі і зменшується в іншому. З різниці частот можна знайти середню швидкість рідини.

Перевагою ультразвукового методу є те, що результат не залежить від швидкості розповсюдження звуку в конкретній рідині, і тому не потрібно спеціального градування пристрою, оскільки вимірювання у різних напрямках компенсують один одного. У обох випадках, проте, на результат вимірювання впливають неоднорідність рідини, бульбашки, тверді частинки.

Точність ультразвукового вимірювання – в межах 0,5 – 1% від вимірюваної величини.

Лічильники кількості рідин. У виробничих умовах застосовуються, в основному, об'ємні та швидкісні лічильники.

Швидкісні лічильники мають первинний перетворювач у вигляді аксіальної або тангенціальної турбіни. Вони використовуються для виміру кількості води та інших рідин. Залежно від розташування лічильного механізму в лічильниках і контакту його з вимірюваним середовищем вони підрозділяються відповідно на «сухоходи» і «вологоходи». Лічильники «вологоходи» прості за конструкцією, мають велику чутливість і точність, зручні в експлуатації.

Лічильники з аксіальною турбінкою типу ВВ виготовляють калібрами (діаметр умовного проходу) 50 ÷ 300 мм і застосовують для вимірів витрати від 3 до 1300 м³/год. Тангенціальні лічильники СВК (одноструменеві) або СВМ (багатоструменеві) виготовляють калібрами 15 ÷ 150 мм на витрати від 3 до 20 м³/год. Відносна погрішність виміру становить 0,5%.

Об'ємні лічильники дозволяють вимірювати кількість чистих промислових рідин, включаючи рідини із змінною в'язкістю з відносною погрішністю не більше 0,5% і достатнім діапазоном вимірювань. Принцип їх дії заснований на підсумовуванні об'ємів рідини, витиснутих з вимірювальної камери лічильника за будь-який відліковий проміжок часу.

Основними елементами об'ємних лічильників рідин є вимірювальна камера певного об'єму і конфігурації з робочим органом, що переміщається в ній (поршень, диск, шестірні). Робочий орган лічильника переміщається під дією різниці тисків на вході і виході вимірювальної камери при протіканні через неї контрольованого середовища. За кожний цикл свого переміщення робочий орган витісняє певний об'єм рідини. Сумарне число переміщень робочого органа фіксується лічильним механізмом.

Найбільше застосування мають лічильники з овальними шестірнями і лопатеві лічильники.

Лічильники з овальними шестірнями випускають двох модифікацій: СВШ – без обігріву на калібри 12 ÷ 250 мм і СВШ – з паровою обігрівальною оболонкою (для дуже в'язких рідин) на калібри 12 ÷ 40 мм, клас точності 0,25 і 0,5.

Лопатеві лічильники використовуються для вимірювання об'ємів масел і гліцерину, а також агресивних рідин з об'ємом умовного проходу $100 \div 300 \text{ м}^3/\text{год}$. і класом точності 0,25 і 0,5.

Для вимірювання маси речовини застосовують ваги, які за принципом дії поділяються на важільні, пружинні, гідравлічні і електромагнітні..

Ваги – це устрій для визначення мас тіл за діючою на них силою ваги.

У **важільних терезах** маса речовини визначається шляхом зрівноважування моментів, що розвиваються силами ваги вимірюваного вантажу і відомої маси, прикладених до відповідних кінців важеля. Показчик цих ваг дозволяє вбудовувати різні вимірювальні елементи, що перетворюють кут повороту осі показчика в електричний сигнал. Ці ваговимірювальні агрегати здійснюють автоматичне зважування вантажів, реєструють і етикетують зважену продукцію із вказівкою маси та номера партії.

У **пружинних вагах** невідома маса вантажу, що зважується, визначається за деформацією пружного елемента. Для вимірювання деформації в сучасних вагах використовують, головним чином, тензорезисторні і вібраційно-частотні перетворювачі.

Ваги з тензорезисторними перетворювачами мають високу точність, стабільність, надійність, малу інерційність і застосовуються, в основному, при великих межах вимірювання.

Вібраційно-частотні перетворювачі мають високу стабільність і клас точності до 0,5. На їхній основі серійно випускаються датчики типу ВКВ із верхніми межами вимірювання сил стиснення $200\text{Н} \div 200\text{кН}$ і датчики типу СВР із верхніми межами сил розтягування $2 \div 10 \text{ кН}$.

У **гідравлічних вагах** зусилля, що розвивається вантажем, визначається шляхом виміру тиску, створюваного цим вантажем у рідині.

В **електромагнітних вагах** вантаж урівноважується силою Ампера.

За призначенням ваги підрозділяються на періодичні і безперервні.

Ваги періодичного зважування застосовують для сумарного обліку виробів у потоці і дозування різних сипких і твердих продуктів.

Ваги безперервного зважування мають велику продуктивність, але малу точність. Дія вагів безперервного зважування (конвеєрних) заснована на вимірюванні маси певної ділянки стрічки транспортера, швидкості її руху і обчисленні їхнього добутку, що являє собою миттєву продуктивність транспортера. *Автоматичні конвеєрні ваги* призначені для зважування в русі піддона з вантажем і забезпечують передачу даних у систему керування, а також реєстрацію результату. Відносна погрішність зважування 0,5%, швидкість руху конвеєра 0,2 м/с.

У системах керування *дозатори* виконують функції вимірювального або виконавчого пристрою. У першому варіанті доза матеріалу видається як готова продукція, у другому – відмірена порція надходить в об'єкт керування (машину, апарат).

Дозатор – це пристрій, призначений для автоматичного відмірювання і видачі заданої кількості речовини у вигляді порцій або постійної витрати.

За принципом дії дозатори поділяються на *об'ємні і вагові*. За дозованою речовиною розрізняють дозатори газів, рідин і сипких середовищ.

Вагові дозатори складні за конструкцією, точні, але не мають достатньої швидкодії. Об'ємні – прості за конструкційним виконанням, мають достатню швидкодію, але меншу точність.

За призначенням дозатори поділяються на *порціонні дозатори і дозувальні живильники*. Перші призначені для відмірювання одиничних порцій речовини, другі – для підтримки витрати речовини на заданому рівні.

Для дозування рідин можна використовувати *дозатори витікання та насоси-дозатори*.

Найпростіший дозатор витікання безперервної дії являє собою ємність із постійним рівнем рідини. Злив рідини із цієї ємності відбувається через певний гідравлічний опір, створюваний дросельним робочим органом (РО). Погрішність дозування такими дозаторами становить не більше 1%.

Автоматичні порціонні дозатори сипких матеріалів мають широке застосування, особливо – стрічкові вагові дозатори, у яких за результатами зважування на конвеєрних вагах переміщеного матеріалу автоматично регулюється інтенсивність його подачі. Дозатори оснащені живильниками, що дозволяють у широких

межах вимірювати потік матеріалу, що транспортується. Погрішність цих дозаторів становить 0,5%.

Лічильники штучних виробів. Для лічби штучної продукції на конвеєрі застосовують лічильні пристрої (лічильники), які залежно від виду енергії, що використовується для приведення їх у дію, підрозділяються на механічні, електромеханічні, електронні і пневматичні.

Механічні лічильники складаються з лічильного механізму і приводного пристрою (заслінки, зірочки, турнікети) і працюють за рахунок енергії виробу, що рухається.

Електромеханічні лічильники приводяться в дію електромагнітом. Виріб, що переміщується, короткочасно замикає кнопковий вимикач кола керування електромеханічного лічильника. Під дією імпульсу струму якір електромагніту повертає за допомогою храпового механізму вісь лічильника імпульсів.

У **пневматичних лічильниках** зчитувальні вироби переривають повітряне середовище, що і формує керуючий сигнал. Вони знаходять застосування у вибухонебезпечному середовищі, при підвищеній температурі і так далі.

В **електронних лічильниках** імпульсний сигнал формується індуктивним, фотоелектричним, радіохвильовим (СВЧ) або радіоізотопним перетворювачами. Їхня дія заснована на зміні виробом, що рухається, відповідно індуктивності котушки з електромагнітним сердечником, потоку електромагнітного або радіоактивного випромінювання. Ці датчики дозволяють вести лічбу штучної продукції без безпосереднього контакту із виробами, що лічаються, і мають тривалий строк служби і високу надійність.

Перетворювачі перепаду тиску, рівня й витрати VEGADIF (рис. 3.34) призначені для виміру перепаду тиску, рівня і витрати газів, пари і рідин. Дані перетворювачі вимірюють різницю тисків на стандартній вимірювальній діафрагмі, на вході і виході фільтру або на стороні всмоктування та нагнітання насосу.

Комплект перетворювача складається з ємнісного чутливого елемента з керамічною мембраною або кремнієвого пьезорезисторного чутливого елемента з металевою ізолюючою мембраною і електронного блоку перетворення.



Рисунок 3.34 – Перетворювач перепаду тиску, рівня і витрати VEGADIF

Технічні характеристики перетворювача:

Діапазон вимірювань (статичний тиск), мбар: 10... 1000
 Похибка вимірювання: 0,1%
 Вихідний сигнал: 0...5 мА; 4...20 мА
 Виготовлювач: УЕОА (Германія)

Вихровий витратомір VORFLO VOR 1100/2000 призначений для виміру потоку енергії (МДж/г); масової витрати (кг/г), потоку нормального об'єму (Нм³/г) парових, газових або легко летючих рідинних середовищ на підприємствах харчової і хімічної промисловості. Принцип дії витратоміру заснований на вимірі частоти коливання крила датчика, пропорційної швидкості потоку. Складається зі спеціального елемента – крила, встановленого в трубопроводі, і перетворювача сигналів у захищеному корпусі.

Технічні характеристики:

Діапазон вимірювань, не обмежений.
 Температура вимірюваного середовища: мінус 40...205⁰С;
 +65...400⁰С.

Вихідний сигнал 4...20 мА; частотний; імпульсний.

Протокол HART для портативної ЕОМ.

Виготовлювач: Danfoss (Данія).

Електромагнітний витратомір Promag (рис. 3.35) призначений для вимірювання об'ємної витрати і об'єму електропровідних рідин з питомою електропровідністю від 1 до 5 мСм/см (харчової води, водяних розчинів, стічних вод, осаду, лугів, кислот, пульпи, патоки, сусла, пива). Витратомір складається з

первинного електромагнітного перетворювача витрати, змонтованого в трубопроводі, і електронного блоку в герметичному корпусі.



Рисунок 3.35 – Електромагнітний витратомір Promag

Технічні характеристики

Діапазон вимірювання: 0,005 ÷ 11200м³/год.

Вихідний сигнал: електричний уніфікований аналоговий або цифровий.

Відображення інформації можливе на 11-розрядному цифровому РК-дисплеї, на моніторі комп'ютера або контролера.

Виготовлювач: Endress+Hauser (Німеччина).

Інтелектуальний електромагнітний витратомір німецької фірми KROHNE IFM 4042 K (рисунок 3.24).

Перший і єдиний в світі електромагнітний витратомір з гібридною технологією підключення.



Рисунок 3.36 – Інтелектуальний електромагнітний витратомір німецької фірми KROHNE IFM 4042 K

Переваги:

- 2-х дротяне підключення без додаткового кабелю;
- прекрасна альтернатива діафрагмам і турбінам;
- іскробезпечне з'єднання як 2 так і 2 x 2 дротяне;
- внутрішнє покриття з Teflon®-PFA, армоване неіржавіючою сталлю;
- надійність завдяки fieldbus-з'єднанню;
- категорія захисту IP 67.

Параметри:

- приєднання до процесора: фланець DIN2501;
- матеріал покриття: Teflon PFA;
- матеріал електродів: платина;
- температура вимірюваного середовища: мінус 25 - плюс 140°C;
- температура навколишнього середовища: мінус 25 –плюс 60°C;
- виконання: компактне з РК-індікатором;
- діапазон вимірювання - 0-100 м³/год.;
- вихід: 4-20 mA/HART;
- напруга живлення: 230..240В; 48..63 Гц;
- клас точності 0,5%.

У багатьох випадках необхідно знати масову витрату. Якщо відома щільність нестискуваної рідини, то масова витрата розраховується з об'ємній, з урахуванням температури, тиску і в'язкості. На практиці щільність часто не відома. Для вимірювання масової витрати в промисловості використовується принцип Каріоліса.

У системі, що обертається, на масу, рухому уздовж радіусу, діє сила, звана силою Каріоліса. Напрямок цієї сили перпендикулярний осі обертання, а її величина пропорційна швидкості обертання і радіальній швидкості маси. Масові витратоміри дають добрі результати, не вимагаючи компенсації тиску і температури.

Витратомір Каріоліса можна використовувати для вимірювання щільності рідини. Для цього визначається власна частота коливань заповненої ділянки трубопроводу, яка зворотно пропорційна щільності рідини.

Витратоміри Каріоліса – складні пристрої і вимагають складних погоджувальних та оброблювальних схем. Однак,

витратоміри Каріоліса не вимагають загладжуваних ділянок труби і досить точні – 0,5% від вимірюваної величини. Хоча вони чутливі до вібрацій і мають обмеження за способами установки.

Масовий (коріолісовий) витратомір TRIO-MASS (рис. 3.37) призначений для вимірювання масової та об'ємної витрати електропровідних і непровідних рідин і газів, а також їхньої густини і температури за принципом вимірювання сил Коріоліса. Складається з первинного перетворювача (видаткова труба, змонтована в трубопроводі) і цифрового дисплея з 2 рядками з 16 символами у кожному рядку.



Рисунок 3.37 – Масовий (коріолісовий) витратомір

Технічні характеристики:

Діапазон вимірювання витрати, м³/год.: 36...1080 (min);
16 800...510 000 (max).

Температура вимірюваного середовища: 50...+ 150°C.

Точність вимірювання витрати: +0,15%.

Точність вимірювання густини: ±0,005 кг/л.

Діапазон вимірювання густини: 0,5...3,5 кг/л.

Максимальна довжина кабелю: 300 м.

Виготовлювач: АВВА (Німеччина).

Витратомір для виміру масової витрати, маси і густини Promass призначений для виміру масової витрати і маси (кількості), густини (концентрації) і температури рідини (кислот, лугів, оцту, суспензій, патоки, суслу, продуктів ферментації, алкогольних продуктів, різних газів і їхніх сумішей). Принцип дії заснований на вимірі коріолісових сил у трубах первинного перетворювача при протіканні через них потоку середовища. Вимір густини заснований на вимірі резонансної частоти коливань трубок первинного перетворювача витрати. Витратомір – це програмний

засіб вимірювання, що складається з первинного перетворювача витрати і електронного блоку в герметичному корпусі.

Технічні характеристики:

Діапазон вимірювання: не обмежений.

Вихідний сигнал: цифровий для відображення на РК-дисплеї або моніторі комп'ютера.

Виготовлювач: Endress + Hauser (Німеччина).

Витратомір – лічильник рідини індукційний СЖИ-М (рис. 3.38) призначений для вимірювання об'єму, маси, витрати і дозування рідких середовищ (вода, пиво та інші) з питомою провідністю від 10^{-3} до 10 См/см і видачі сигналу на виконавчий пристрій при досягненні заданого параметра в автономному режимі та у складі АСУ ТП. Комплект складається з датчика індукційного типу КРЖИ, змонтованого на трубопроводі, який перетворює витрату рідини в послідовність електричних імпульсів, що надходять на вхід мікропроцесорного перетворювача постійного сигналу типу ПЧС1, що забезпечує обчислення і відображення на дисплеї: разового об'єму; сумарного об'єму; витрати рідини; маси продукту, яка відповідає разовому об'єму; а також формує сигнал керування, відповідно до заданого об'єму рідини.



Рисунок 3.38 – Витратомір-лічильник рідини індукційний СЖИ-М

Технічні характеристики

Температура вимірюваного середовища	+4...+ 150°С.
Граничний тиск	1,6 МПа.
Діапазон витрати	
для ДРЖИ-25-80	0,2...8 м ³ /год.;
для ДРЖИ 50-30	8...30 м ³ /год.;
для ДРЖИ-50-50	1,25..50 м ³ /год.
Напруга живлення	220 В, 50 Гц.
Похибка вимірювання	0,5%.
Дистанційність передачі	100 м.

Вихідний сигнал за стандартом ИРПС 20 мА;
релейний постійного струму 24 В, 7 А.
Габарити ПЧС1 220x148 мм.
Виготовлювач: ООО „Контакт”, м. Рязань.

Лічильник-витратомір вихровий акустичний СВА
призначений для технологічного і комерційного обліку витрати води та водяних розчинів.

У комплект входять: первинний вимірювальний перетворювач (датчик СВА-ПГ) і електронний перетворювач обчислювача (СВА-ЕГ), з'єднані кабелями. Електронний перетворювач виконаний для щитового монтажу. На передній панелі розташований шості розрядний електромеханічний декадний лічильник витрати і цифровий рідкокристалічний дисплей миттєвої витрати.

Технічні характеристики:

Діапазон витрат: 1...1,5 м³/год.; 2,5...60 м³/год.;
5...100 м³/год.; 10...200 м³/год.

Температура вимірюваного середовища: 1...150 °С.

Тиск вимірюваного середовища: до 1,6 МПа.

Напруга живлення: 220 В, 50 Гц.

Похибка вимірювання 1,5%.

Вихідний сигнал 0...5 мА; 4...20мА; 0...1кГц; імпульс прямокутної форми.

Габарити СВА-ЭП: 120x160x500 мм.

Виготовлювач: ОАО «Теплоприбор», м. Челябинськ

Лічильник рідини багатоканальний дозуючий СЖМД
призначений для контактного обліку, контролю і дозування рідких продуктів і електропровідних рідин у діапазоні від 0,8 до 50 м³/год.. Максимальне число каналів 10.

Лічильник містить індукційний датчики витрати рідини, ПЕОМ, пристрій зв'язку з об'єктом (УЗО), прикладне програмне забезпечення, розроблене за допомогою інструментального програмного пакету «TRACE MODE». Обчислювальний комплекс забезпечує виконання таких функцій: підрахунок разової і сумарної витрати рідини; обчислення маси, пропорційної разовому об'єму; відмірювання заданого об'єму продукту (дозування з формуванням сигналів управління виконавчими механізмами в режимі реального часу); відображення вимірюваних і обчислених значень на моніторі

ПЕОМ у вигляді таблиць, гістограм; архівування результатів і складання звітної документації.

3.4.4. Методи і прилади для вимірювання рівню

У загальному обсязі вимірювальних операцій в нафтопереробці, нафтохімії і газовій промисловості вимірювання рівню складає 18 – 20 %.

Під вимірюванням рівня розуміється індикація положення розділу двох середовищ різної щільності щодо якої-небудь горизонтальної поверхні, що вважається початком відліку. Прилади, що виконують це завдання, називаються *рівнемірами*

За принципом дії первинного перетворювача рівнеміри поділяються на механічні, електричні, акустичні, теплові та спеціальні.

Методи вимірювання рівня поділяються на:

- 1) поплавковий,
- 2) буйковий,
- 3) гідростатичний,
- 4) електричні і інші.

Поплавковий метод вимірювання рівня.

Поплавковий рівнемір побудований за принципом використання виштовхувальної сили рідини. Чутливим елементом є тіло довільної форми (поплавець), плаваючий на поверхні рідини і такий, що має постійне осідання. Поплавець переміщується вертикально разом з рівнем рідини і поточне значення рівня визначається фіксацією положення поплавця.

Поплавкові датчики. Поплавкові датчики являють собою економічний засіб безперервного вимірювання рівня в невеликих діапазонах. Поплавкові датчики виміряють рівень за пропорційною зміною положення поплавця. Вимірювання рівня рідини, рівня границі розділу двох середовищ, густини приводить до спливання поплавця в результаті дії на нього сили виштовхування, що дорівнює вазі витиснутої їм рідини. Потім вертикальне переміщення перетворюється в пропорційний йому електронний сигнал. Поплавкові датчики добре працюють у чистих рідинах, не чутливі до перемішування або турбулентності і можуть працювати в широкому діапазоні температур і тисків.

Буйкові рівнеміри. Дія буйкового рівнеміра (рис.3.39) заснована на законі Архімеда. Чутливий елемент буйкового рівнеміра – буй – масивне тіло, підвішене вертикально усередині судини, рівень рідини в якому контролюється.

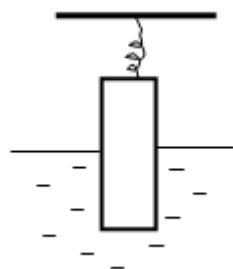


Рисунок 3.39 – Буйковий рівнемір

У міру зміни рівня рідини змінюється занурення буя внаслідок компенсації виштовхувальної сили рідини зміною зусилля в підвісці.

Таким чином, по величині занурення буя судять про рівень рідини в судині. Характеристика буйкового рівнеміра лінійна, а чутливість тим більше, чим більша площа поперечного перетину.

Гідростатичні рівнеміри. У цих приладах вимірювання рівня рідини постійної щільності зводиться до вимірювання тиску, створеного стовпом рідини $P = \rho_{\text{ж}} g h$.

Розрізняють п'єзометричні рівнеміри і рівнеміри з безпосереднім вимірюванням стовпа рідини.

П'єзометричні рівнеміри (рис. 3.40) застосовуються для вимірювання рівня найрізноманітніших, зокрема, в'язких і агресивних рідин.

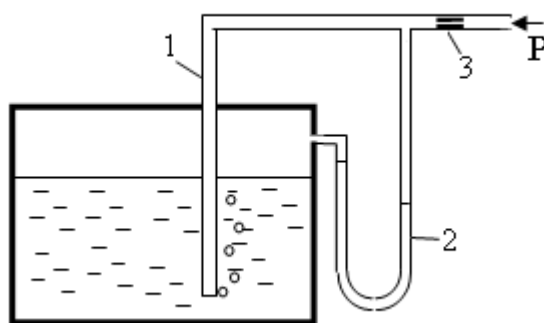


Рисунок 3.40 – П'єзометричний рівнемір

Повітря з п'єзометричної трубки 1 барботує через шар рідини. Кількість повітря, що подається під тиском P , обмежується

дроселем 3 так, щоб швидкість руху його в трубопроводі була мінімально можливою. Рівень рідини визначається по різниці тиску в дифманометрі 2.

Акустичні рівнеміри. Принцип дії акустичних рівнемірів заснований на фізичних явищах, пов'язаних з поширенням звуку в рідкій або газовій фазі (рис. 3.41).

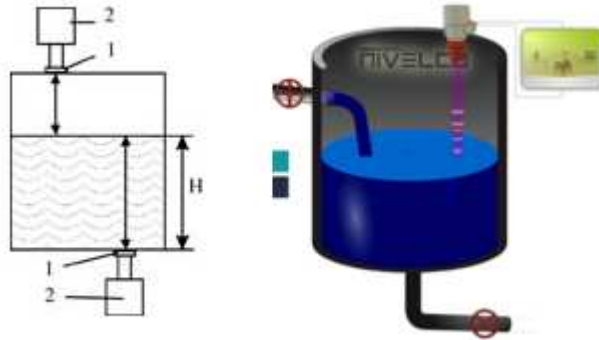


Рисунок 3.41 – Схема акустичного рівнеміра

Принцип дії рівнемірів цього типу базується на вимірі часу проходження імпульсу ультразвуку від випромінювача до поверхні рідини та назад. При прийомі відбитого імпульсу випромінювач стає датчиком. Якщо випромінювач 1 (рис. 3.41) розташований над рідиною, рівнемір називається акустичним; якщо усередині рідини – ультразвуковим. У першому випадку час, який вимірюється, буде тим більше, чим нижче рівень рідини H , у другому – навпаки.

Електронний блок 2 призначений для формування ультразвукових імпульсів, посилення відбитих імпульсів, вимірювання часу проходження імпульсом подвійного шляху (у повітрі або рідині) і перетворення цього часу в уніфікований електричний сигнал. Акустичний рівнемір ЭХО-1, наприклад, використовується для виміру рівня неоднорідних рідин (із перемінною за висотою щільністю), які кристалізуються і випадають в осад у баках висотою до 3 м. Рівнемір має вихідний сигнал у виді постійного струму.

До переваг використання акустичних показників рівня рідини відносяться: безконтактна можливість використання в забрудненому середовищі та різного виду рідинах, відсутність високих вимог до зносостійкості і міцності обладнання, незалежність від щільності рідини. Недоліками є: велика розбіжність конуса випромінювання, можливість виникнення помилок вимірювання при відбитті від нестационарних перешкод

(наприклад, мішалок), може використовуватися тільки в резервуарах з нормальним атмосферним тиском.

Акустичні рівнеміри поділяються на локаційні, поглинення і резонансні. За принципом *локації* вимірювання рівня здійснюють за часом проходження звуку відстані від випромінювача до границі розділу середовищ і назад. Первинним перетворювачем у них служить п'єзоелемент, що виконує одночасно функції джерела і приймача ультразвукових коливань. Вони можуть бути одноточковими і багатоточковими. Мінімальний діапазон вимірювання акустичних рівнемірів становить $0,4 \div 2,5$ м, максимальний $0 \div 30$ м. Клас точності 1,0 і 1,5.

Електричні рівнеміри. Для вимірювання рівня рідини може бути використане відмінність електричних властивостей рідини і паро-газової суміші під нею. Під електричними властивостями розуміються діелектрична проникність і електропровідність речовин.

Електричні рівнеміри поділяються на кондуктометричні, ємнісні і індуктивні.

Кондуктометричний метод вимірювання рівня заснований на вимірюванні електричної провідності первинного перетворювача, залежної від значення рівня. Ці рівнеміри знаходять застосування, в основному, як сигналізатори рівня електропровідних рідин.

Ємнісний метод вимірювання заснований на зміні ємності первинного перетворювача залежно від положення рівня вимірюваного середовища. Зазвичай первинний перетворювач виконується у вигляді коаксіальних циліндрових обкладань, занурених у вимірювану рідину. Із зміною рівня рідину заповнює простір між обкладаннями і тим самим змінює їх електричну ємність. Залежність між рівнем рідини і ємністю є пропорційною.

Конструкції ємнісних перетворювачів залежать від призначення приладу (вимірник або сигналізатор) і електропровідності середовища. У вимірниках рівня, в основному, застосовують вертикально розташовані циліндричні електроди. У сигналізаторах рівня електроди розташовані горизонтально, що приводить до різкої зміни ємності перетворювача при заповненні апарата до заданого рівня. Для не електропровідних рідин застосовують неізолювані електроди, а для електропровідних – один з електродів покривають ізоляційним шаром.

Простота конструкції, надійність, висока точність (погрішність не перевищує 0,5%) забезпечили ємнісним рівнемірам широке застосування в промисловості для вимірювання рівня сипких матеріалів і рідин. Наприклад, ємнісні рівнеміри типу РУС мають різні діапазони вимірювання від 0 до 20 м. Клас точності 0,5; 1,0; 1,5.

Ємнісний сигналізатор рівня призначений для контролю і сигналізації граничних рівнів, наявності сипких продуктів в бункерах. Складається сигналізатор з корпусу, електронного блоку і чутливого елемента у вигляді пластини. Напруга живлення – 24 В. Вихідний сигнал – дискретний логічний. Габарити 120x120x60 мм. Виготовлювач: м. Краснодар, Кубанська філія ВНИИЗ.

Ємнісний датчик рівня призначений для безперервного контролю рівня заповнення в бункерах. Складається із пластинчастого, трубчастого або тросового чутливого елемента і первинного перетворювача. Діапазон виміру – 0...10 м. Вихідний сигнал – 0...5 мА. Напруга живлення 220 В, 50 Гц. Габарити: діаметр 120 мм. Виготовлювач: м. Краснодар, Кубанська філія ВНИИЗ.

Індуктивні рівнеміри. Дія індуктивних рівнемірів заснована на залежності індуктивності котушки від ступеня її занурення у вимірюване електропровідне середовище. Основна погрішність звичайно не перевищує 0,5%.

Високочастотні резонансні рівнеміри призначені для роботи з будь-якими рідинами, а також сипкими гранульованими матеріалами. Вимірювальні перетворювачі цих рівнемірів являють собою відрізок електричної лінії, власна частота електромагнітних коливань якого залежить від ступеня занурення його у вимірюване середовище. Вони мають різні діапазони вимірів з верхньою границею до 40 м. Погрішність – 1,0; 1,5%.

Оптичні рівнеміри можна поділити на візуальні і фотометричні.

Візуальні рівнеміри являють собою прозорі вставки в стінках ємностей або сполучені з ними мірні трубки з нанесеною на них шкалою.

У **фотометричних рівнемірах** використовується світловий промінь, що падає під гострим кутом на поверхню рідини. Відбитий від поверхні рідини промінь через оптично прозору стінку попадає на протяжний приймач випромінювання.

Координата приймача, у якій фіксується максимальна освітленість, характеризує поточне значення рівня.

Теплові рівнеміри. Принцип дії теплових рівнемірів заснований на залежності подовження або зміни електричного опору стрижня, що підігрівається (трубки, дроту), від ступеня занурення його в рідину.

Сигналізатор рівню СУ 100 призначений для контролю рівня сипких і рідких електропровідних і діелектричних середовищ, границі розділу між ними. Складається із чутливого елемента, електронного перетворювача і вихідного пристрою, об'єднаних в одному блоці. Вихідний сигнал: безконтактний (0,2 А), релейний 2,5 А/250 В, сигналізація – по місцю. Напруга живлення: постійного струму – 21÷26В, змінного струму – 18 ÷25В. Габарити – залежно від конструкції (стрижневий, гнучкий, тросовий, пластинчастий, плоский). Виготовлювач: ТОВ Контакт-1, м. Рязань.

Індикатори – сигналізатори рівню ИСУ 100 призначені для безперервного виміру і сигналізації двох незалежних значень рівнів сипких і рідких електропровідних і діелектричних середовищ. Прилад складається із двох ємнісних чутливих елементів, ємність яких змінюється пропорційно рівню занурення в контрольоване середовище, вимірювального перетворювача із цифровою індикацією (рідкокристалічний, 3 розряди) і стрілочного показуючого приладу на базі міліамперметра М381 щитового монтажу. Вихідний сигнал: 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, 0-5 В, 0-10 В, релейний (число датчиків 2), 2,5 А/250В. Клас точності 1,5. Габарити цифрового індикатора 190 x 150мм. Виготовлювач: ТОВ Контакт-1, м. Рязань.

Рівнемір радіохвильовий Барс 311 призначений для безперервного виміру рівня рідких продуктів як в автоматичному режимі, так і в складі АСУ ТП. У комплект рівнеміра входить первинний перетворювач (передавально-приймальний модуль і модуль обробки), що забезпечує формування частотного сигналу, пропорційного рівню контрольованого середовища, який розміщується під або над кришкою резервуара, і вторинного перетворювача, що забезпечує: формування двох установок зі світловою індикацією і виходом на реле; формування стандартних частотно-струмових сигналів; індикацію рівня на цифровому

індикаторі. Діапазон виміру 0-20 м. Основна погрішність виміру +50 мм. Вихідний сигнал: уніфікований струмовий і частотний; релейний. Габарити вторинного приладу 220x196 мм. Виготовлювач: ТОВ Контакт-1, м. Рязань.

Ультразвукові рівнеміри (рис 3.42). Перевагою ультразвукових рівнемірів є те, що вони є безконтактними засобами виміру. Вони ідеально підходять для виміру рівня продуктів, які викликають корозію або суспензій, тобто в тих випадках, коли стандартні пристрої, що занурюються в середовище, можуть засмічуватися або піддаватися корозії. В ультразвукових рівнемірах немає рухливих деталей і вони легко монтуються шляхом простої установки на кришці резервуара.



Рисунок 3.42 – Ультразвуковий рівнемір

Ультразвукові пристрої не чутливі до багатьох характеристик рідин, що викликають проблеми при вимірюванні рівня, таких як густина, діелектричні властивості чи провідність, висока в'язкість, здатність викликати корозію, можливість забруднення хімічними елементами, осадження продукту.

При вимірі ультразвуковими рівнемірами прилад посилає ультразвуковий імпульс до поверхні вимірюваної речовини. Цей імпульс відбивається від поверхні речовини і повертається в прилад як луна. Часовий інтервал від моменту випромінювання до моменту прийому сигналу пропорційний відстані між приладом і поверхнею речовини.

Ультразвукові сигналізатори рівню. Ультразвукові сигналізатори рівня є надійним і економічним засобом виміру рівня рідких середовищ будь-якого типу в широкому діапазоні умов навколишнього середовища. Надійність ультразвукового датчика рівня обумовлена простотою пристрою і принципу дії, а також міцністю конструкції системи.

Принцип дії датчика заснований тільки на наявності чи відсутності рідини у вимірювальному зазорі. У них немає рухливих деталей і вони прості в установці. Ультразвукові сигналізатори рівня можуть використовуватися в чистих, в'язких рідинах чи в

рідинах із зваженими частинками, а також у деяких суспензіях і в рідинах, що аеруються. На них не впливає наявність піни, поверхневих плівок і крапель. Датчики рівня здатні працювати при тиску до 69 бар і температурі до 160 градусів Цельсія.

В ультразвукових сигналізаторах рівня звукова хвиля проходить між передавальним і приймальним кристалами, розміщеними на фіксованій відстані один від одного у вимірювальному зазорі. Коли рідина надходить чи виходить з вимірювального зазору, звукова хвиля підсилюється або послаблюється, чи загасає, і спрацьовує реле.

Радарний вимірник. Радарний вимірник використовує безконтактний метод вимірювання рівня поверхні речовини. Радарний вимірник є привабливим альтернативним варіантом для технологічних процесів, при яких стандартний пристрій забруднюється і піддається впливу корозії.

Радарні вимірники не чуттєві до зміни характеристик рідких речовин, таких як зміна густини, діелектричні характеристики, питома електропровідність.

Сучасна радарна технологія дає можливість робити точні виміри рівня, нездійсненні для інших технологій, оскільки вимірювач випромінює безпечні сигнали в мікрохвильовому діапазоні.

Радарний рівнемір німецької фірми KROHNE - BM 702 (рис. 3.43) – перший і єдиний радарний рівнемір з дводротовим підключенням.

Переваги:

- радар в X-діапазоні (8,5-9,9 ГГц) з цифровим керуючим сигналом;
- компактний пристрій, модульна конструкція;
- різні варіанти антени з різних матеріалів;
- вихід 4...20 мА / HART (2-х дротяне з'єднання).

Безконтактний радарний метод вимірювання є альтернативою методам, при яких потрібний контакт із середовищем.



Рисунок 3.43 – Радарний рівнемір ВМ 702

Прилад не потребує обслуговування і призначений для вимірювання рівня і об'єму рідин, паст, шламів в сховищах, заспокійливих трубах і виносних камерах.

Технічна характеристика:

- категорія захисту IP 66/67;
- мінімальна висота ємкості: 0,5 м;
- максимальний діапазон вимірювання: 20 м;
- мертва зона: мінімум 0,2-0,5 м;
- з'єднання: DN 50-DN 200, залежить від антени;
- робоча температура: мінус 40 - плюс 70°C;
- похибка: мінімум ± 1 см або $\pm 0,2\%$;
- діапазон вимірювання від 0,5-20 м;
- вихід 4...20 мА / HART (2-х дротяне з'єднання).

Радіолокаційний датчик. Радіолокаційний датчик рівня дозволяє вимірювати рівні безконтактним методом. Це гарна альтернатива при роботі в таких середовищах, де стандартні прилади, що занурюються, засмічуються чи піддаються корозії.

Радіолокаційні датчики рівня добре працюють у турбулентних, аерованих середовищах, у середовищах, що містять тверді частки, в'язких і агресивних речовинах, а також пастах і суспензіях. Вони не мають рухливих деталей і порівняно просто встановлюються на кришці резервуара.

Радіолокаційні датчики нечутливі до багатьох характеристик рідин, що викликають проблеми при вимірюванні рівня, таких як

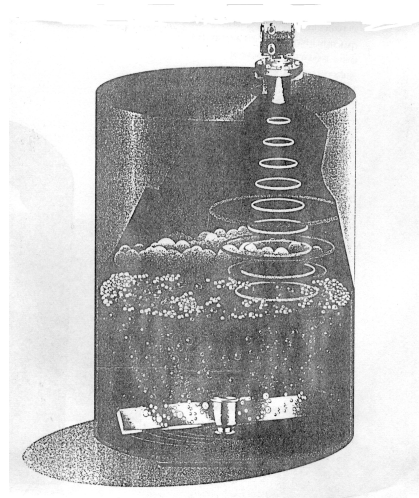
густина, діелектричні властивості, провідність. Крім того, радіолокаційний промінь вільно проникає крізь шар піни і прокладки з пінистих матеріалів, на нього не впливають властивості заповненого парами простору резервуара.

Завдяки безконтактному принципу дії, на радіолокаційні виміри звичайно не впливає наявність осадів чи відкладень, а чутливий елемент звичайно не забруднюється.

Технологія радіолокаційного датчика заснована на використанні безперервного частотно-модульного сигналу надвисокочастотного діапазону. Передавач випромінює радіолокаційні чи надвисокочастотні сигнали в напрямку до поверхні матеріалу, ці сигнали відбиваються назад у напрямку до приймача. Наявність модуляції сигналу дозволяє відрізнити прийняті і відбиті сигнали від зондувальних і обчислити відстань до поверхні продукту.

Радіолокаційний датчик рівня фірми Rosemount ALEX.

Загальний вигляд радіолокаційного датчика рівня представлений на рис. 3.44.



3.44 – Радіолокаційний датчик рівню (принцип дії)

Датчик має наступні функції:

- вимірює висоту рівня рідини до 15 метрів;
- забезпечує можливість роботи в широкому діапазоні температур і тисків;
- легкий, установлюється на невеликих фланцях;
- працює при малому енергоспоживанні;
- з'ємна конструкція дозволяє робити ремонт без демонтажу фланця і антени;

- дозволяє придушувати сигнали, відбиті від елементів конструкцій резервуара, забезпечуючи високу перешкодостійкість;
- виробляє вихідний сигнал 4-20 мА і цифровий сигнал відповідно до протоколу зв'язку HART;
- приймає вхідний сигнал від додаткового термометра опору RTD;
- задовольняє вимоги вибухобезпеки;
- дозволяє встановлювати додатковий вбудований чи виносний цифровий дисплей;
- періодично виконує самоперевірку.

3.4.5. Методи і засоби вимірювання складу речовин

Засоби вимірювальної техніки, які призначені для аналізу складу речовини, називають *аналізаторами*, а вимірювальні перетворювачі, що входять до їх складу, *аналітичними пристроями*. У переважній більшості аналізатори являють собою складні вимірювальні системи, у які входять різні спеціальні блоки і пристрої, пов'язані з відбором проб, їхньою підготовкою та переміщенням, аналізом, обчисленнями, тощо.

Автоматичні аналізатори випускаються в рамках державної системи приладів (ДСП) у складі агрегатного комплексу засобів аналітичної техніки (АЗАТ). Комплекс складається з ряду підкомплексів, побудованих за різними принципами вимірювання. Приблизний склад блоків підкомплексів АЗАТ наведений на рис. 3.45.

Вимірювальні перетворювачі і аналізатори підкомплексу АЗАТ дозволяють аналізувати речовини в газоподібному, рідкому, твердому, порошкоподібному станах, а також у вигляді плазми, суспензій і аерозолів.

Агрегатний комплекс засобів аналітичної техніки (АЗАТ) складається з наступних підкомплексів: фотометричних засобів вимірювання (АЗАТ-Ф), кондуктометричних засобів вимірювання (АСАТ-К), потенціометричних засобів вимірів хімічного складу (АСАТ-П), засобів вимірювання складу (АСАТ-Д), магнітних, термомагнітних засобів вимірювання (АСАТ-М).

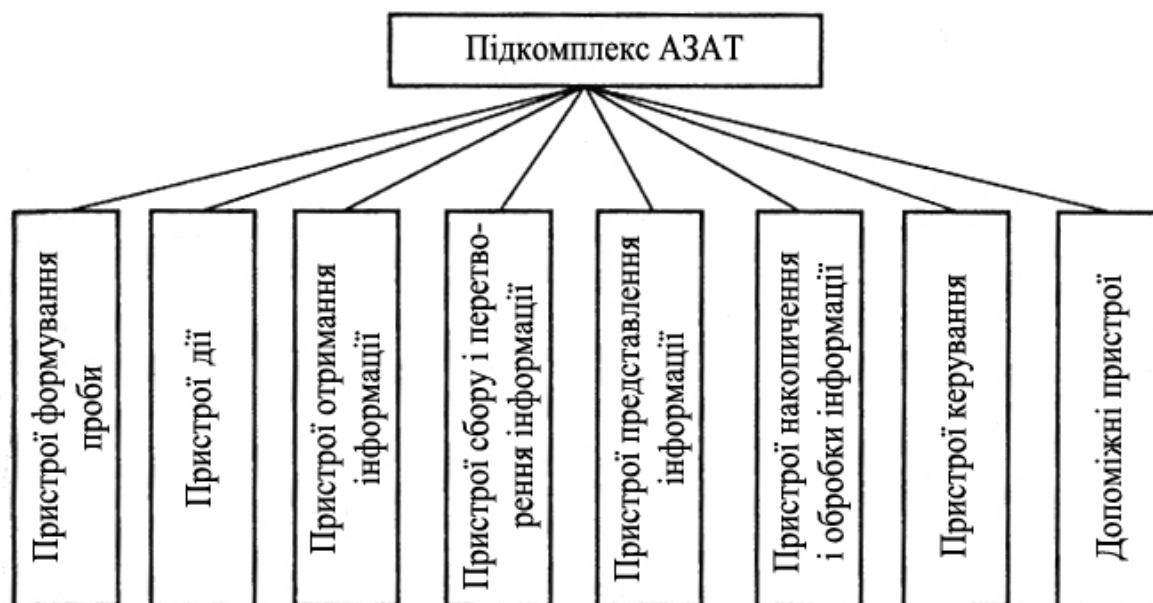


Рисунок 3.45 –Типовий склад блоків підкомплексу АЗАТ

Для контролю фізико-механічних параметрів матеріалів, сировини і готової продукції знаходять застосування агрегатний комплекс засобів випробувань матеріалів і готової продукції на міцність (АСИМ) і агрегатний комплекс засобів неруйнівного контролю (АСНК).

Фотометричний підкомплекс АСАТ-Ф.

Підкомплекс *фотометричних засобів* вимірювання включає оптичні аналізатори, що працюють в інфрачервоній, видимій і ультрафіолетовій областях спектру. Вони засновані на явищах поглинання, відбиття і розсіювання випромінювання речовиною, що аналізується.

Спектральний аналіз дозволяє одержати точні і однозначні характеристики речовини, відрізняється високою вибірковістю, універсальністю і продуктивністю. Аналізи здійснюються за спектрами поглинання в ультрафіолетовій (УФ), видимій та інфрачервоній (ІЧ) ділянках спектру (абсорбційний аналіз), за спектрами люмінесценції, комбінованого розсіювання (КР) і атомного емісійного аналізу.

Оптичні методи засновані на взаємодії випромінювання з речовиною. При поглинанні світла атоми і молекули поглинаючих речовин переходять у нові, енергетично збуджені стани. Прийнята атомами та молекулами надлишкова енергія в одних випадках витрачається на підвищення їхньої внутрішньої енергії, в інших –

на флуоресценцію або фосфоресценцію, чи витрачається в ході фотохімічних реакцій.

Оптичні аналізатори дозволяють робити аналіз речовин за вибіркоким поглиненням монохроматичного світла у видимій, ультрафіолетовій і інфрачервоній областях спектра і характеризуються високою точністю (відносна погрішність виміру становить 0,5 – 1,0%). Вони забезпечують: кількісне визначення вмісту елементів у широкому інтервалі довжин хвиль (від 185 до 1100нм); кількісний аналіз багатокomпонентних систем; визначення складу світло поглинаючих комплексних з'єднань; вивчення хімічних рівноваг і визначення фотометричних характеристик світло поглинаючих з'єднань.

Оптичні аналізатори, засновані на використанні випромінювань видимої частини спектру і відносяться до класів точності від 2,0 до 10.

В *УФ області* спектру визначається вміст ряду груп атомів і досліджуються перетворення окремих речовин, що входять до складу продуктів.

Метод *ІЧ-спектроскопії* (інфрачервоної спектроскопії) є найважливішим фізичним методом ідентифікації, вивчення будови молекул і кількісного аналізу складних середовищ.

Метод *КР* дозволяє одержувати спектри не тільки прозорих, а також дисперсних і капілярно-пористих тіл.

Перспективними є метод спектроскопії *за порушеним повним внутрішнім відбиттям* (ППВВ) і *метод непружного розсіювання нейтронів* (МНРН).

Атомний емісійний спектральний метод призначений для проведення якісного й кількісного аналізу. Цей метод застосовується, в основному, для аналізу неорганічних елементів.

Спектральний аналіз заснований на застосуванні складної вимірювальної апаратури. Вона складається із сукупності джерел світла, фотометричних перетворювачів і пристроїв, а також електронної і обчислювальної техніки обробки й відображення інформації.

Головними завданнями спектральної апаратури є: одержання спектрів поглинання або флуоресценції продуктів, їх ідентифікація й розшифровка, запис значень контрольованих компонентів, що характеризують цінність продукту.

Аналізатори дисперсних середовищ засновані на явищі розсіювання світла і називаються *турбідиметрами*, якщо вимірюваний світловий потік проходить через аналізоване середовище, і – *нефелометрами*, якщо вимірюється світловий потік, відбитий цим середовищем. Наприклад, турбідиметричні аналізатори каламутності води (типу ТВ) мають діапазони вимірів від 0 - 3 до 0 - 500 мг/л, основна погрішність вимірів $\pm 2\%$, а турбідиметричний аналізатор вмісту часток сажі в димових газах здійснює виміри в діапазоні від 0 - 2 до 0 - 800 мг/м³, основна погрішність 12,5%.

Аналізатори селективного виміру поглинання ультрафіолетового випромінювання різними речовинами є ультрафіолетовими аналізаторами й використовуються для вимірів концентрацій окремих газів і парів (сірководень, озон, ртуть, сірчистий ангідрид, чотирьох хлористий вуглець і інші).

У всіх фотометричних приладах використовується кілька типових оптичних і електричних схем, що розрізняються у аналізаторів однієї групи лише більшим або меншим ступенем складності. Існують схеми, які використовуються як в недисперсійних, так і в дисперсійних аналізаторах. Для багатьох прикладних завдань за допомогою дисперсійних аналізаторів зручніше й точніше зареєструвати спектр поглинання, чим вимірювати інтенсивність поглинання випромінювання в точці.

Останнім часом аналізатори якості оснащуються мікропроцесорною і обчислювальною технікою, що в автоматичному режимі вирішує питання ідентифікації, запису й розшифровки спектрів з видачею результатів аналізу в цифровій формі.

Інформацію про спектральні характеристики багатьох продуктів одержують за спектрами поглинання нерозсіюючих середовищ і за спектрами поглинання й відбиття компонентів, що розсіюють світло.

Інтенсивність поглинання різна в різних областях спектра. Для ІЧ спектрофотометрів характерна область $\lambda = 2,0 \div 40$ мкм або $5000 \div 200$ см⁻¹. У спектрофотометрах УФ і видимої областей спектра використовується випромінювання з $\lambda = 0,2 - 1,1$ мкм. Спектрофотометри КР працюють у діапазоні 0,4 – 0,85 мкм.

Люмінесценція, в основному, використовується для аналізу якості харчових продуктів (визначається ступінь псування).

Спектри флуоресценції звичайно охоплюють діапазон 0,3+ 1,3 мкм. Аналізатори атомного емісійного аналізу (спектроскопи) працюють у діапазоні довжин хвиль 0,39 – 0,7 мкм.

Кондуктометричний підкомплекс АСАТ-К.

Кондуктометричний підкомплекс заснований на використанні електрохімічних засобів вимірювання – електрокондуктометричних аналізаторів (кондуктометрів). Принцип дії кондуктометрів полягає у вимірі електричної провідності електролітів, за величиною якої визначається концентрація розчинених речовин. При проведенні аналізу газових сумішей їх розчиняють у допоміжній рідині, а потім вимірюють електропровідність розчину.

Існують контактний і безконтактний методи вимірювання. При цьому розрізняють контактні й безконтактні вимірювальні елементи і, відповідно, кондуктометри. Найпростіша двоелектродна контактна комірка – це камера із двома металевими електродами, заповнена аналізованою рідиною. Для зменшення погрішності, пов'язаної з поляризацією електродів, застосовують чотирьохелектродну вимірювальну комірку, у якій канали підведення електричної енергії до комірки і зняття сигналу вимірювальної інформації розділені. При цьому вимір електропровідності розчинів здійснюється на змінному струмі. Безконтактні кондуктометри підрозділяються на низькочастотні (із частотою до 1 кГц) і високочастотні (із частотою до сотень МГц). У високочастотних кондуктометрах використовуються ємнісні і індуктивні первинні вимірювальні пристрої, у низькочастотних, в основному, ємнісні.

Безконтактні кондуктометри застосовуються при аналізі розчинів, таких як суспензії, колоїди, речовини, що утворюють плівку або кристалізуються, а також – для дослідження агресивних розчинів солей, лугів і кислот з високою питомою електропровідністю.

Концентратомір КАЦ-021 призначений для автоматичного дистанційного виміру приведеної до 25°C питомої електричної провідності (ПЕП) або концентрації водяних розчинів (NaCl, NaOH, H₂SO₄ і інших речовин).

Прилад складається з безелектродного первинного перетворювача і вимірювального блоку. В приладі забезпечуються цифрова індикація й дистанційна передача результатів вимірів

питомої провідності або концентрації, а також незалежність показань від температури.

Концентратомір-сигналізатор кондуктометричний АЖК-3120 призначений для автоматичного виміру концентрації розчинів і сигналізації розділу фаз і складається із проточного первинного перетворювача й цифрового приладу, що сигналізує про вихід вимірюваного параметра за задані межі.

Потенціометричний підкомплекс АСАТ-П.

Потенціометричний підкомплекс призначений для вимірювання концентрацій різних іонів у розчинах (іонометрія) і для контролю окислювально-відновного потенціалу (оксредметрія). Ці виміри можна робити також у газових середовищах.

Потенціометричні аналізатори відносять до електрохімічних засобів вимірів, принцип дії яких заснований на визначенні потенціалу вимірювальної комірки, розміщеної в електроліті.

Електродний потенціал вимірюють непрямим методом за величиною ЕРС вимірювальної комірки, що складається з вимірювального (індикаторного) і порівняльного (допоміжного, опорного) електродів. Електроди розміщуються в комірці, через яку пропускають аналізоване середовище. Величина ЕРС вимірювальної комірки формує інформацію про концентрацію (активність) іонів в аналізованому середовищі, а також про її окислювально-відновні властивості.

Для визначення активної концентрації різних іонів при потенціометричних вимірах використовують показник рХ (р — перша буква слова *Protenz* — ступінь, Х — хімічний символ елемента за таблицею Д.І. Менделєєва), що дорівнює від'ємному десятковому логарифму кількості іонів елемента:

$$pX = - \lg a_x,$$

де a_x — кількість іонів елемента в 1 л розчину.

Відома велика кількість різноманітних за конструкцією індикаторних електродів для іонометрії, серед яких широке застосування знайшли іоноселективні електроди, що мають селективну вибірковість для конкретного типу іонів. Для виміру активності катіонів і аніонів K^+ , Ca^{+2} , Cl^- , I^- , CO_3^{-2} , NH_4^- , SO_4^{-2} і багатьох інших виготовляють електроди на основі іонообмінних мембран або спеціального скла. Для виміру активності іонів водню застосовуються скляні електроди, мембрана яких виготовляється зі

спеціального електродного скла на основі оксидів Na, K, Cs. Для виміру окислювально-відновного потенціалу застосовуються платинові електроди, які використовуються як індикаторні.

У якості порівняльного (допоміжного, опорного) використовується хлорсрібний електрод, потенціал якого постійний і становить 201 мВ.

Як аналізатори величини рХ використовуються іономіри на діапазони вимірів від мінус 20 до 20 рХ із погрішністю вимірів $\pm 0,01$ рХ при постійній часу до 40 секунд. Іономіри виготовляються в лабораторному і промисловому варіантах, у стаціонарному або переносному виконанні.

Потенціометричні іоноселективні вимірювальні системи використовуються для контролю концентрацій мікроелементів у харчових продуктах.

рН-метр-іономір «ЭКОТЕСТ-120» (портативний мікропроцесорний) призначений для виміру активності іонів водню (рН), активності різних іонів (рХ), молярної і масової концентрацій одновалентних і двовалентних аніонів та катіонів, а також для визначення температури водяних розчинів. В пам'ять приладу введені параметри 27 іонів, у тому числі H^+ , Mg^{+2} , K^+ , NH_4^- , NO^+ , Ca^{+2} . Це дозволяє підключити до приладу відповідні іоноселективні датчики контролю цих іонів.

Переваги приладу: вивід результатів вимірів в одиницях мВ, рХ, моль/л, мг/л; вимір температури; збереження даних попередніх калібрувань; можливість роботи з ІВМ сумісним комп'ютером (зв'язок здійснюється по каналу RS-232C); застосування зовнішнього комутатора каналів (це дозволяє використовувати прилад у якості багатоканального – до 49 каналів); рідкокристалічний дворядковий індикатор, зручне користувальницьке меню, режим підказок.

Величина рН характеризує кислотні (лужні) властивості розчинів, тобто активність іонів водню в них. Для дистильованої води рН = 7. Розчини із рН < 7 є кислотними, з рН > 7 — лужними.

Існує три методи виміру кислотності: колориметричний, потенціометричний і кондуктометричний.

Колориметричний метод заснований на титруванні проби речовини до точки нейтралізації, що визначається колірним індикатором. Цей метод трудомісткий, суб'єктивний і не піддається автоматизації.

Потенціометричний метод виміру рН полягає в тому, що при зануренні в контрольоване середовище вимірювальної комірки, що складається з вимірювального (індикаторного) і порівняльного (допоміжного) електродів, між ними виникає електричний потенціал, який залежить від активності іонів водню і температури розчину. У якості вимірювального застосовують скляний, іноді сурм'яний або водневий електроди, а в якості порівняльного – хлорсрібний електрод. Електродну систему розміщують у спеціальні пристрої для захисту від механічних пошкоджень. Вимірювальні комірки виготовляють заглибного та проточного типу. Величину рН визначають рН-метрами. Ще експлуатуються комплекти промислових рН-метрів, до складу яких входять вимірювальні камери з термокомпенсатором, високоомні перетворювачі та потенціометри. Виготовляються лабораторні і виробничі рН-метри, які поділяються на переносні та стаціонарні. Діапазон вимірів цих рН-метрів становить 0 – 14 рН із піддіапазонами 0 – 4; 0 – 8; 8 – 12 рН. Абсолютна погрішність вимірів $\pm 0,01$ рН. Вихідний струмовий сигнал становить 0 – 5 мА.

рН-мілівольтметр рН-011 (рис.3.46) призначений для автоматичного безперервного та лабораторного виміру активності іонів водню (рН) і окислювально-відновного потенціалу (Eh) водних розчинів.



Рисунок 3.46 – рН-мілівольтметр рН-011

Прилад складається з електронного блоку (високоомного перетворювача) і електродної системи. При цьому забезпечується цифрова індикація і дистанційна передача результатів виміру з можливістю вибору коефіцієнта перетворення в широких межах, а також температурної компенсації характеристик електродів.

Технічні характеристики: діапазон вимірів від 0 до 14 рН; основна погрішність електронного блоку $\pm 0,02$ рН. Температура аналізованого середовища від 5 до 50°C. Вихідний сигнал 0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА. Напруга живлення змінного струму (220 \pm 20) В. Частота напруги живлення (50 \pm 5)Гц. Габарити електронного блоку (щитове кріплення) 154x205x240 мм; блоку електродної системи 280x440x105 мм.

pH-метр «МК-Луч» призначений для безперервного контролю величини рН і температури кисломолочних продуктів, заквасок, продуктів цукрової, пивоварної, виноробної, мікробіологічної промисловості в трубопроводах і на устаткуванні. Прилад складається з електронного блоку (високоомного перетворювача) і датчика (заглибного або проточного).

pH-метр Chicker 1 (малогабаритний переносний) призначений для оперативного контролю величини рН водних розчинів, має цифровий дисплей з великою й чіткою індикацією рН.

pH-метр серії «PICCOLO». У приладі реалізований принцип «електрод + підсилювач сигналу», що дозволяє звести до мінімуму вплив буферного розчину, небажаних домішок, вологості навколишнього середовища на точність рН-вимірів. Ці рН-метри комплектуються комбінованим електродом-штангою (PICCOLO-1) довжиною 90 мм, комбінованим електродом-штангою (PICCOLO-2) довжиною 160 мм або комбінованим електродом-штангою (PICCOLO Plus) довжиною 160 мм, що дозволяє також вимірювати температуру.

Кондуктометричний метод визначення кислотності заснований на вимірі електропровідності контрольованих середовищ. Електропровідність аналізованих розчинів залежить від питомої електропровідності компонентів, що формують контрольоване середовище, кислотності і температури. Вимірювальний пристрій являє собою двоелектродну комірку, виконану з металевих стрижнів. У якості вимірювальної схеми використовується електронний міст постійного струму. Однак цей

метод контролю кислотності не знайшов широкого застосування через низьку чутливість і погану відтворюваність результатів вимірів.

Оксредметрия розглядає взаємодію речовин у розчинах. Процеси, що протікають у розчині, утягують частки до окислювально-відновної системи, що характеризується величиною окисного потенціалу (ОП). Термін «окисний потенціал» уведений для того, щоб показати, що потенціал збільшується з ростом окисної здатності розчину. Відновна здатність розчину буде тим більше, чим менше його окисний потенціал. Величина ОП (мВ) є параметром (енергетичною характеристикою) оперативного контролю інтенсивності протікання окислювально-відновних реакцій, тобто активності і глибини протікання біохімічних, мікробіологічних і інших перетворень при шумуванні напівфабрикатів. Вона визначає термодинамічні та кінетичні характеристики процесу дозрівання напівфабрикатів хлібопекарського, спиртового і пивоварного виробництва, а також виноробства.

Величину ОП варто розглядати як роботу реакцій окислювально-відновної взаємодії аналізованого середовища (субстрату) зі стандартною системою, потенціал (Ψ^M) якої приймається рівним нулю. Тому різниця потенціалів (ϕ) між окислювально-відновною системою Ψ і стандартною (опорною) системою формує ОП, що дорівнює $\phi = \Psi^M - \Psi$. Таким чином, ОП чисельно дорівнює ЕРС чутливого елемента вимірювального пристрою, у якому взаємодіють дві окислювально-відновні системи, одна з яких стандартна. Ця гальванічна комірка вимірювального пристрою складається з вимірювального (індикаторного) і порівняльного (допоміжного) електродів.

Вимірювальною схемою величини ОП є мілівольтметр або потенціометр. Діапазон виміру від -1990 до +1990 мВ із абсолютною погрішністю виміру ± 10 мВ.

При введенні в контрольоване середовище компонента воно відповідає стрибком ОП, величина якого є енергетичною характеристикою (роботою) взаємодії даного компонента із цим середовищем. За величиною ОП можна визначити оптимальне дозування компонента.

Для виміру величини ОП або рН можна використовувати будь-який рН-метр із діапазоном виміру величини ЕРС електродної

системи, наприклад: рН-мілівольтметр рН-011, рН-метр рН-метр серії «PICCOLO».

Діелькометричний підкомплекс АСАТ-Д.

Підкомплекс діелькометричних засобів вимірів призначений для визначення властивостей, складу і структури речовин за діелькометричними параметрами (за діелектричною проникністю). Підкомплекс складається із трьох груп приладів. У першу групу входять прилади для безперервного безконтактного дистанційного контролю концентрації одного з компонентів двофазних потоків, що утворюються, наприклад, при гідротранспорті матеріалів. Другу групу складають прилади, призначені для визначення складу бінарних сумішей рідин і газів. Третя група складається з діелькометричних аналізаторів, призначених для аналізу властивостей і складу речовин всіх агрегатних станів.

3.4.6. Методи і засоби вимірювання складу газових сумішей

У хімічній промисловості аналіз складу газових сумішей здійснюється за допомогою теплових (термокондуктометричних, термохімічних, термомагнітних), гальванічних, оптичних і фотометричних газоаналізаторів, а аналіз складу рідин – за допомогою аналізаторів електричних (кондуктометричних, потенціометричних) і оптичних. Як правило, комплекти газоаналізаторів складаються з вимірювального перетворювача, вимірювального та допоміжного пристроїв.

Принцип дії *термокондуктометричних автоматичних газоаналізаторів* заснований на використанні значної різниці в теплопровідності компонентів, що входять до складу контрольованих газових сумішей. За допомогою первинних вимірювальних перетворювачів вимірюється відносна зміна теплопровідності контрольованої газової суміші, що порівнюється з теплопровідністю еталонної суміші.

Дія *термохімічних газоаналізаторів* засновано на зміні температури при спалюванні газу на каталітично активній ниті, що нагрівається.

Принцип дії *термомагнітних газоаналізаторів* заснований на використанні парамагнітних властивостей кисню, і застосовується для виміру концентрації кисню в газових сумішах.

Робота *гальванічних автоматичних газоаналізаторів* заснована на використанні електрохімічної реакції, що викликає появу струму на лужному гальванічному елементі при попаданні на нього кисню.

Принцип дії *оптичних автоматичних газоаналізаторів* заснований на використанні зміни ступеня поглинання інфрачервоного випромінювання аналізованим газом залежно від концентрації в ньому вимірюваного компонента.

Дія *фотометричних газоаналізаторів* засновано на порівняльному вимірі світлових потоків, що падає і відбивається від стрічки приладу, обробленої розчином відповідного індикатора.

Газоаналізатор «Ритангаз-16» призначений для автоматичного контролю вихідних газів топок. Контрольовані гази: O₂, CO₂, CO, NO, O₂, SO₂, H₂S. Діапазон вимірів: O₂ від 0...21%, CO від 0...30 000 ppm; CO₂ від 0 до 25%; NO від 0 до 20 000 ppm; SO₂ від 0 до 4000 ppm; SO₂ від 0 до 100 ppm; H₂S від 0 до 200 ppm. Клас точності виміру 1,0.

Газоаналізатор «ГИАМ-15М» призначений для автоматичного контролю концентрації газів у технологічних процесах. Контрольовані гази: CO, CO₂, NO, SO₂. Діапазон вимірів: CO від 0 до 1%; CO₂ від 0 до 200 ppm; SO₂ від 0 до 0,2%; NO від 0 до 60 г/м³. Клас точності виміру 1,0.

Газоаналізатор «АНКАТ-7621» призначений для безперервного контролю концентрації токсичних газів на рівні ПДК робочої зони. Контрольовані гази: CO, H₂S, SO₂, Cl₂, NO₂. Діапазон вимірів: CO від 0 до 50 г/м³; H₂S від 0 до 20 г/м³; SO₂ від 0 до 20 г/м³; NO₂ від 0 до 20 г/м³. Клас точності виміру 0,5.

Газоаналізатор-сигналізатор «СГГ-4М» призначений для автоматичного безперервного контролю концентрацій багатокомпонентних повітряних сумішей горючих газів і парів, аж до вибухонебезпечних.

Газоаналізатор «ГАНК-4» призначений для автоматичного безперервного контролю вісту до 70 шкідливих речовин у повітрі робочої зони та атмосфері.

Підключення аналізаторів складу з аналоговим вихідними сигналами до мікропроцесорних систем контролю та керування варто здійснювати за допомогою АЦП (тобто модулів введення аналогових сигналів серій АДАМ

3.4.7. Методи і засоби вимірювання властивостей речовин

Аналізатори властивостей речовин всіх агрегатних станів підкомплексу АСАТ можна поділити на аналізатори: густини, вологості і в'язкості.

Методи і засоби вимірювання густини. Густина речовини – це величина, що дорівнює відношенню маси речовини до її об'єму. Засоби вимірювання густини рідин поділяють на поплавцеві, вагові, гідростатичні, вібраційні і радіоізотопні густиноміри.

Поплавкові густиноміри (ареометри) в основному застосовуються в лабораторній практиці для вимірювання густини рідин, тобто для визначення процентного вмісту розчинених речовин у бінарних розчинах. Принцип дії заснований на вимірюванні виштовхувальної сили, що діє на поплавець, частково або повністю занурений у контрольовану речовину. Залежно від типу датчика (ЧЕ) густиноміра на виході може формуватися електричний або пневматичний сигнал.

Густиноміри із частково зануреним поплавцем здійснюють вимір густини в діапазоні $0,005 - 0,01 \text{ г/см}^3$ з погрішністю $1,5 - 3\%$ від діапазону вимірів.

Густиноміри з повністю зануреним поплавцем можуть вимірювати густину рідин у діапазоні $0,5 \div 1,2 \text{ г/см}^3$, їх клас точності 1,0.

Вагові густиноміри застосовуються для вимірювання густини речовини в потоці. В них рідина протікає по петле подібній ділянці труби, з'єднаної з основним трубопроводом гнучкими гумовими або металевими патрубками (сильфонами). При зміні густини рідини відповідно змінюється маса петле подібної труби і за допомогою електросилового або пневмосилового перетворювача формується уніфікований сигнал, що надходить на вторинний прилад. Діапазон вимірювання $0,5 \div 2,5 \text{ г/см}^3$. Клас точності 1,0; 1,5.

Гідростатичні густиноміри можна застосовувати для безпосереднього вимірювання густини в технологічних об'єктах. Їх дія заснована на залежності тиску стовпа рідини постійної висоти від її щільності. Ці густиноміри мають діапазон вимірювання від $0,04$ до $0,35 \text{ г/см}^3$ і від $0,08$ до $0,50 \text{ г/см}^3$. Основна погрішність становить $1,5 \div 2,0\%$ діапазону вимірів.

Робота *вібраційних густиномірів* заснована на функціональній залежності характеристик пружних коливань резонатора від густини контрольованої речовини.

Резонатори виготовляються у формі труби, пластини, стрижня, струни, камертона, тощо. За конструкцією розрізняють проточні і заглибні вібраційні густиноміри: у проточних контрольована речовина протікає через внутрішню порожнину резонатора; резонатор розміщується в потоці контрольованої речовини. Діапазон вимірювань вібраційних густиномірів становить $0,5 \div 0,6 \text{ г/см}^3$ з абсолютною погрешністю $0,0001 \text{ г/см}^3$.

Принцип дії *радіоізотопних густиномірів* заснований на вимірюванні зміни інтенсивності іонізуючого випромінювання при його проходженні через контрольоване середовище. Вони знаходять застосування для вимірів щільності агресивних, а також достатньо грузлих середовищ.

Витратомір для виміру густини (концентрації) рідини Promass. Принцип дії витратоміра заснований на вимірюванні величин коріолісових сил у трубах первинного перетворювача при протіканні через них потоку середовища. Вимірювання густини засноване на вимірюванні резонансної частоти коливання трубок первинного перетворювача витрати. Витратомір являє собою програмний засіб вимірів, що складається з первинного перетворювача витрати і електричної частини в герметичному корпусі.

Методи і засоби вимірювання вологості. Розділ метрології про вимір величин, що характеризують вологість газоподібних середовищ, називається гігрометрією, засоби вимірювання вологості газів — гігрометрами, розділ про вимірювання величин, що визначають вологість рідких і твердих речовин, називається вологометрією, а прилади для вимірювання їх вологості — вологомірами.

Газоподібні середовища можуть характеризуватися абсолютною і відносною вологістю. Вміст вологи в рідких і твердих речовинах визначається масовою вологістю або вологовмістом.

Гігрометри за принципом дії поділяються на психрометричні, конденсаційні, сорбційні та діелькометричні.

Психрометричні аналізатори (психрометри) застосовуються для вимірювання концентрацій (вмісту) парів води в газоподібних

середовищах. Їх дія заснована на охолодженні рідини (в основному, води) при її випарюванні в контрольоване газоподібне середовище.

Психрометр складається із двох ідентичних термоперетворювачів: «сухого», що омивається контрольованим газом, і «вологого», чуттєвий елемент (ЧЕ) якого зволожується, торкаючись гноту, що всмоктує воду зі спеціальної посудини. У газоподібному середовищі, відносна вологість якого менше 100%, вода випаровується з поверхні гнота і охолоджує ЧЕ «вологого» термоперетворювача до температури нижче навколишньої. За різницею температур між «сухим» і «вологим» термоперетворювачем визначають величину відносної вологості за психрометричними таблицями або спеціальними номограмами. В автоматичних психрометрах у якості термоперетворювачів використовують термоопори, включені у вимірювальну схему – здвоєний автоматично врівноважений міст, шкала якого відградуйована в одиницях відносної вологості, клас точності 2,5; інерційність – $3 \div 5$ хв.

Дія *конденсаційних гігрометрів (гігрометри точки роси)* заснована на вимірюванні температури, при якій газоподібне середовище досягає насичення при даному тиску. Температура насичення визначається за початком конденсації водяної пари на дзеркальній поверхні охолоджуваного тіла при обдуванні його контрольованим газовим середовищем. Ця температура називається температурою точки роси. За температурою точки роси при незмінному тиску можна визначити абсолютну і відносну вологість газоподібного середовища. Діапазон вимірювання цих гігрометрів становить від мінус 80 до мінус 40°C при тиску контрольованого газу $0,05 \div 10$ МПа, Абсолютна погрішність вимірів не більш $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Сорбційні вологоміри діють на основі використання механічних, теплових, оптичних і електричних ефектів, що обумовлюють процес сорбції вологи з навколишнього середовища твердим тілом або рідиною.

Широке застосування мають сорбційні вологоміри, принцип дії яких заснований на електричних ефектах. Наприклад, сорбційний вологомір, у якому масу вологи визначають за допомогою п'єзоелектричного ефекту, що виникає на пластині, покритій сорбентом (діоксид кремнію, сульфінований полістирол

або інший гігроскопічний полімер). Маса сорбованої вологи визначається шляхом виміру частоти або амплітуди коливань пластини, на поверхню якої нанесений шар сорбенту. Пластина включена у високочастотний коливальний контур (5-15 МГц) генератора і поміщена в камеру, через яку прокачується контрольований газ. При зміні вологості контрольованого середовища змінюється маса вологи, що сорбується і відповідно – частота коливань генератора, до складу якого входить пластина із шаром сорбенту.

Принцип дії *дієлькометричних гігрометрів* заснований на залежності діелектричної проникності речовини від її вологості. При цьому діелектрична проникність води приблизно в 20 - 40 разів більше діелектричної проникності інших речовин. У цих гігрометрах контрольований газ прокачується з постійною об'ємною витратою через камеру, у яку поміщений алюмінієвий стрижень із шаром оксиду алюмінію, нанесеним на поверхню. Поверх цього шару покладений нікелевий дріт. Стрижень і дріт утворюють електричний конденсатор, ємність якого змінюється при сорбції парів води оксидом алюмінію. Ємність конденсатора вимірюється мостовою схемою змінного струму. Ці гігрометри працюють у діапазоні 20 ÷ 100% відносної вологості. Відносна погрішність виміру – 1,5%.

Вимірник-регулятор температури і вологості ИРТВ-5215 у комплекті з ИПТВ 056 призначений для виміру та регулювання температури і вологості повітря в різних технологічних процесах. В ИРТВ-5215 у якості первинного перетворювача застосовується вимірювальний перетворювач температури і вологості ИПТВ 056, до складу якого входять ємнісний чутливий елемент відносної вологості і термоопір Pt 100.

Прилад ИРТВ-5215 здійснює вимір параметрів і відображення їх на цифровому табло, а також здійснює функції сигналізації (регулювання) релейного типу (2 установки на кожний канал) або безперервне регулювання температури і вологості за витратою пари. До приладу через електричні виконавчі механізми підключаються багатооборотні вентиля.

Технічні характеристики:

Тип первинного перетворювача ИПТВ 056М.

Основна погрішність вимірювання температури +0,25%

Вихід регулятора температури «сухий контакт»:
250 В/10 А

Вихідний уніфікований сигнал: 0...5 мА, 4...20 мА.

Вбудований вимірювальний перетворювач вологості.

Вихідний уніфікований сигнал 0...5 мА.

Габаритні встановлювальні розміри: передня панель (за DIN 43700) 96x96 мм; монтажна глибина 180 мм; виріз на щиті 86x86 мм.

Дія *кондуктометричних гігрометрів* заснована на вимірюванні залежності електропровідності вологосорбуючих матеріалів від вологості контрольованого середовища. Їх часто називають *сорбційнокондуктометричними*. Наприклад, для безперервного виміру відносної вологості пароповітряних сумішей часто використовується *сорбційнокондуктометричний гігрометр типу ГС-210*. Як первинний перетворювач у ньому використовується блок, що складається з семи вузько діапазонних вологочутливих елементів, з'єднаних між собою коригувальними резисторами для одержання лінійної залежності за струмом, що забезпечує термокомпенсацію вимірювальної системи. Діапазон вимірів цього гігрометра становить $15 \div 98\%$. Відносна погрішність – до $\pm 3\%$.

Для вимірів вологості рідких, твердих і сипких речовин застосовують термогравіметричні (вагарні), дієлькометричні, оптичні, частотні, кондуктометричні та інші види аналізаторів.

Дія *термогравіметричних вологоміврів (вагарень)* засновано на вимірі ваги проби продукту до і після висушування. Сушка здійснюється нагрітим повітрям, за допомогою інфрачервоного або ЗВЧ випромінювання. Ваговий метод досить трудомісткий і знаходить застосування, в основному, у лабораторній практиці.

Дієлькометричні вологоміри широко застосовуються в системах контролю вологості багатьох продуктів. У них використовуються ємнісні вимірювальні пристрої з електродами пластинчастої або коаксіальної форми. Простір між електродами заповнюється контрольованою речовиною. Діапазон виміру становить $17 \div 24\%$ з основною погрішністю $\pm 0,2$.

Для вимірювання вологості продуктів, що представляють собою як діелектрики, так і напівпровідники, застосовують *високочастотні вологоміри*, засновані на вимірі поглинання електромагнітної енергії, що пройшла через пробу продукту. На

цьому принципі працюють вологоміри, що мають діапазон вимірів вологості продукту $45 \div 60\%$ і погрішність вимірів $\pm 1,0\%$.

Вологоміри ІЧ-спектроскопії застосовуються для виміру відносної вологості продуктів до 10 - 15% . Методика вимірювань заснована на порівнянні відбивної здатності ІЧ-випромінювання контрольованим продуктом на довжинах хвиль λ від 0,8 до 6,1 мкм, що найбільш поглинаються молекулами води, і опорної — що найменш поглинається молекулами води. За цією методикою працює вологомір *ВІВ-1* з видачею результатів вимірів у цифровій формі.

ІЧ-вологомір М55 призначений для контролю якості і виміру різноманітних технологічних параметрів. Виміри здійснюються в інфрачервоному діапазоні спектра, і використовуються для визначення вологості та вмісту парів, протеїну, нікотину, цукрів у порошкоподібних, гранульованих і смолистих матеріалах, вимірів товщини пластикової та ламінованої плівки, ваги покриттів і масляної плівки в технологічному потоці в харчовій, хімічній, тютюновій і паперовій промисловості. Вологомір являє собою вимірювальний перетворювач-випромінювач, встановлений у потоці та з'єднаний із цифровим приладом.

Частотні вологоміри набули широкого застосування при контролі вологості харчових продуктів. Їхня дія заснована на високочастотному і зверх частотному методах визначення вологості матеріалів. Принцип дії *високочастотних вологомірів* заснований на тому, що діелектрична проникність ϵ й тангенс кута діелектричних втрат $tg\delta$ рідких і твердих капілярно-пористих матеріалів, які відносяться до макроскопічних неоднорідних діелектриків, сильно залежать від їх вологості. Більша частина капілярно-пористих речовин є гарними діелектриками з діелектричною проникністю $\epsilon = 1 \div 6$, (для води $\epsilon = 81$).

Високочастотні вологометричні системи працюють у діапазоні частот $5 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^7$ Гц і використовують ємнісний або фазовочастотний принцип поділу корисних сигналів і сигналів перешкод. При цьому відбувається вплив на контрольований продукт змінним електромагнітним полем і аналізується поведінка матеріалу в цьому полі. Вимір вологості зводиться до визначення залежності діелектричної постійної від частоти, вологості і температури.

Як первинні перетворювачі у високочастотних вологометричних системах використовують плоскі або циліндричні конденсатори, в електричне поле яких поміщають контрольований продукт для виміру вологості.

Будь-який високочастотний вологомір складається з вимірювального перетворювача вологості, високочастотного генератора і вимірювальної схеми (неврівноважені та врівноважені високочастотні мости). Діапазон виміру відносної вологості капілярно-пористих продуктів 4-75%, клас точності 2,0.

Надвисокочастотні вологоміри діють на основі зміни параметрів електромагнітної хвилі при її взаємодії з контрольованим матеріалом, що залежить від його діелектричних характеристик.

Надвисокочастотний (НВЧ) метод виміру вологості рідких і твердих речовин заснований на вимірі вологості за величиною відбитих і тих, що пройшли крізь аналізовану речовину, електромагнітних хвиль ЗВЧ діапазону із частотою 3000-10000 Мгц. При цьому НВЧ-перетворювач із вологим матеріалом розглядається як система з розподіленими параметрами. Для виміру вологості використовують випромінювання ЗВЧ діапазону, які охоплюють область дисперсії води.

НВЧ-методи, в основному, поділяються на два види: за відбиттям і за поглинанням. Проходячи крізь вологий зразок матеріалу, електромагнітні хвилі відбиваються, що виражається в зміні амплітуди E_0 , і переломлюються, що обумовлює зсув фаз $\Delta\varphi$. Ці зміни залежать від діелектричних властивостей контрольованої речовини (ε , $tg\delta$), товщини пласко паралельного шару й довжини випромінювання.

Методи, що засновані на вимірі параметрів проникаючої хвилі, застосовуються при оцінці інтегральної вологості в напрямку поширення випромінювання. При цьому, на результат виміру впливають товщина аналізованої речовини, ступінь її неоднорідності та температура.

Перевагами методів з використанням відбитої ВЧ-хвилі є незалежність результатів вимірів від товщини шару вимірюваної речовини і одnobічний доступ до матеріалу, а також можливість виміру середніх і високих величин вологості. Однак у діапазоні низьких вологостей їхня чутливість невелика.

У загальному плані НВЧ-вологомір складається з генератора НВЧ, модулятора частот, аналізованого зразка, розміщеного між передавальною та приймальною антенами (вимірювальна комірка – зонд), пристрою перетворення сигналу й вимірювальних схем, що працюють за методами прямого і компенсаційного вимірювання. Діапазон вимірів відносної вологості $2 \div 100\%$, клас точності 1,0.

Вимірник вологості LB 447. Принцип дії заснований на поглинанні швидких нейтронів сипучими матеріалами в бункерах, ковшах, шнеках і на стрічковому транспортері. Здійснюється компенсація насипної щільності для визначення вагової вологості. Вихідний сигнал приладу RS-232; RS-485. Виготовлювач: EGG Berthold, Німеччина.

Методи і засоби вимірювання в'язкості.

В'язкість — це властивість текучого матеріалу чинити опір переміщенню однієї його частини щодо іншої. *Віскозиметри* за принципом дії поділяються на капілярні, кулькові, ротаційні, вібраційні та інші. Вони забезпечують вимір в'язкості речовини як в окремії пробі, так і в потоці. Дія *капілярних віскозиметрів* (віскозиметри витікання) засновано на закономірності витікання рідини через калібрований отвір — капіляр. В них в'язкість визначається за перепадом тиску в капілярі при витіканні через нього рідини з постійною об'ємною витратою, а також – за часом витікання заданого об'єму рідини через нього. Діапазони вимірів автоматичних капілярних віскозиметрів від 0 до $2 \cdot 10^{-2}$ та від 0 до $1 \cdot 10^2$ Па·с; класи точності $1,5 \div 2,5$.

Кулькові віскозиметри (віскозиметри з падаючою кулькою) діють на основі виміру швидкості або часу падіння кульки в циліндричній посудині, заповненій контрольованим середовищем. Створено віскозиметри з падаючою кулькою безперервної циклічної дії. Діапазон вимірів кулькових віскозиметрів становить від $0,6 \cdot 10^{-3}$ до $0,8 \cdot 10^2$ Па·с із погрешністю $\pm 2\%$.

Принцип дії *ротаційних віскозиметрів* заснований на вимірі крутячого моменту, що виникає на осі ротора (циліндр, куля, диск) при переміщенні його в контрольованому середовищі, в яке він занурений. Характерною рисою ротаційних віскозиметрів є широкий діапазон вимірів – від 10^{-3} до 10^3 Па·с із основною погрешністю $\pm 0-2,5\%$.

Віскозиметр ротаційний РКБМ-62 призначений для автоматичного виміру в'язкості різних харчових продуктів.

Технічні характеристики:

Межі виміру	0,7...4% мас.
Температура вимірюваного середовища	5...50°C.
Вихідний сигнал	0...5мА

Вібраційні віскозиметри діють на основі залежності демпфуючих властивостей контрольованого середовища від його в'язкості. В автоматичних віскозиметрах звичайно виміряються параметри затухання вільних коливань або амплітуди змушених коливань пластинки або стрижня, занурених в аналізоване середовище. Чим більше опір контрольованого середовища, тим більше її в'язкість. Вібраційні віскозиметри використовуються для безперервного контролю різних рідин. Діапазон вимірів — від 10^{-4} до 10^2 Па·с, погрішність $\sim 2,5 \div 4,0\%$.

3.5 Сучасні вторинні прилади на базі мікропроцесорної техніки

За останні роки номенклатура функціональних і вторинних приладів розширилась за рахунок поставок нової продукції. Це мікропроцесорні прилади з символно-цифровою індикацією і вбудованим інтерфейсом RS232/485, що програмуються користувачем, вимірювачі-регулятори, реєстратори.

Сучасна високоякісна елементна база забезпечує багатофункціональність, універсальність, високі метрологічні характеристики приладів.

Багатоканальний реєстратор Метран-900 забезпечує збір, обробку інформації про параметри процесу і реєстрацію значень параметрів.

Функціональні можливості приладу:

- можливість підключення різних типів датчиків (12 датчиків);
- одночасний контроль параметрів;
- вбудований інтерфейс RS232/485;
- візуалізація даних на дисплеї в цифровому і графічному вигляді;
- наочність та інформативність оперативної інформації, що відображається по всіх 12-ти каналах;

- можливість отримання всієї необхідної інформації про стан параметрів в будь-який момент часу за період реєстрації;
- можливість виводу на пристрій друку.

Прилад складається з блоку комутації та реєстратора. Блок комутації забезпечує збір, перетворення, передачу сигналів датчиків в реєстратор або комп'ютер у цифровому вигляді. Блок комутації використовується самостійно в якості перетворювача вхідних аналогових сигналів в RS485 або у складі АСУ ТП з пультом управління для настройки приладу на певні градувальні характеристики первинних перетворювачів.

Реєстратор зчитує інформацію з блоку комутації в цифровій формі RS485, виводить на дисплей, здійснює запис, зберігання, забезпечує перетворення даних в цифровий вихідний сигнал RS, виводить їх на друк за вказаний інтервал часу, видає аварійний сигнал про порушення встановленого значення величини контролю.

Відображення інформації може здійснюватись в режимі індикації і в режимі хронології. В режимі індикації поточне значення відображається в графо-цифровому вигляді по 12-ти каналам одночасно. В режимі хронології зміни параметрів для вибраного каналу відображаються в погодинному або подобовому масштабі.

Реєстратор багатоканальний технологічний РМТ 69 виробництва НПП Элемер (Росія) сумісно з фірмою ZPA (Чехія) в загальнопромисловому і вибухобезпечному виконанні (Ex). Призначений для вимірювання, реєстрації і контролю температури та інших неелектричних величин (частоти, тиску, витрати, рівня, та інших) і перетворення їх в електричні сигнали сили, напруги постійного струму і активного опору. Призначений для використання у різних технологічних процесах.

У приладі відображення результатів вимірювання та графопобудова здійснюється на кольоровому моніторі.

Прилад має:

- 6 гальванічно розв'язаних каналів вимірювання і реєстрації різних фізичних величин,
- 16 релейних виходів (нормально розімкнутих)
- 8 дискретних входів
- 2 інтерфейси RS232, RS485.

У приладі є режими конфігурації, вимірювання, перегляду архіву, тестової перевірки релейних виходів.

Результат вимірювання виводиться на монітор.

Типи відображення результатів вимірювання:

- графіки, одночасно виводяться оцифрований результат поточного вимірювання, одиниця вимірювання, поточний час;
- гістограми за шістьма каналами з вказівкою типу уставок і оцифрованим результатом поточного вимірювання;
- одночасне цифрове відображення всіх шести результатів вимірювання з величинами уставок.

Параметри монітора:

- тип монітора STN;
- розмір поля відображення 85×115 мм;
- розмір поля графопобудови 65×100 мм.

На лицевій панелі розміщено 20 світлодіодів, що вказують на спрацьовування уставок, 2 світлодіода “Аварія” і запис даних в пам’ять.

РМТ 69 зберігає в пам’яті результати вимірювань, стан реле, стан дискретних входів, поточний час. Запис даних ведеться одночасно в дві різних області пам’яті – стандартну і швидку.

Перегляд накопичених даних здійснюється з лицевої панелі, можна зчитати з персонального комп’ютера через ММС карту ємністю 128 МБ або через інтерфейс.

Відмінні особливості РМТ 69:

- відображення результатів спостережень на колірнім моніторі;
- використання в якості носія інформації ММС карти;
- велика глибина архіву запису даних;
- паралельна обробка сигналів по вимірювальним каналам;
- наявність гальванічного розділу каналів;
- наявність вбудованих джерел живлення 24 В на кожному каналі для датчиків з уніфікованим струмовим входом;
- наявність двох інтерфейсів;
- широкі функціональні можливості (діагностика обриву ланцюга датчика; функція вилучення квадратного кореня, обчислення результатів різниці вимірів);
- прилад працює з усіма стандартними вхідними сигналами від ТЕП і з вхідними сигналами у вигляді сили і напруги постійного струму.

- прилад має дві уставки на кожен канал. Зв'язок між уставками і релейними виходами вільно конфігурується. Можна підключати всі 16 реле на одну уставку.

Контрольні тестові завдання до глави 3

1. Параметр технологічного процесу – це:

- а) значення регульованої величини;*
- б) фізичні величини, які визначають хід технологічного процесу;*
- в) сукупність технологічних параметрів*

2. Управління – це:

- а) формування керуючих дій;*
- б) дії, які направлені на підтримку або поліпшення функціонування ОУ;*
- в) вирішення завдань управління.*

3. Керуюча система – це:

- а) пристрій, режим роботи якого повинен підтримуватися ззовні спеціальними керуючими діями;*
- б) сукупність персоналу і автоматичних пристроїв, зв'язаних завданням управління;*
- в) сукупність приладів, які управляють процесом*

4. Характерною особливістю ДСП є:

- а) блоковий модульний принцип;*
- б) наявність сукупності прийомів і принципів для використання у вимірюваннях;*
- в) уніфікація сигналів.*

5. Первинні прилади (датчики) можуть видавати сигнали:

- а) уніфіковані;*
- б) не уніфіковані;*
- в) перетворені.*

6. Бувають погрішності приладів:

- а) випадкові, систематичні;*
- б) абсолютні, відносні;*
- у) промахи.*

7. Вимірювальні прилади підрозділяють на прилади:

- а) безпосередньої оцінки, порівняння;*
- б) стаціонарні, переносні;*
- в) перетворювальні, вимірні*

8. Датчик складається з частин:

- а) датчик, приймач, перетворювач;
- б) джерело живлення, приймач, генератор сигналів, вимірювальна головка;
- в) вимірювальна головка, перетворювач

9. Датчики бувають:

- а) електричні, опору, компенсаторні;
- б) генераторні, параметричні, механічні;
- в) рідкокристалічні, тверді.

10. Для вимірювання температури використовують:

- а) термометри, термометри опору, пірометри, термопари;
- б) генераторні термометри, параметричні термометри, механічні термометри;
- в) дилатометри, термометри, пірометри, термопари, терморезистори.

11. Сполучні дроти для термопар виготовляють з металів:

- а) тих же, що і термоелектроди;
- б) мідь в парі з константаном;
- в) платина в парі з родієм;
- г) хром в парі з алюмінієм

12. Вимоги до термопар:

- а) висока чутливість і надійність;
- б) надійність і стабільність;
- в) відтворюваність даних;
- г) достатній температурний діапазон.

13. Принцип дії термометрів опору заснований на властивості провідників і напівпровідників:

- а) змінювати електричний опір при зміні температури;
- б) генерувати ЕРС при зміні температури;
- в) при зміні температури не змінювати опір.

14. Принцип дії терморезисторів заснований на:

- а) властивості провідників і напівпровідників змінювати електричний опір при зміні температури;
- б) властивості провідників і напівпровідників генерувати ЕРС при зміні температури;
- в) властивості провідників і напівпровідників при зміні температури не змінювати опір.

15. Термістор – це:

- а) температурно-залежний резистор, який виготовляють з напівпровідників, що мають негативний температурний коефіцієнт;

б) температурно-незалежний резистор, який виготовляють з напівпровідників;

в) температурно-залежний резистор, який виготовляють з напівпровідників, які мають позитивний температурний коефіцієнт

16. Пірометри – це:

а) прилади для вимірювання радіаційного випромінювання;

б) прилади для вимірювання променевої енергії нагрітих тіл;

в) прилади для вимірювання теплового випромінювання

17. Термоперетворювач «Метран» застосовується для:

а) для вимірювання температури твердих тіл;

б) для вимірювання температури рідких тіл;

в) для вимірювання температури газоподібних тіл

18. Перетворювач тиску «Санфір» застосовується для вимірювання:

а) різниці тиску;

б) абсолютного і надмірного тиску;

в) розрядження.

19. Датчики с HART-протоколом передають інформацію про вимірювану величину:

а) в вигляді цифрового сигналу;

б) в вигляді аналогового сигналу;

20. Функція АЦП:

а) передача аналогового сигналу;

б) передача цифрового сигналу;

в) перетворення аналогового сигналу в цифровий.

21. Для виміру різниці тисків використовуються:

а) діафрагми;

б) сопла Вентурі;

в) сопла Каріоліса.

22. В комплект витратоміра входять:

а) діафрагма;

б) дифманометр;

в) сопло;

г) імпульсні трубки;

ГЛАВА 4 СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ ВИРОБНИЦТВОМ

4.1 Організаційно-технологічні АСУ хімічних виробництв

Виробничі процеси і системи, що управляють, складаються з багаточисельних та різноманітних елементів, які складним чином взаємодіють один з другим. Ці елементи зв'язані між собою для забезпечення обміну матерією, енергією і інформацією для отримання кінцевого результату.

Системи управління сучасними хіміко-технологічними процесами характеризуються великою кількістю технологічних параметрів для підтримки потрібного режиму роботи яких необхідне використання сучасних засобів автоматизації та регулювання.

Впровадження прогресивних технологій, які дозволяють здійснювати комплексну автоматизацію, – головне завдання прискороного розвитку хімічного виробництва.

Автоматизація виробництва – процес, при якому функції управління і контролю, що раніше виконувалися людиною, передаються приладам і автоматичним пристроям. Автоматизація є основою розвитку сучасної промисловості, генеральним напрямом технічного прогресу. Мета автоматизації полягає в підвищенні ефективності праці, поліпшенні якості готової продукції, створенні умов для оптимального використання всіх ресурсів виробництва.

Поява в пунктах управління технологічними процесами комп'ютерної техніки у складі керуючих систем розширила функціональний профіль центральних пунктів управління, їх технічні і комунікаційні можливості. У склад комп'ютерних операторських станцій входять кольорові графічні дисплеї, засоби анімації зображень, попереджувальна сигналізація, які розширюють функціональні можливості станцій управління, але і потребують додаткових знань в інформаційної галузі.

Хімічне підприємство включає групу різних виробництв, які комплексно і якнайповніше переробляють хімічну сировину.

Завдання управління на третьому ієрархічному рівні – рівні управління виробництвом – забезпечити безперебійне

функціонування підприємства з метою виконання плану по випуску заданого асортименту хімічної продукції відповідно до вимог стандартів і технічних умов.

Ефективність діяльності хімічного підприємства в цілому визначається економічними показниками. До основних показників ефективності роботи хімічного підприємства відносять: кількість (т/рік) реалізованої продукції (може бути і продуктів), її якість (оцінюється за сукупністю фізико-хімічних параметрів), експлуатаційні і капітальні витрати, включаючи витрати на створення необхідних для функціонування виробництва оборотних фондів.

Збурюючими діями, які порушують функціонування хімічного підприємства, є можливі аварії, нерівномірність надходження сировини і відвантаження готової продукції, зупинки устаткування на ремонт і так далі. Умовно до збурень можна віднести також і зміни планових завдань підприємству вищестоящими організаціями.

Система управління сучасним хімічним підприємством в цілому виконує функції перспективного і поточного планування, а також оперативного управління сукупністю виробництв, але більшою мірою на організаційному, чим на технологічному рівні. АСУП – це інтегрована автоматизована інформаційно-обчислювальна система, яка об'єднує і координує роботу систем управління всіх попередніх ступенів ієрархії хімічного підприємства.

Практично об'єднання другого (рівень виробничої ділянки) і третього рівнів приводить до створення організаційно-технологічного АСУ (АСУОТ). Остання забезпечує узгодження цілей управління технологічним і організаційним процесами на виробництві, прискорення передачі інформації, що управляє, і відповідних команд по рівнях ієрархії, підвищення достовірності і ступеня використання оперативної інформації різними ланками системи. Тобто, АСУОТ об'єднує функції АСУ ТП (АСУ агрегатами, цехами, комплексами взаємозв'язаних цехів, виробництвами і так далі) і АСУП (підсистеми управління основними і допоміжними виробництвами, управлінням збутом, тощо).

Принцип побудови АСУОТ можна прослідити на прикладі системи, що наведена на рис. 4.1.

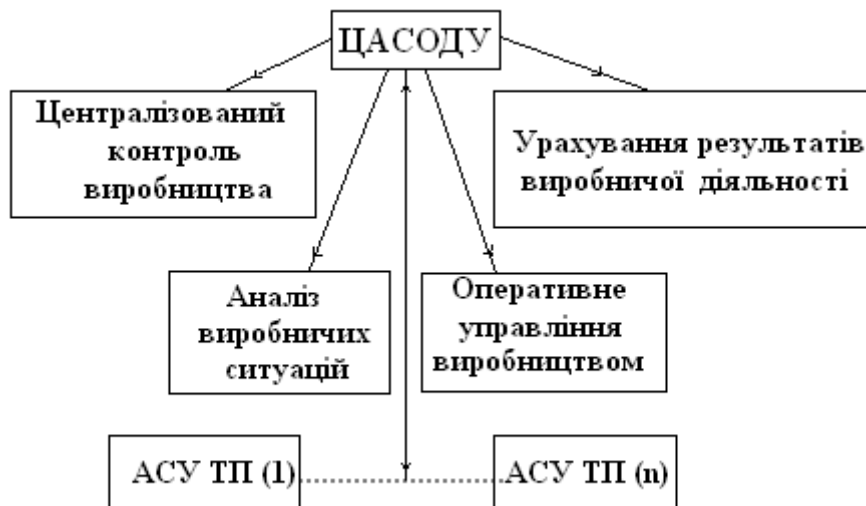


Рисунок 4.1 – Організаційно-технологічна автоматизована система управління

Ця система складається з центральної автоматизованої системи оперативно-диспетчерського управління (ЦАСОДУ), що є верхнім рівнем оперативного управління об'єднанням, і ряду систем управління на рівні виробництв і крупних цехів (окремі АСУ ТП). З'єднання ЦАСОДУ з кожною з нижче стоячих за ієрархією АСУ ТП утворює деяку пару АСУ ТП, що спільно функціонують. Мета всієї системи – забезпечити максимальну вірогідність виконання добового завдання по виробництву продукції з якнайкращими техніко-економічними показниками за умови дотримання технологічних обмежень.

Основні функції, які реалізують АСУОТ:

- 1) централізований контроль за ходом технологічних процесів;
- 2) облік результатів діяльності об'єднання за різні періоди (зміна, доба, місяць);
- 3) аналіз виробничих ситуацій і прогнозування виконання добового завдання;
- 4) оперативне управління виробництвом.

Перераховані функції властиві як ланкам нижнього ієрархічного рівня управління (АСУ цехами і виробництвами), так і ЦАСОДУ. Проте з огляду на те, що для ланок нижнього рівня об'єктом управління служать технологічні і організаційні процеси, а для ЦАСОДУ – АСУ певного рівня, згадані функції на різних рівнях мають різний зміст. Так, в ЦАСОДУ підлягають контролю лише найважливіші параметри, які характеризують ситуації, що

приводять до невиконання добового завдання або порушення міжвиробничих зв'язків, тоді як в системах нижнього рівня контролюються технологічні параметри по окремих агрегатах. Функція обліку в ЦАСОДУ реалізується на основі збалансованих міжвиробничих матеріальних потоків, а в системах нижнього рівня – тільки на базі інформації, отриманої від власного об'єкту управління.

Взаємодія ланок АСУОТ досягається узгодженням інформаційних масивів, розробкою пристроїв сполучення технологічних засобів обміну інформацією між системами різних рівнів і так далі.

Інформація, що поступає в ЦАСОДУ з нижче стоячих ланок АСУОТ, агрегується за часом і масивам. Організація взаємодії між ланками АСУОТ проводиться в режимі, при якому ініціатива належить верхньому рівню, тобто ЦАСОДУ запрошує необхідну інформацію або передає дії, що управляють. Вибір частоти звернення до системи нижнього рівня залежить від динаміки виробництва. Системи нижнього рівня обслуговують отриманий запит або сприймають інформацію, що управляє.

АСУП функціонує з використанням великих ЕОМ, що володіють розвиненою пам'яттю і значною швидкістю. Ефективність роботи системи визначається надійністю функціонування її технічних засобів, досконалістю програмного забезпечення машин і засобів зв'язку оператора-технолога з виконавчими механізмами.

Слід відмітити, що автоматизована система управління підприємством є однією з ланок системи вищого ієрархічного рівню – АСУ галуззю.

4.2 Основи розробки АСУ ТП

4.2.1. Методика аналізу хіміко-технологічного процесу як ТОУ

Створення автоматизованих систем управління сучасним хіміко-технологічним виробництвом є складними завданням, яке потребує певних знань та навиків як в галузі хімічних технологій так і в теорії та практиці автоматичного керування.

Першим кроком у розробці АСУ ТП є визначення властивостей хіміко-технологічного процесу (ХТП), який підлягає автоматизації, аналіз останнього як технологічного об'єкту управління. Загально прийнята методика аналізу хіміко-технологічного процесу як ТОУ включає набір визначених кроків, які полегшують процес автоматизації будь якого технологічного процесу. Ці кроки наведені нижче.

1. Визначення критерію ефективності ТОУ.

- *Для виробництв* – це, як правило, економічні критерії максимізації прибутку або мінімізації собівартості продукції.
- *Для технологічних процесів* – це технологічні критерії максимізації якості або виходу цільового продукту.

2. Розробка математичного опису процесу як об'єкту управління в статичній і динамічній.

- При розробці математичного опису складних ХТП прагнуть до створення найбільш простих моделей.
- Будують не повні і вичерпні математичні моделі, а достатні для вирішення завдань управління.

3. Математичне моделювання і дослідження статичних режимів ТОУ.

- *Основні методи створення математичного опису для цілей управління* – аналітичні; статистичні (регресійні, методи групового обліку аргументів); моделі на основі нечітких методів.

- *Дослідження статичних характеристик ТОУ*, на підставі якого визначають:

- можливі діапазони варіювання параметрів при управлінні;
- можливе число стаціонарних станів процесу;
- аналіз стійкості стаціонарних станів процесу;
- вплив основних режимних параметрів на робочі області ТОУ;

- *Дослідження нелінійності коефіцієнтів посилення і можливості лінеаризації статичних характеристик* і так далі.

4. Побудова інформаційної схеми ТОУ.

Інформаційна схема ТОУ – це схема, що показує вхідні і вихідні змінні ТОУ і їх зв'язки (рис.4.2).

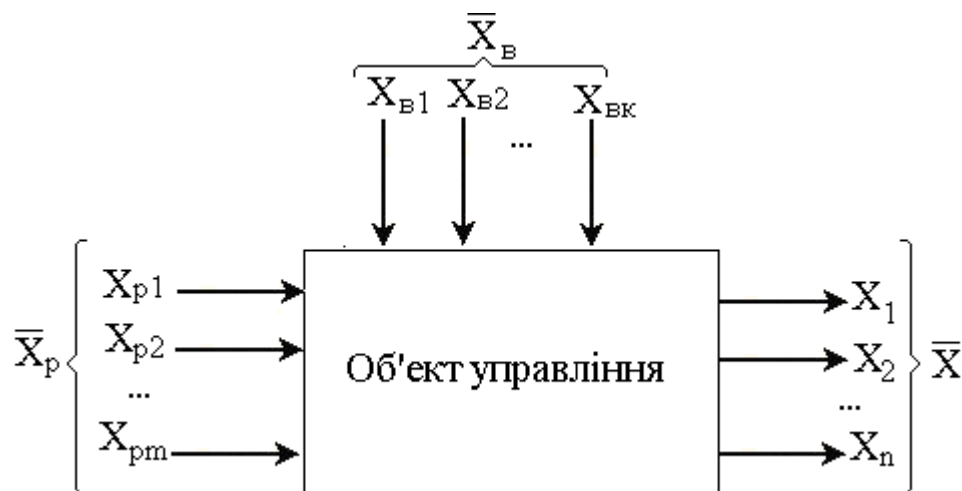


Рисунок 4.2 – Інформаційна схема ТОУ

Технологічний процес як об'єкт управління характеризується вхідними і вихідними змінними. На структурній схемі об'єкту управління виділяються відповідні групи змінних.

\bar{X} – вектор вихідних змінних, що характеризує стан процесу. Ці параметри називають керованими (регульованими) параметрами. Це такі параметри, як температура, тиск, склад, концентрація, витрата і тому подібне.

\bar{X}_p – вектор вхідних змінних, називаних діями, що управляють (регулюючими). До них відносяться параметри, за допомогою яких можна змінювати матеріальні і енергетичні потоки, в основному це витрата, тиск, температура, тощо.

\bar{X}_e – вектор вхідних змінних, так званих збурюючих дій, які є зовнішніми діями по відношенню до об'єкту. Ці параметри пов'язані із зміною режимів роботи процесу і зовнішнього середовища такі, як зміна витрат, температур, тиску, складу сировини і тому подібне.

Змінні процесу зв'язані між собою функціональними залежностями. Розглядаються також їх зміни в часі. Відповідно, має бути вирішене завдання аналізу системи, що визначає стан об'єкту як функції регулювання, збурюючих параметрів і часу:

$$\bar{X} = F(\bar{X}_p, \bar{X}_e, t),$$

і завдання синтезу, розрахунку регулюючих дій відповідно до заданого критерію:

$$\bar{X}_p = Y(\bar{X}, \bar{X}_e, t)$$

Побудова інформаційної схеми можлива на основі математичного опису (при розробці нових технологій) або на основі інформації про експлуатацію об'єкту (при модернізації системи управління).

5. Аналіз інформаційної схеми.

На даному етапі виконується аналіз інформаційної схеми на предмет класифікації вхідних і вихідних дій на наступні групи:

- Можливі збурюючі дії.
- Можливі дії, що управляють.
- Найбільш доцільні керовані змінні.

Здійснюється вибір можливих каналів управління.

6. Математичний опис динаміки ТОУ.

• Складається математичний опис динаміки об'єкту по можливих каналах управління.

• Виконується дослідження динаміки можливих каналів управління.

• Виконується вибір найбільш доцільних каналів управління .

• Складається структурна схема системи управління.

7. Вибір параметрів контролю, сигналізації і захисту.

На цьому етапі обирається певне обладнання (датчики, устрої, виконуючі механізми, регулюючі органи), яке відповідає обраної системі управління.

4.2.2. Розробка АСУ ТП в інструментальному середовищі SCADA

Як вказувалося вище, створення автоматизованих систем управління є складними завданням. Однак поява систем для проектування, побудови та функціонування сучасних АСУ ТП, наприклад таких як SCADA-системи, значно полегшують роботу щодо розробці автоматизованих систем управління будь яким виробництвом.

З формуванням концепції відкритих систем, наприклад таких як SCADA-системи, програмні засоби для операторських станцій стали самостійним продуктом, який вільно компонується з програмно-технічними засобами різних виробників.

Сучасні SCADA-системи добре структуровані і мають готові до застосування і узгоджені по функціях і інтерфейсах набори програмних

продуктів і допоміжних компонентів. У мережевих системах засобами SCADA реалізуються станції різного функціонального призначення, які взаємодіють між собою в АСУ ТП. Вони мають різну номенклатуру: станції-сервери і станції-клієнти, станції спостереження (моніторингу) для керівних працівників, спеціальні станції архівації і документування даних і подій, тощо.

У SCADA-системах широко застосовується принцип модульної побудови, що реалізовується в двох основних варіантах. У першому варіанті для системи, що забезпечує повний набір базових функцій, створюються додаткові пакети-опції, що реалізують не обов'язкові у застосуванні функції контролю і управління, наприклад SPC, Batch Control. У другому – система створюється з функціональних модулів, що реалізують окремі функції контролю і управління. Модулі певною мірою незалежні і можуть застосовуватися на окремих функціональних станціях або вільно компонуватися в різних поєднаннях при розробці станцій. Таким чином можуть створюватися станції спостереження, станції «сліпий вузол» (концентратор даних в мережі), станції з вільно формованим набором функцій і так далі.

SCADA-програми складаються з двох взаємозалежних частин: Run Time і Development, які спираються на можливості операційної системи, в якій працює SCADA-програма. Прив'язка можливостей, закладених в Run Time, до конкретного об'єкту (інжиніринг) здійснюється за допомогою інструментальної частини (Development). Сукупністю SCADA-програми і операційної системи є симбіоз, який називається програмним забезпеченням (ПЗ).

В цілому процес побудови АСУ ТП на основі різних SCADA-систем дуже схожий і полягає в наступному. На основі системного і ергономічного аналізів розробляється архітектура системи автоматизації в цілому і на цьому етапі визначається функціональне призначення кожного елементу системи, зокрема необхідність і можливість підтримки розподіленої архітектури. Кожен елемент наповнюється алгоритмами, сукупність яких необхідна і достатня для вирішення поставленого завдання автоматизації. Потім слідує відлагодження створених прикладних програм в режимі емуляції і в реальному режимі.

Процес ділення систем на частини (підсистеми) виконується менеджером проекту. В результаті, зазвичай, виходить ієрархічна

структура – дерево системи, яке показує сопідлеглість її частин. Таке ділення може бути довільним і використовується як спосіб подолання труднощів, пов'язаних із збором і обробкою інформації. Але воно повинне проводитися на основі принципу ефективності, зокрема, враховувати особливості середовища реалізації і функціонування проекту.

Інструментальне програмне забезпечення ПЗ зводить основну частину розробки конкретного проекту до параметризації (заповненню баз даних) і рисуванню відеограм – роботам, які здатний виконати будь-який достатньо грамотний користувач комп'ютера, що пройшов навчання. У наш час інженери-технологи і фахівці з автоматизації володіють достатнім професіоналізмом у використанні комп'ютерів. Однак, навиків професійного використання комп'ютера для забезпечити необхідної розробки і функціонування пунктів управління АСУ ТП недостатньо. Тому, в сучасній системі навчання інженерів хіміків-технологів особливе місце повинне зайняти придбання практичних навиків проектування систем управління технологічним процесом.

Проектування слід розглядати як процес управління із зворотним зв'язком: результати проектування порівнюються з технічним завданням, що формує вимоги до об'єкту, а якщо вони не збігаються, то цикл проектування повторюється до тих пір, доки відхилення створеного прототипу від технічних вимог не опиняться в допустимих межах.

Автоматизація полягає в тому, що єдина система розділяється на окремі частини, встановлюються можливі варіанти реалізації цих частин, зв'язків між ними і на заданій безлічі варіантів вибирається структура системи, що відповідає вимогам максимуму ефективності. Побудова АСУ ТП на основі будь-якої SCADA-системи різко скорочує набір необхідних знань в області класичного програмування, дозволяючи концентрувати зусилля в прикладній області, що є важливим у процесі навчання фахівців-технологів, які не мають глибоких знань у галузі програмування

Вирішення завдань автоматизованого проектування базується на чисельних процедурах, що реалізуються за допомогою ЕОМ. Прикладне програмне забезпечення системи автоматичного проектування (САПР) включає пакети прикладних програм (ППП) і апаратні засоби підтримки обчислювальних операцій, що

проводяться в процесі автоматизованого моделювання і проектування систем управління.

ППП – це функціонально закінчені комплекси взаємозв'язаних програм, що розраховані на масове застосування, яке дозволяє істотно збільшити продуктивність праці фахівців, зайнятих розробкою і використанням програм для вирішення достатньо складних завдань.

Для спілкування з проектувальниками в САПР використовуються засоби ведення діалогу і засоби отримання документів. Типовий приклад діалогу – введення даних на екран монітора, переведення ЕОМ в режим очікування відповіді і продовження діалогу після його отримання. «Діалоговий режим» спілкування практично на всіх ЕОМ забезпечується моніторами, для документування застосовуються різні графічні пристрої.

Однією з SCADA-систем є TRACE MODE 6 – програмний комплекс, призначений для розробки і запуску в реальному часі розподілених систем управління технологічними процесами та вирішення ряду завдань управління підприємством у цілому. Для вирішення завдань АСУТП в TRACE MODE 6 вбудований інтегрований пакет T-FACTORI, який має значну кількість специфічних каналів. Наприклад, канал класу М-Ресурс призначений для обліку будь-якого виду матеріального ресурсу у фізичному і вартісному виразі, канал типу «Одиниця обладнання» – для обліку обладнання та обрахування характеристик останнього тощо.

Комплекс програм TRACE MODE 6 поділяється на три частини. Перша – інтегроване середовище розробки проекту (ІС) – єдина програмна оболонка, що містить всі необхідні дані для створення проекту. Результатом розробки проекту в ІС є створення файлів, що містять необхідну інформацію про алгоритми роботи автоматизованої системи управління (АСУ). Зазначені файли розміщуються на апаратних засобах (комп'ютерах, контролерах) і виконуються під керівництвом виконавчих модулів TRACE MODE. Друга – виконавчі модулі, тобто програмні модулі різного призначення, під керуванням яких у реальному часі виконуються складові частини проекту, які розміщені на апаратних засобах. Третя – драйвери обміну, які використовуються моніторами TRACE MODE для взаємодії з пристроями, протоколи обміну з якими не є вбудованими в монітори.

Програмний пакет TRACE MODE – сучасний складний пакет, для вивчення якого потрібен час. Однак, його великою перевагою є те, що він містить функцію «Швидкий старт», який дозволяє без ретельного вивчення всієї документації, що поставляється з програмним пакетом, почати працювати у інтегрованому середовищі розробки. Це важливо при виборі програм для вивчення у рамках обмеженого часу, наприклад при вивченні навчальної дисципліни з автоматизації.

У рамках «Швидкого старту» розробляється кілька проектів, з яких можливо почати вивчення програми TRACE MODE 6. Ці проекти (створення найпростішого проекту, створення вузла АРМ (автоматизованого робочого місця), додавання функцій управління та багато інших) дозволять навіть студентам на лабораторних та практичних заняттях навчитися проектувати автоматизовані системи управління виробництвом, починаючи з простіших і підвищуючи складність завдання від проекту до проекту (простий, стандартний, комплексний).

Починати навчання слід з того, що для виконання будь-якого проекту необхідно завантажити програмне забезпечення TRACE MODE 6, у діалоговому вікні обрати тип проекту (простий, стандартний, комплексний) і почати працювати над обраним проектом у діалоговому режимі з програмою.

Програма TRACE MODE 6 дозволяє створювати як простіші системи керування технологічними параметрами, так і складні системи автоматизованого управління технологічними процесами аж до систем управління підприємством.

На рис. 4.3 наведено простіший приклад створення систем керування з проекту №1 – стрілочний прилад, який працює у реальному часі.

При роботі з даним приладом можливо змінювати значення параметрів, додавати різні функції управління тощо. Тобто, програма TRACE MODE 6 дозволяє не тільки проектувати і створювати системи управління, які працюють у реальному часі, але і наочно демонструє роботу створюваних систем.

Побудова надійних і ефективних АСУ ТП з використанням SCADA-систем викликається необхідністю обліку ергономічних чинників, тобто чинників, що визначають зручність і комфортні умови ефективної діяльності людини в АСУ ТП, а відповідно – ефективне функціонування системи.

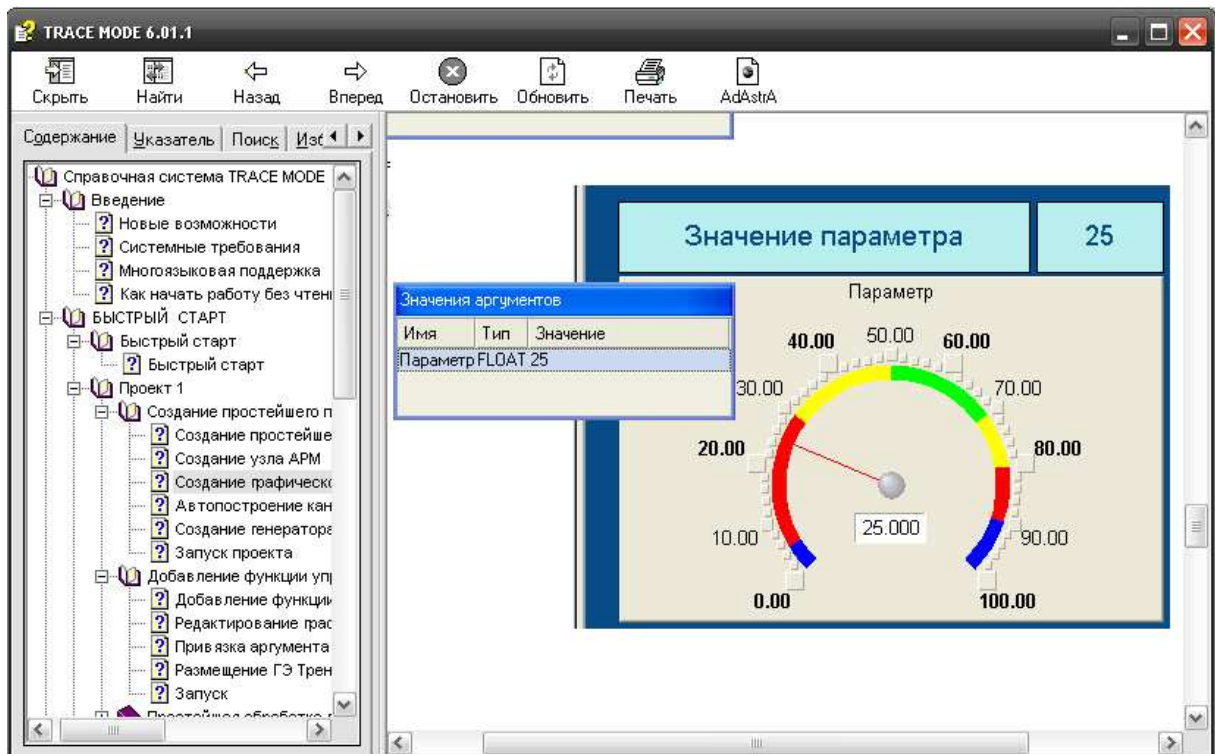


Рисунок 4.3 – Діалогове вікно TRACE MODE 6

Слід зазначити, не дивлячись на високий рівень розвитку систем автоматичного управління, останнє слово при ухваленні рішень часто залишається за оператором. Знання і кваліфікація користувача, специфічна його здатність реагувати на несподіване і непередбачене, вносити нововведення і добиватися мети наперекір труднощам – істотні для ефективності системи і обов'язково повинні враховуватися розробником.

При виборі варіанту побудови проекту важливою є колективна робота над проектом, ефективний розподіл навантаження по створенню проекту між розробниками, можливість використовувати стандартні рішення. Це дозволяє в інтегрованому середовищі розробки TRACE MODE 6 проводити арбітраж змін, що вносяться кожним розробником, синхронізувати правки, що вносяться до проекту, надавати клієнтам оновлену інформацію. В TRACE MODE 6 передбачений контроль цілісності проекту. Історія правок зберігається в backup файли, так що при збої при користуванні є можливість «відкоту» до останньої збереженої версії.

Контрольні тестові завдання до глави 4

1. *Організаційно-технологічна автоматизована система управління включає:*

- а) централізований контроль виробництва, врахування результатів виробничої діяльності, аналіз виробничих ситуацій; оперативне управління виробництвом, УСУ ТП;
- б) організаційну структуру підприємства, АСУ ТП;
- в) організаційно-технологічну структуру підприємства, АСУ ТП основних виробництв.

2. *ЦАСОДУ – це:*

- а) центральна автоматизована система оперативно-диспетчерського управління;
- б) центральна автоматизована система організаційно-технологічного управління датчиками;
- в) центральна авторизована система управління диспетчерськими установками.

3. *Критерії ефективності ТООУ для виробництв:*

- а) економічні критерії максимізації прибутку;
- б) технологічні критерії максимізації якості;
- в) економічні критерії мінімізації втрат.

4. *При розробці математичного опису ХТП прагнуть до:*

- а) створення найбільш простих моделей;
- б) створення найбільш повних моделей;
- в) створення моделей, достатніх для вирішення питань автоматизації.

5. *Можливі діапазони варіювання параметрів при управлінні визначають:*

- а) дослідженням нелінійності коефіцієнтів посилення;
- б) дослідженням можливості лінеаризації статичних характеристик;
- в) дослідженням статичних характеристик ТООУ.

6. *Інформаційна схема ТООУ – це схема:*

- а) автоматизації окремих ланок системи;
- б) що показує вхідні і вихідні змінні ТООУ і їх зв'язки;
- в) в якій наведені інформаційні потоки виробництва.

7. *Змінні процесу:*

- а) зв'язані між собою функціональними залежностями;
- б) не зв'язані між собою функціональними залежностями;
- в) не змінюються в часі.

8. Аналіз інформаційної схеми включає:

- а) можливі збурюючі дії;
- б) можливі дії, що управляють;
- в) найбільш доцільні керовані змінні.

9. SCADA-системи – це:

- а) інтегровані системи управління;
- б) системи для проектування, побудови та функціонування сучасних АСУ ТП;
- в) програмні засоби автоматизації.

10. TRACE MODE 6 – це:

- а) програмний комплекс, призначений для розробки і запуску в реальному часі розподілених систем управління технологічними процесами;
- б) програмний комплекс для вирішення ряду завдань управління підприємством у цілому;
- в) навчальний програмний комплекс.

11. Функція «Швидкий старт» –це:

- а) пакет який дозволяє без ретельного вивчення всієї документації, що поставляється з програмним пакетом, почати працювати у інтегрованому середовищі розробки;
- б) пакет, який дозволяє прискорити виконання проекту автоматизації;
- в) опція в програмному забезпеченні для швидкого запуску проекту.

12. У рамках «Швидкого старту» розробляється:

- а) кілька проектів;
- б) один проект;
- в) окремі частини проекту.

15. Автоматизована система виконує функції:

- а) інформаційні;
- б) керуючі;
- в) допоміжні;
- г) диспетчерські;
- д) технологічні

ГЛАВА 5 РОЗПОДІЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ВИРОБНИЦТВАМИ

5.1 Інтегровані системи управління технологічними виробництвами

Підвищення ефективності виробничо-комерційної діяльності в промисловості залежить від того, потрапить чи ні потрібна інформація потрібним фахівцям в той час, коли різниця переходу рентабельного функціонування до простоїв визначається тільки ліченими хвилинами. Сучасні інформаційні системи управління технологічними виробництвами здійснюють збір, синтез та забезпечення колективного використання технологічних та комерційних знань з великої кількості джерел з усього підприємства, а також видає рекомендації щодо відповідних дій, що дозволяє підвищувати продуктивність роботи операторів.

Уніфікація операцій в рамках всього підприємства забезпечує отримання співробітникам, що працюють у різних галузях, необхідної для прийняття сучасних та обґрунтованих рішень інформації. Це дозволяє підтримувати функціонування систем та процесів на оптимальному рівні.

Для автоматизації безперервних технологічних процесів розробляються АСУ ТП, які ще називають розподільними системами управління (PCY).

PCY – це велика система управління, що поставляється у повному комплекті одним виробником. При цьому в комплект системи завжди входять контролери (процесори, що управляють), плати і модулі вводу/виведення, мережеве обладнання, робочі станції, програмне забезпечення. PCY ніколи не застосовуються для управління дискретними процесами, такими як упаковка, зварювання, розлив продукції.

Функціонально PCY відрізняються від систем ПЛК+СКАДА (PLC+SCADA), які описані вище, наступними властивостями:

- База даних розподілена між контролерами, але виглядає єдиною з погляду інженера. Саме це властивість і закладено в назву "розподільна система управління".

- Операторський інтерфейс тісно інтегрований в систему. На відміну від програмного забезпечення SCADA, яке потрібно

"прив'язувати" до апаратних засобів, в РСУ все працює відразу після включення живлення і без будь-якого налаштування.

- Інтенсивна і обширна обробка тривог (алармів) і подій реалізується також без яких-небудь зусиль з боку розробника.

- Є можливість вести розробку конфігурації і вносити зміни on-line, не зупиняючи процесу управління.

- Можливість замінювати устаткування системи, що вийшло з ладу, і розширювати систему новими вузлами і платами без відключення живлення.

- Глибока діагностика від рівня операторського інтерфейсу до окремого каналу введення/виведення без якого-небудь налаштування.

- Можливість резервування будь-якого компонента системи (контролер, модуль вводу/виведення, операторські станції) на апаратному рівні і без якого-небудь налаштування програмного забезпечення.

Тобто, вказані властивості роблять початкову ціну РСУ декілька вищою в порівнянні з ПЛК+СКАДА, але значно знижує час розробки і впровадження автоматизованої системи. Вказані вище властивості відносяться до класичних РСУ (DCS) - TDC3000, PlantScape фірми Honeywell; I/A Series фірми Foxboro; CENTUM CS3000 фірми Yokogawa.

Найбільш відомі в Україні компанії – виробники РСУ (DCS): Foxboro (I/A Series); Honeywell (PlantScape); Fisher-Rosemount (Delta-V); ABB (Symphony); Yokogawa (Centum XL); Valmet (Dimatic)

Виробники хімічної продукції при впровадженні у виробництво автоматизованих систем управління можуть обирати системи автоматизовані управління різних виробників, що працюють на ринку України. Нижче розглянемо системи автоматизації хіміко-технологічних процесів, що пропонуються найбільш відомими фірмами.

5.2 Промислові автоматизовані системи управління технологічними процесами

5.2.1. Автоматизовані системи фірми Honeywell

Фірма Honeywell, що працює більш ніж у 100 країнах, є провідним постачальником новітніх технологій у галузі автоматизації. В числі найбільших українських хімічних підприємств, що впровадили у себе технології Honeywell, є Одеський припортовий завод, концерн «Стирол», АО «Ексімнафтопродукт», Черкаський ПАТ «ДнепрАзот», Дніпродзержинський ПАТ «АЗОТ» та інші підприємства газопостачальної, енергетичної, харчовій галузей.

Технології, що пропонує Honeywell сприяють підвищенню продуктивності, економії електроенергії та підвищенню безпеки. Унікальна особливість систем Honeywell заключається в їх здатності розширювати можливості виробництва за рахунок використання сучасного обладнання – від рівня датчика до управління виробництвом та загальнозаводської оптимізації.

Архітектура Experion фірми Honeywell. Уніфікована архітектура Experion фірми Honeywell поєднує у собі новітні технології РСУ з сучасними додатками, призначеними для технологічних та усіх зв'язаних з ними операціями, що виконуються різними підрозділами підприємства (рис.5.1).

Платформа Experion включає додатки, які спрямовані на підвищення потужності технологічних процесів, забезпечення гнучкості виробництва та комерційної діяльності, ефективного використання обладнання та персоналу.

Платформа Experion складається з чотирьох рівнів перший з яких – рівень датчиків, мікроконтролерів, виконуючих пристроїв та органів. Другий рівень – рівень управління та оптимізації технологічних процесів (автоматизовані робочі місця операторів – АРМ). Третій – управління активами підприємства, моделювання процесу, аналіз подій. Четвертий рівень – рівень управління підприємством, який реалізується застосуванням додатків рівня підприємства (MES, KPI's, SAP, тощо).

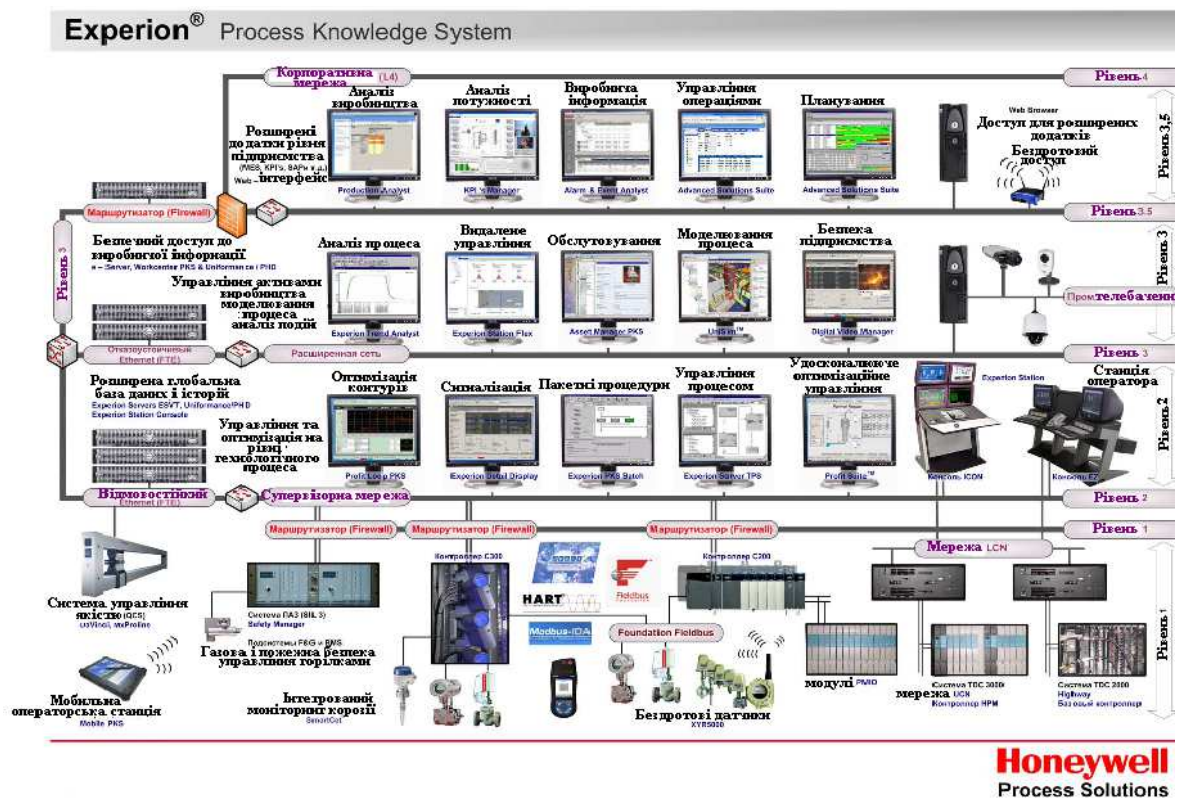


Рисунок 5.1 – Архітектура системи Experion PKS

Програмне середовище контролю та управління (Control Execution Environment (CEE)) є основою для роботи контролерів Experion та забезпечує детерміноване та надійне середовище здійснення та планування для декількох платформ Honeywell. Воно включає:

- Контролери процесів/Process Controller C300 та C200.
- Вузол управління додатками/Application Control Execution (ACE).
- Середовище моделювання/Simulation Environment C200.

Побудова, інтеграція і контроль стратегій управління можуть легко здійснюватися за допомогою інструментального засобу проектування Control Builder (Будівельник управління). Засіб Control Builder забезпечує також конфігурацію та інтеграцію сигналізацій та подій, які можуть віддзеркалюватися операторами на дисплеї зведень сигналізації на робочій станції Experion Station.

Контролери C300 та C200 є інтегрованими додатками автоматичного регулювання, швидких логічних схем, послідовного управління і управління періодичними процесами.

Платформа управління вузлом «Управління додатками» (ACE) являє собою ПК-вузол для управління додатками. Вузол АСУ ідеально підходить для диспетчерського (супервізорного)

управління та забезпечення інтеграції з системами та устроями інших фірм.

Середовище моделювання C200 (SIM-C200) дублює роботу системи на ПК не потребуючи видалених апаратних контролерів або підключень до процесу.

Відмовостійкий Ethernet/Fault Tolerant Ethernet підвищує ефективність роботи промислового підприємства. Fault Tolerant Ethernet (FTE) є недорогим високо потужним мережевим рішенням для промислового підприємства та забезпечує високу безпеку роботи системи.

Відеосистема, якою оснащені системи Honeywell дозволяє операторам проглядати реальне відео з будь якого місці процесу.

Алгоритм прогнозуючого регулювання забезпечує оптимальне управління шляхом використання емпіричної моделі динаміки процесу для прогнозування впливу минулих, сучасних та майбутніх управляючих дій на параметри, що регулюють.

Honeywell інтегрує в систему логічні функції управління нештатними ситуаціями для скорочення відмов обладнання.

Сервер є обов'язковим компонентом системи Experion. Для забезпечення роботи системи Experion потрібен один або більше серверів. У складі ПЗ сервера є База даних реального часу, у якій зберігається наступна інформація:

- оперативні дані, які зчитуються з контролерів;
- історія процесу;
- аварійні події;
- дані про стан системи;
- дані конфігурації;
- структури для зберігання інформації.

Система PlantScape фірми Honeywell. Основними компонентами системи PlantScape (Honeywell) є:

- гібридний контролер для дискретного управління і управління інтегрованим процесом;
- функціональний сервер;
- операторський інтерфейс (HMI);
- програмне забезпечення сервера і контролерів;
- мережі управління ControlNet.

Компоненти системи PlantScape були розроблені так, щоб функціонувати як єдина високо оптимізована система, забезпечуючи виконання таких функцій і таку ефективність, які

зазвичай недоступні для систем із слабким взаємозв'язком людино-машинного інтерфейсу (HMI) і програмованих логічних контролерів (PLC). Процесори системи підтримують до 64 модулів вводу/виведення незалежно від щільності модулів. Максимальна кількість аналогових модулів – 32. Модулі вводу/виведення можуть бути розміщені як локально, так і видалено. Архітектура системи PlantScape представлена на рис.5.2.

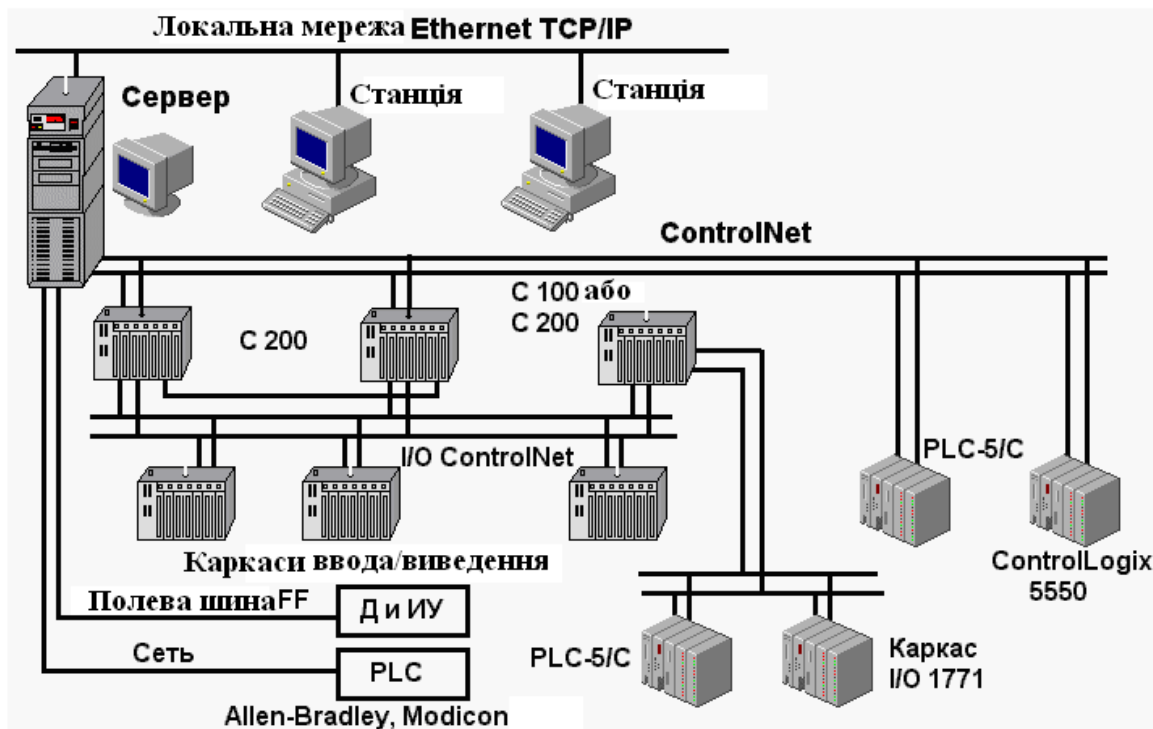


Рисунок 5.2 – Архітектура системи PlantScape

Взаємодія компонентів системи на рівні управління здійснюється за допомогою відкритої мережі ControlNet, яка забезпечує зв'язок контролерів з сервером, контролерів між собою і контролерів з вводом/виведенням. По цій мережі сервер отримує дані з контролерів для оновлення дисплеїв, здійснює збір історичних даних і інформації про аларми. ПЗ Control Builder користується цією мережею для завантаження і моніторингу алгоритмів управління. Пропускна спроможність мережі ControlNet з урахуванням резервування складає 5 Мбіт/с і характеризується можливістю детермінованої передачі даних. З фізичної точки зору засобом передачі даних є коаксіальний кабель з підтримкою шинної топології типу «магістралі з відгалуженнями». Максимальна довжина кабелю залежить від кількості розгалуджувачів і може досягати 6 км. Використання додаткових волоконно-оптичних

подовжувачів ControlNet дозволяє збільшити довжину мережі до 22 км.

Система PlantScape може бути інтегрована з контролерами різних фірм-виробників. Ця взаємодія може бути реалізована двома шляхами: через мережу ControlNet і безпосередньо через сервер.

Для того, щоб пристрої могли зв'язуватися один з одним через мережу ControlNet, потрібно використовувати протокол, зрозумілий обом пристроям. На сьогоднішній день такими протоколами є ControlNet і DH+, підтримувані деякими пристроями фірми Allen-Bradley. До них відносяться PLC-5/C, і ControlLogix5550, що підтримують мережу ControlNet, а також PLC-5 на DH+. Крім того, система PlantScape має вбудовану комунікацію Foundation Fieldbus (FF H1), підтримувану сервером.

Система Plant Scape побудована по модульному принципу, масштабується, гнучка, є ефективною з точки зору капіталовкладення платформою на базі Windows NT для вирішення задач комбінованого управління, таких як аналогове управління, швидка логіка, управління послідовними й періодичними процесами, управління обладнанням та вирішення питань, пов'язаних з охороною навколишнього середовища, а також задач безпеки технологічних процесів. Вона включає повний набір призначених для користувача інтерфейсів та засобів обробки сигналів, а також має обширні можливості для створення архівів, трендів, підготовки та видачі звітів. Система характеризується високою ступінню інтеграції, що гарантує її швидке впровадження, простоту експлуатації та цілісність даних.

Ядром Plant Scape Vista є потужна відкрита система клієнт/сервер на базі Microsoft Windows. Її архітектура містить високопродуктивний контролер, розвинуті інженерні засоби та відкриту мережу управління.

Plant Scape використовує найновіші технології, такі як:

- 1) могутній сервер з динамічним кешуванням даних, аварійною сигналізацією, людино-машинним інтерфейсом, архівуванням історії та рапортами;
- 2) компактний гібридний контролер Hybrid Controller, що забезпечує реальне інтегроване управління;
- 3) об'єктно-орієнтовані засоби для швидкої та простої побудови стратегії управління багаторазового використання;

4) документацію та супровід у реальному часі на основі безпечного Internet Browsers.

Гібридний контролер HC900, що входить в систему Plant Scare, є модульним контролером, що спроектований для вирішення задач аналогового та дискретного управління невеликими технологічними установками. Контролер містить до 100 аналогових контурів регулювання, чотирьох програматорів завдання, планувальник завдання та широкий набір алгоритмів аналогового та цифрового управління і являє собою ідеальне рішення для управління барботерами, реакторами, сушарками та іншими пристроями з аналогічними вимогами до управління. Надаючи до 1920 входів/виходів, HC900 забезпечує необхідне поєднання апаратних засобів ввідів/виводів для відповідних технологічних апаратів.

Основними перевагами контролера HC900 є :

- 1) компактні розміри (висота 137 мм.);
- 2) можливе розширення до 1920 входів/виходів;
- 3) до 960 універсальних аналогових входів на кожний контролер;
- 4) можливі три конфігурації шасі – 4, 8, 12 модулів;
- 5) можливість заміни модулів під напругою;
- 6) можливість з'єднання до 8 незалежних контролерів на правах з'єднань рівноправних вузлів (PEER-to-PEER);
- 7) можливість обміну між рівноправними контролерами;
- 8) резервована центральна процесорна частина;
- 9) резервовані блоки живлення

З метою забезпечення більшої гнучкості при установці HC900 використовує окремі апаратні засоби для функцій управління та інтерфейсу оператора. У шасі контролера може бути встановлено до 12 різних модулів входів/виходів для забезпечення відповідності вимогам конкретного додатку. В операторській панелі використовується кольоровий графічний рідкокристалічний дисплей для відображення на екрані контурів управління, програм зміни завдання та стану інших аналогових і дискретних параметрів. Для конфігурування системи “Hybrid Control Designer”, використовується окрема програма конфігурування, яка працює на ПК під управлінням операційної системи Windows. Ця програма для створення стратегій управління для користувача використовує функціональні блоки, з'єднані за допомогою ліній, та підтримує

технологію Drag-and-Drop. Готова конфігурація може завантажуватися через спеціальний порт зв'язку в контролері, по мережі Ethernet, Modbus, через модем чи флоп-диск, який вбудований в операторську панель.

Функції HC900:

- 1) до 100 ПД - чи дискретних (ON/OFF) контурів управління;
- 2) автоматичне настроювання кожного контуру управління;
- 3) до 960 універсальних аналогових входів;
- 4) збереження профілів змін завдань;
- 5) планувальник завдання, збереження до 10 програм змін;
- 6) графічне конфігурування стратегії управління, яке містить до 5000 функціональних блоків;
- 7) великий набір алгоритмів для комбінування функцій аналогового та логічного управління;
- 8) розширений моніторинг подій та аварійної сигналізації;
- 9) інтерфейс оператора з вибором графічних мнемосхем;
- 10) додатковий зв'язок RS232, Ethernet, протокол TCP/IP та інші.

PlantScape Vista – сімейство технічних рішень для управління процесами, призначених для виконання усіх потреб автоматизації. Plant Scape Vista представляє собою недорогу відкриту систему управління періодичними, безперервними процесами та SCADA.

Plant Scape чудово підходить для використання у різних галузях, починаючи від невеликих систем збору даних та поточного контролю і закінчуючи управлінням складними процесами у вибухонебезпечних середовищах.

5.2.2. Автоматизовані системи фірми Yokogawa

Фірма Yokogawa (Японія) є одним з світових лідерів в галузі промислової автоматизації. Yokogawa Electric Corporation – інжинірингова компанія, що працює у галузі вимірювальної техніки та промислової автоматизації, яка у 1975 році розробила першу розподільну систему управління (PCU CENTUM).

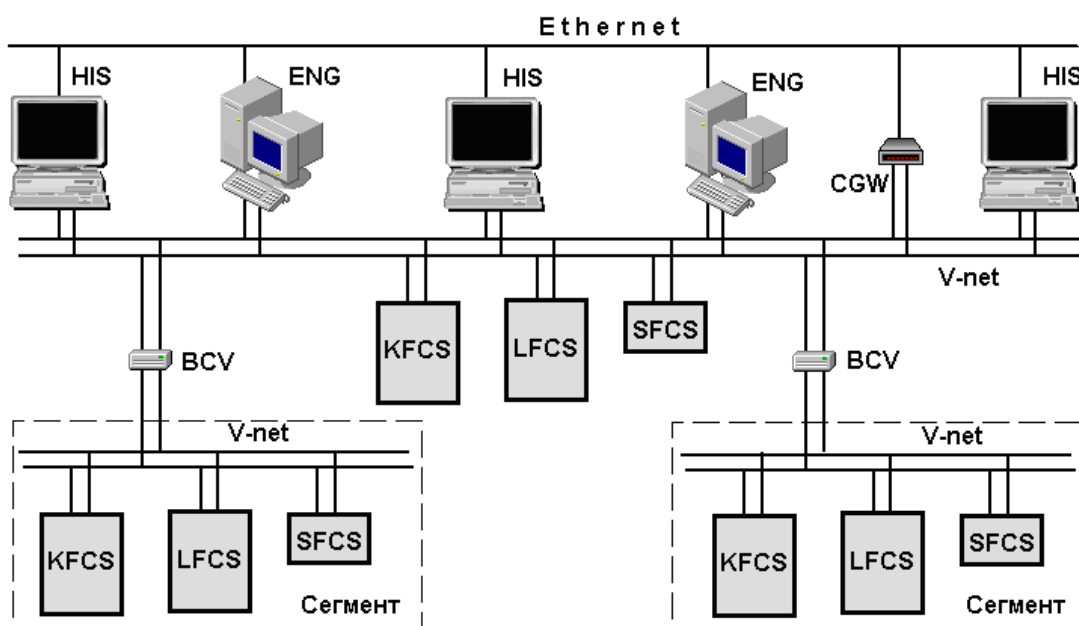
CENTUM CS3000 (Yokogawa). Система CENTUM CS3000 призначена для управління достатньо великими технологічними процесами і виробництвами. Вона гнучко масштабована і організована за доменним принципом (складається з сегментів). Система може включати до 16 доменів, кожен з яких

включає максимум 64 станції управління (з них не більше 16 станцій оператора). Максимальна кількість станцій на всю систему – 256.

Домени (сегменти) мережі об'єднуються в єдину систему управління за допомогою конвертерів шини BCV (Bus Converter). Можлива побудова ієрархічної системи (3-х рівнева шина з двома конвертерами шини). Станція оператора підтримує до 100 000 параметрів (станція LHS4000 – до 1 000 000 параметрів). Мінімальна конфігурація системи – одна станція управління і одна станція оператора. Конфігурація системи CENTUM CS3000 з декількома сегментами мережі V-net представлена на рис. 5.3.

Система має два типи станцій управління:

- стандартна станція з дубльованими мікропроцесорами CPU, що є працюючою парою (два CPU на одній платі) і резервом, з дубльованою шиною V-net і платами живлення, модулями вводу/виведення;
- компактна станція (одна шафа).



- HIS - станція оператора
- ENG - станція з функціями проектування і управління обладнанням
- CGW - блок міжмережевого інтерфейса
- BCV - перетворювач V-net / V-net для підключення нового сегмента
- KFCS - високошвидкісна станція управління
- LFCS - станція управління для систем з дистанційним вводом/виведенням
- SFCS - компактна станція управління

Рисунок 5.3 – Конфігурація системи CENTUM CS3000.

Існує два типи стандартних станцій управління:

- станція KFCS, в якій блоки FCU і вузли блоків вводу/виводу, що управляють, з'єднуються шиною ESB (розширена об'єднувальна плата) або дистанційною шиною ER;

- станція LFCS, в якій блоки FCU і вузли блоків вводу/виводу, що управляють, з'єднуються шиною RIO.

Станції KFCS призначені для високошвидкісного управління. Вони включають в свій склад наступні компоненти:

- блок управління (FCU), що включає зовнішній інтерфейс з мережею V-net, а також дубльовані процесорні плати, блоки живлення, акумуляторні батареї і інтерфейсні плати шини ESB;

- вузол блоку модулів вводу/виводу, що включає аналогові, дискретні і багатоточкові модулі вводу/виводу, інтерфейсні модулі зв'язку з блоком управління (ESB) і видаленими вузлами (ER);

- модулі зв'язку з польовою шиною (FF H1).

Є два типи вузлів блоку модулів вводу/виведення:

- локальний вузол блоку вводу/виводу, що підключається безпосередньо до блоку управління (FCU) і знаходиться в шафі станції;

- дистанційний (видалений) вузол блоку вводу/виводу з інтерфейсом Ethernet, що вмонтовується у видаленій шафі поряд з датчиками і виконавчими пристроями.

Для підключення до блоку управління локальних вузлів, що встановлюються в шафі станції управління, використовується шина ESB. Шина ESB може мати резервування, а її максимальна протяжність складає 110 м, а швидкість – 128 Мбіт/с.

Для підключення до блоку управління видалених вузлів за допомогою інтерфейсного модуля, що встановлюється в шафі станції управління, використовується шина ER. Ця шина також може бути зарезервована.

Компоненти станції управління KFCS вмонтовуються в спеціальній шафі або в стійках. Станція управління підтримує до 10 блоків вводу/виводу (до 8 модулів вводу/виводу в кожному блоці).

5.2.3. Автоматизовані системи фірми Siemens

Департамент Industrial Automation фірми Siemens (Німеччина) є постачальником продуктів, систем і рішень в галузі

автоматизації для промисловості та інфраструктури, зокрема, в спектр продукції входять різні ПЛК; розподільні системи вводу/виведення сімейства SIMATIC, промислові системи автоматизації (AS Industrial Automation Systems) такі як логічні контролери SIMATIC S7, що програмуються, HMI-додатки SIMATIC WinCC, SIMATIC WinCC flexible та ProTool; DCS-системи SIMATIC PCS 7 (у тому числі спеціалізовані BRAUMAT та CEMAT), APACS+, QUADLOG, Teleperm; MES-системи і LIMS-системи; сенсори та комунікації, польові прилади, аналітичне обладнання (SC Sensors & Communications) – засоби вимірювання витрати, тиску, рівню, температури і інших технологічних параметрів, аналізатори рідин та газів, хроматографи, масспектрометри; обладнання для підготовки й очистки води (WT Water Technologies); мережеві рішення (Ethernet/PROFInet, PROFIBUS, AS-Interface, KNX, IWLAN) під загальною маркою SIMATIC NET, тощо.

SIMATIC S7-400 (S7-300) фірми Siemens – модульний програмуємий контролер, призначений для побудови систем автоматизації середнього та високого ступеня складності.

Модульна конструкція, робота з природним охолодженням, гнучкі можливості розширення, могутні комунікаційні можливості, простота створення розподілених систем управління і зручність обслуговування роблять SIMATIC S7 ідеальним засобом для вирішення практично будь-яких завдань автоматизації.

Декілька типів центральних процесорів різної продуктивності і широкий спектр модулів з множиною вбудованих функцій істотно спрощують розробку систем автоматизації на основі SIMATIC S7.

Спрощена схема автоматизації виробництва хімічної продукції з використанням мікроконтролера SIMATIC S7-400 наведена на рис. 5.4.

Технологічні параметри (температура, тиск, рН) від відповідних датчиків через інтерфейс приєднуються до контролера, який здійснює вимір та регулювання технологічних параметрів.

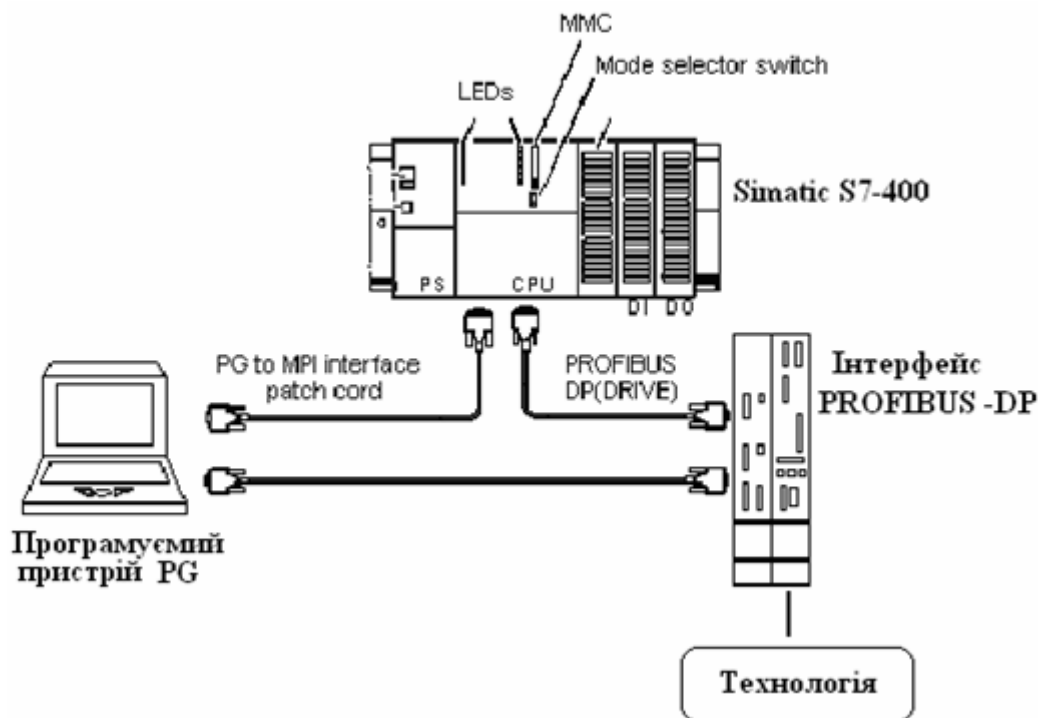


Рисунок 5.4 – Схема автоматизації виробництва

Програмуємий мікроконтролер SIMATIC S7-400 включає наступні основні компоненти (табл. 5.1)

Таблиця 5.1 – Основні компоненти SIMATIC S7-400

Назва компонентів	Функція компонентів
1	2
Джерела живлення (PS) Приладдя: буферна батарея	Перетворюють мережеву напругу (120/230В мінливого струму або 24В постійного струму) у робочу напругу 5В постійного струму і 24В постійного струму, що потрібні для живлення S7-400.
Центральні процесори (CPU)	Виконують програму користувача; обмінюються інформацією через багато точковий інтерфейс (MPI) з іншими CPU або з пристроєм програмування (PG)
Плати пам'яті	Зберігають програму користувача параметри.

Продовження табл. 5.1

1	2
Сигнальні модулі (SM) (цифрові та аналогові модулі вводу/введення)	Погоджують різні рівні сигналів від процесу з S7–400. Утворюють інтерфейс між ПЛК і процесом.
Інтерфейсні модулі (IM)	Сполучають окремі стійки S7–400 між собою.
Шинний кабель SINEC L2	Сполучає між собою різні CPU і PG.
Кабель PG	Сполучає CPU з PG.
Компоненти шини SINEC L2	Для сполучення S7–400 з іншим S7–400 або PG.
Повторювач RS 485	Підсилює інформаційні сигнали в шинному кабелі і сполучає між собою шинні сегменти.
Пристрій програмування (PG) або PC	Конфігурує, ініціалізує, програмує і тестує S7–400.
Центральні процесори (CPU) Приладдя: плата пам'яті, плати динамічної оперативної пам'яті.	Діють як процесори сумісні з AT; виконують програму користувача; обмінюються інформацією через MPI з іншими CPU або з PC/PG
Прикладні модулі (FM).	Є процесорами, сумісними з ISA для підтримки CPU.
Модулі розширення (EXM)	Служать для установки трьох інтерфейсних субмодулів (IF).
Модулі адаптера AT (ATM)	Надають слот для 16-бітового модуля AT (завдовжки до 164 мм).
Модулі масової пам'яті (MSM)	Служать для зберігання програм і даних на диску
Інтерфейсні субмодулі (IF)	Для підключення таких периферійних пристроїв, як монітор VGA, миша, клавіатура, принтер.

Система SIMATIC S7 доповнена комп'ютером для вирішення завдань автоматизації. Це надає користувачеві SIMATIC доступ до світу відкритого програмного забезпечення, або як доповнення, до ПЛК S7, або в якості незалежної комп'ютерної системи M7. Весь діапазон периферійних пристроїв S7 доступний користувачеві M7.

Комп'ютер для автоматизації M7-400 придатний для вирішення наступних типових завдань:

- збір даних про процес;
- зберігання великих об'ємів даних;
- управління введенням/виводом в локальному процесі;
- зв'язок;
- автоматичне регулювання, позиціонування, розрахунки;

Модульна конструкція, робота з природним охолодженням, можливість застосування структур локального і розподіленого введення-виводу, широкі комунікаційні можливості, безліч функцій, підтримуваних на рівні операційної системи, зручність експлуатації і обслуговування забезпечують можливість отримання рентабельних рішень для побудови систем автоматичного управління в різних областях промислового виробництва, у тому числі – хімічного.

Ефективному застосуванню контролерів сприяє можливість використання декількох типів центральних процесорів різної продуктивності, наявність широкої гама модулів введення-виводу дискретних і аналогових сигналів, функціональних модулів і комунікаційних процесорів.

SIMATIC S7-400 є універсальним контролером. Він відповідає найжорсткішим вимогам промислових стандартів, має високий ступінь електромагнітної сумісності, високу стійкість до ударних і вібраційних навантажень.

Система автоматизації S7-400 має модульну конструкцію. Вона може комплектуватися широким спектром модулів, що встановлюються в монтажних стійках у будь-якому порядку.

Програмовані контролери S7-400f/fh призначені для побудови систем безпечного управління, в яких виникнення відмов не спричиняє за собою появу небезпеки для життя обслуговуючого персоналу і не приводить до забруднення навколишнього природного середовища. S7-400h складається з двох підсистем, що забезпечують резервування, які синхронізуються через волоконно-оптичні кабелі.

Периферія для S7-400H. Для S7-400H можливо використовувати майже всі модулі введення/виводу системного ряду SIMATIC S7. Периферія може використовуватися в:

- центральних пристроях,
- пристроях розширення,
- децентралізовано через PROFIBUS DP.

Центральні процесори CPU виконують програму користувача та обмінюються інформацією через багато точковий інтерфейс (MPI) з іншими CPU або з пристроєм програмування (PG).

Приклад схеми підключення CPU представлений на рисунку 5.5, зовнішній вигляд CPU – на рисунку 5.6.

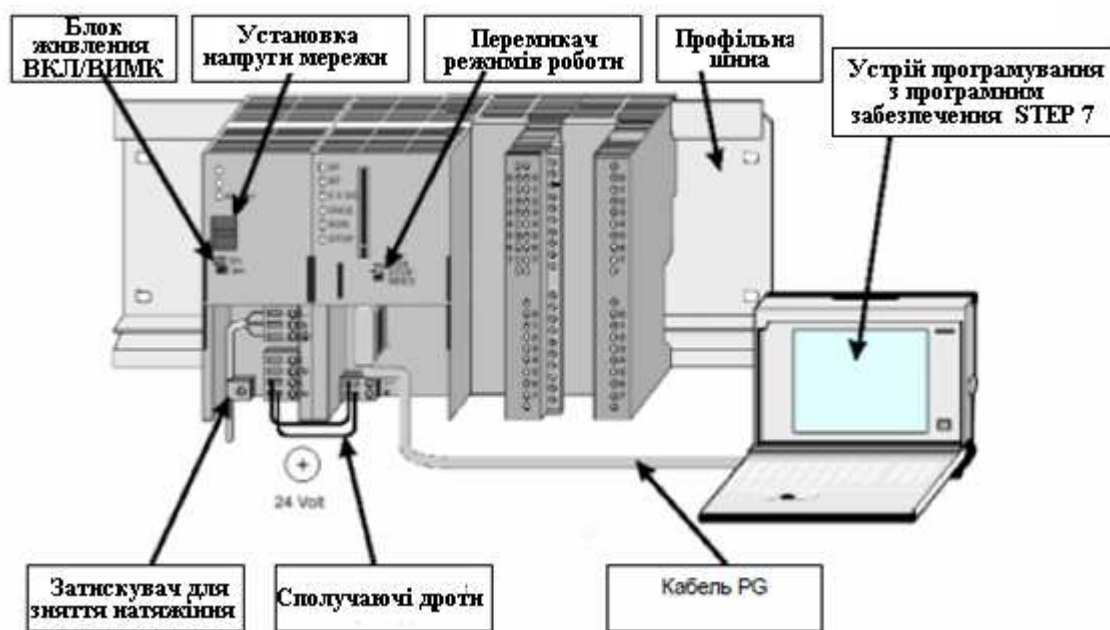


Рисунок 5.5 – Приклад підключення CPU 41X-H

Технічні дані CPU 41x (CPU 414):

Робоча пам'ять – 384 кбайт.

Вбудований запам'ятовуючий пристрій – 256 кбайт.

Флеш – пам'ять – від 1 до 64 Мбайт.

Час обробки операцій – не менш 0,1 мкс.

Центральні пристрої розширення – max. 1/121.

Кількість архівів, до яких можливо звернутися одночасно – 16.

CPU має два вбудованих інтерфейси і два інтерфейси, що вставляються.

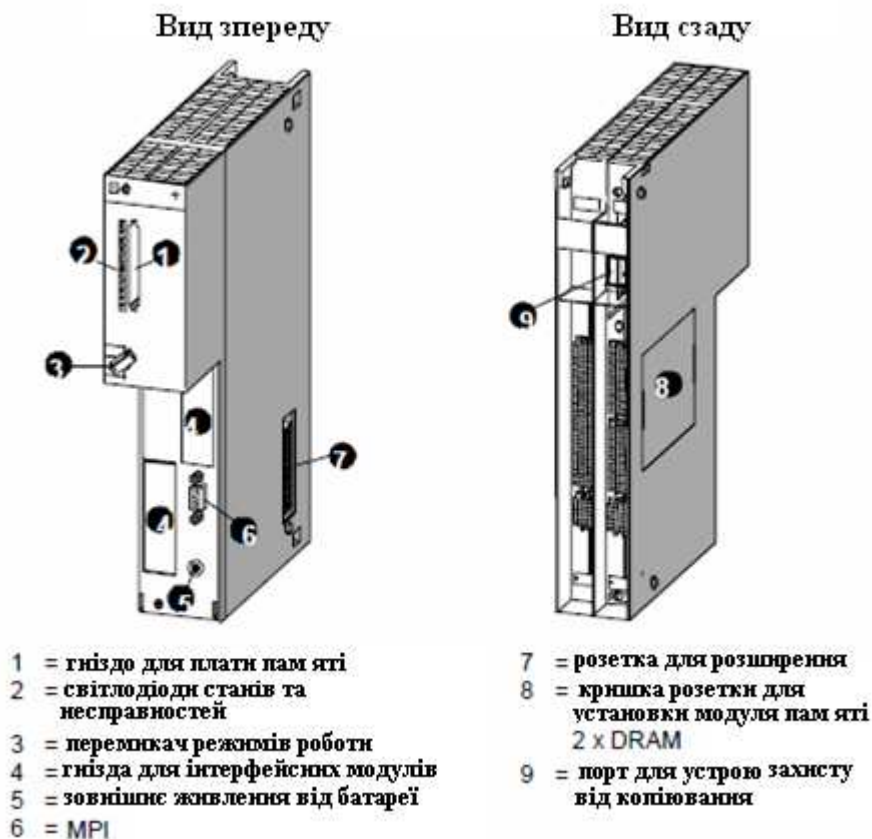


Рисунок 5.6 – Зовнішній вигляд CPU 486–Н

Багато точковий інтерфейс (MPI). До MPI можна підключити, наприклад, наступних абонентів:

- пристрої програмування (PG/PC),
- пристрої контролю і управління (OP і TD),
- додаткові програмовані контролери SIMATIC S7.

Інтерфейс PROFIBUS DP. До інтерфейсу Profibus DP можуть бути підключені все стандартні slave- пристрої DP.

Інтерфейсний субмодуль IF 964–dp. Інтерфейсний субмодуль IF 964–dp служить для приєднання децентралізованої периферії через «PROFIBUS DP». Зовнішній вигляд модулю наведений на рис. 5.7.

Субмодуль має інтерфейс RS-485 з потенційною розв'язкою. Максимальна швидкість передачі складає 12 Мбіт/с.

Допустима довжина кабелю залежить від швидкості передачі і кількості абонентів. У разі двоточкового з'єднання при швидкості 12 Мбіт/с можлива довжина кабелю 100 м, а при швидкості 9,6 Кбіт/с можлива довжина кабелю 1200 м.

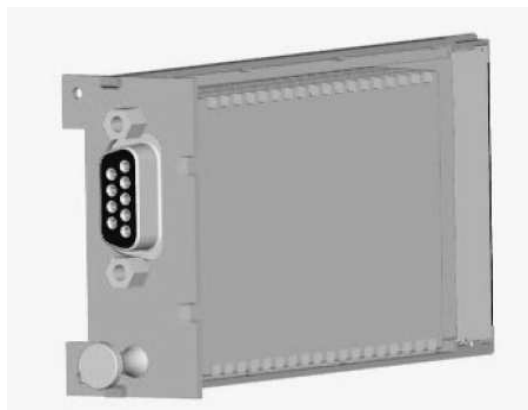


Рисунок 5.7 – Інтерфейсний субмодуль IF 964–dp

Система може бути розширена до 125 станцій. Інтерфейсний субмодуль IF 964–dp отримує живлячу напругу з CPU.

Аналогові модулі, що входять в SIMATIC S7 служать для підключення датчиків, за допомогою яких здійснюється вимір технологічних параметрів.

Розглянемо підключення, наприклад, термопар, які є чутливими елементами для виміру температури.

Комплект термопар складається з власне термопар і відповідних деталей для установки і підключення. Термопара складається з двох провідників, виготовлених з різних металів або металевих сплавів, кінці яких спаяні або зварені разом (рис.5.8).

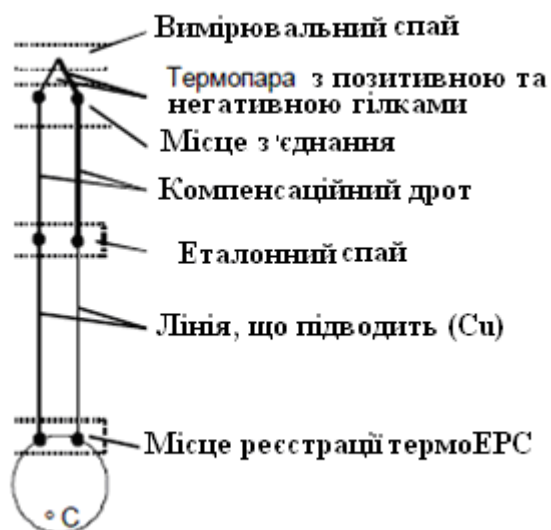


Рисунок 5.8 – Схема термопар

Існують різні типи термопар, наприклад, К, J, N, в залежності від використовуваних матеріалів, однак принцип вимірювання один і той же для всіх термопар незалежно від їх типу.

Якщо вимірювальний спай має температуру, відмінну від температури вільних кінців термопари, то на вільних кінцях з'являється напруга, звана термоелектрорушійною силою (термоЕРС). Рівень термоЕРС залежить від різниці між температурою вимірювального спаю і температурою на вільних кінцях еталонного спаю, а також від типу матеріалів, використовуваних в термопарі.

Підключають термопари до входів модуля безпосередньо або через компенсаційні дроти. Незалежно від інших каналів кожен канал може використовувати один з можливих типів термопар підтримуваних аналоговим модулем.

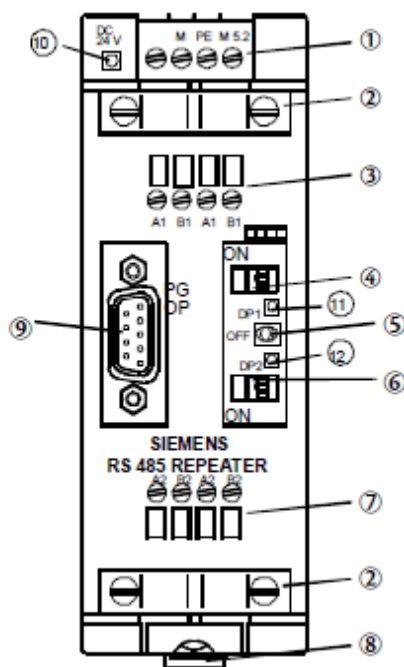
Компенсаційні дроти виготовляються з того ж матеріалу, що і електроди термопари. Дроти, що підводять, робляться з міді.

Повторювач RS 485 підсилює сигнали даних на лініях шини і зв'язує шинні сегменти між собою. Повторювач RS 485 необхідний, якщо:

- до шини підключено більше ніж 32 станції,
- шинні сегменти повинні експлуатуватися незаземленими, або перевищена максимально допустима довжина кабелю в сегменті.

Зовнішній вигляд повторювача RS 485 наведений на рис. 5.9.

Прикладом впровадження автоматизованих систем управління хімічними виробництвами фірми Siemens є реалізація проектів АСУ ТП відділення 6 цехів виробництва неконцентрованої нітратної кислоти ЗАТ «Северодонецького об'єднання Азот», АСУ ТП котлів 1 і 3 ВАТ «ДНПРОАЗОТ», АСУ ТП відділення синтезу вінілацетату-сирця цеху вінілацетату «ЗАТ Северодонецьке об'єднання АЗОТ», АСУ ТП енергоспоживанням ВАТ «Арселорміттал Кривий Ріг», які розробило науково-інноваційне підприємство «ДІЯ» (м. Дніпродзержинськ).



1 – підключення джерела живлення повторювача RS 485;
 2 – затиск для екрану для розвантаження від натягнення і заземлення шинного кабелю; 3 – підключення шинного кабелю з шинного сегменту; 4, 6 – термінатори для шинних сегментів 1 і 2; 5 – вимикач для режиму OFF [ВИМК]; 7 – підключення шинного кабелю з шинного сегменту 2; 8 – напрямна для монтажу повторювача RS 485 на стандартній профільній шині і зняття його з профільної шини; 9 – інтерфейс для PG/OP на шинному сегменті 1; 10, 11, 12 – світлодіоди.

Рисунок 5.9 – Зовнішній вигляд повторювача RS 485

АСУ ТП відділення 6 цехів виробництва неконцентрованої нітратної кислоти.

Об'єктом автоматизації з'явилися агрегати УКЛ-7 №3, №4 (у складі: газотурбінна установка ГТТ-3М і агрегат кислоти) і загально цехові виміри відділення 6 цехів виробництва неконцентрованої нітратної кислоти.

Призначення проекту – автоматизація комплексу функцій управління, регулювання, контролю і захисту, що забезпечують роботу технологічного устаткування агрегату УКЛ-7 при нормальному технологічному процесі виробництва неконцентрованої нітратної кислоти, а також при пуску і режимах зупинок (регламентних і аварійних). Структурна схема АСУ ТП представлена на рис. 5.10.

АСУ ТП складається з двох основних систем:

1. Системи нижнього рівня, що включає контрольні-вимірювальні прилади (КВП):

- протиаварійний захист (ПАЗ) у складі:

- ПАЗ агрегату УКЛ-7 №3,
- ПАЗ агрегату УКЛ-7 №4,

- дискретно-логічне і аналогове управління у складі:

- агрегат УКЛ-7 №3,
- агрегат УКЛ-7 №4,

- загально цехові виміри.

2. Системи верхнього рівня – автоматизовані робочі місця (АРМ1 – АРМ4).

Протиаварійний захист, дискретно-логічне і аналогове управління агрегатів УКЛ-7 реалізовані на резервованих контролерах високого ступеня готовності – SIMATIC S7–400h фірми Сименс.

Три робочих місця (АРМ1–АРМ2, АРМ4) оператора-технолога виконують функції управління і архівації, а автоматизоване робоче місце машиніста (АРМ3) – тільки функції контролю. АРМ1–АРМ2, АРМ4 виконані на базі індустріальних персональних комп'ютерів (ПК), всі АРМи мають два монітори для збільшення обзорності об'єкту управління.

Програмне забезпечення системи підтримує 100% гаряче резервування при відмові або відключенні одного з АРМов. АРМ1–АРМ2, АРМ4 оператора-технолога рівноцінні по виконуваних функціях, і управління здійснюється від будь-якого з них. Зв'язок АРМів і контролерів здійснюється на основі мереж SIMATIC NET.

Розроблена АСУ ТП виконує наступні функції:

- управління;

- протиаварійний захист;

- автоматична перевірка пускової готовності;

- формування необхідних технологічних блокувань по установках технологічних параметрів з визначенням першопричини і послідовності спрацьовування блокувань і захист компресора ГТТ-3М (стадія 100) і агрегату нітратної кислоти (стадія 200);

- автоматичне управління протипомпажним і перепускними клапанами компресора;

- автоматичне включення насосів масло-системи;

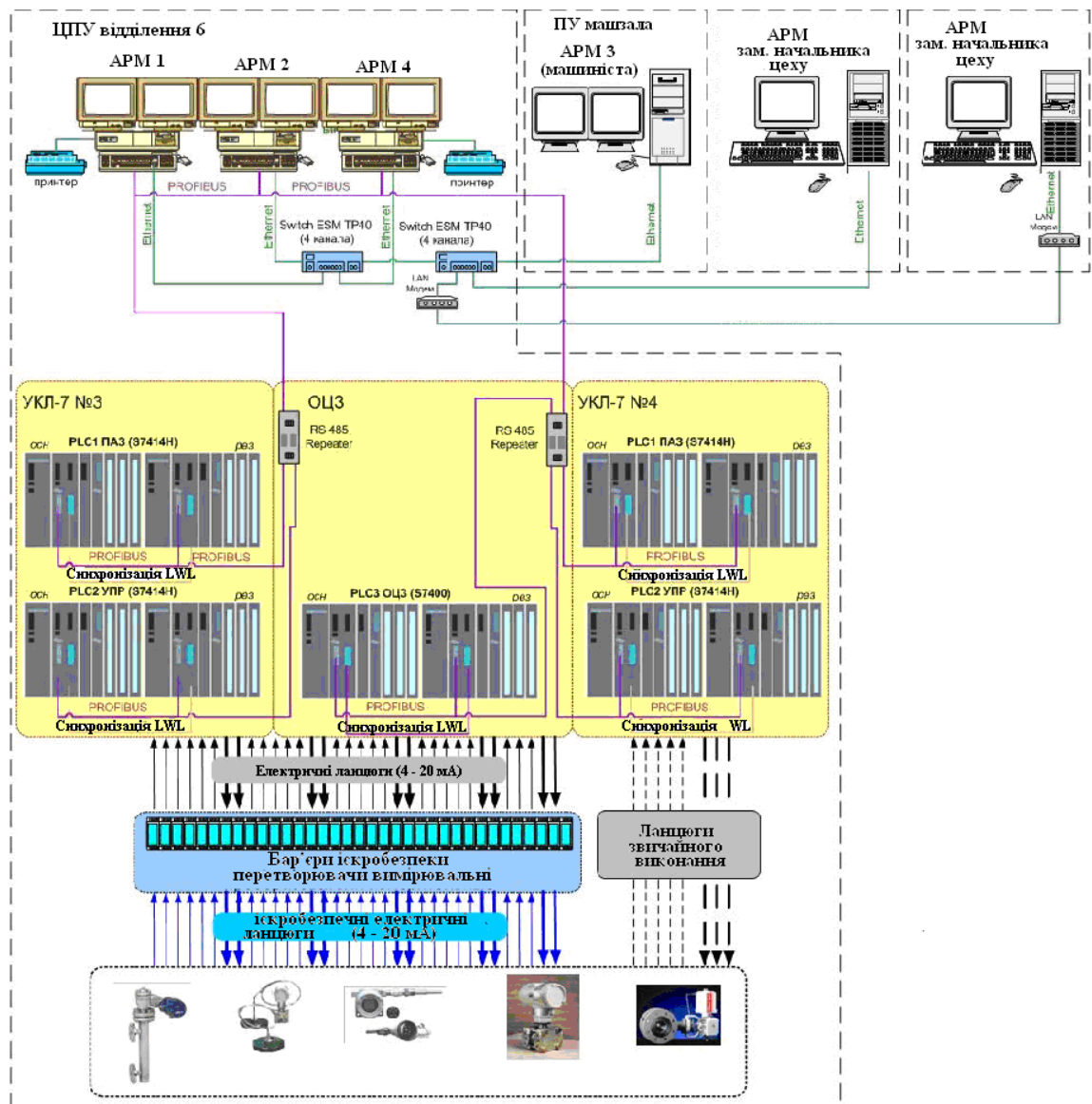


Рисунок 5.10 – АСУ ТП відділення 6 цехів виробництва неконцентрованої нітратної кислоти

- автоматична регламентна або аварійна зупинка за командою оператора;
- регулювання параметрів технологічного процесу;
- автоматизована стабілізація заданого режиму;
- дискретно-логічне керування насосами, електрозасувками, відсічними клапанами;
- безперервний контроль на підставі бази вимірюваних сигналів стану устаткування і значень технологічних параметрів в порівнянні із заданими і граничними значеннями;
- перевірка достовірності інформаційних сигналів;
- контроль дій оператора;
- діагностичні функції;
- контроль напруги, що живить, тощо.

Результатами впровадження проекту з'явилося:

- підвищення продуктивності агрегатів УКЛ-7 більш ніж на 10%;
- значне підвищення надійності роботи агрегатів УКЛ-7;
- поліпшення умов роботи оперативного персоналу.

Даний проект є новим продуктом для ЗАТ «Северодонецьке об'єднання Азот». І хоча проектний продукт в цілому не є світовою новинкою, оскільки мікроконтролери фірми Сименс типу SIMATIC S7-400h досить широко застосовуються для автоматизації виробничих процесів в світовій практиці, завдяки його впровадженню підприємство може отримати значні прибутки за рахунок збільшення продуктивності устаткування.

АСУ ТП котлів 1 і 3 ТЕЦ ПАТ «ДНПРОАЗОТ» (м. Дніпродзержинськ) (розробник НІП «ДІА»).

Основними виробничими потужностями ТЕЦ ПАТ «ДНПРОАЗОТ» є парові котли. На балансі ТЕЦ знаходиться три парові котли типу БКЗ-220-100Ф з піковою продуктивністю пари – 220 т/годину. Всі три котли працюють на один колектор, від якого живляться споживачі пари. Споживачами пари, що виробляється ТЕЦ, є:

- турбоелектрогенератори,
- виробництво карбаміду,
- виробництво каустичної соди,
- бойлери міських комунальних служб.

В цілому схема ТЕЦ і її споживачів зображена на рис. 5.11.

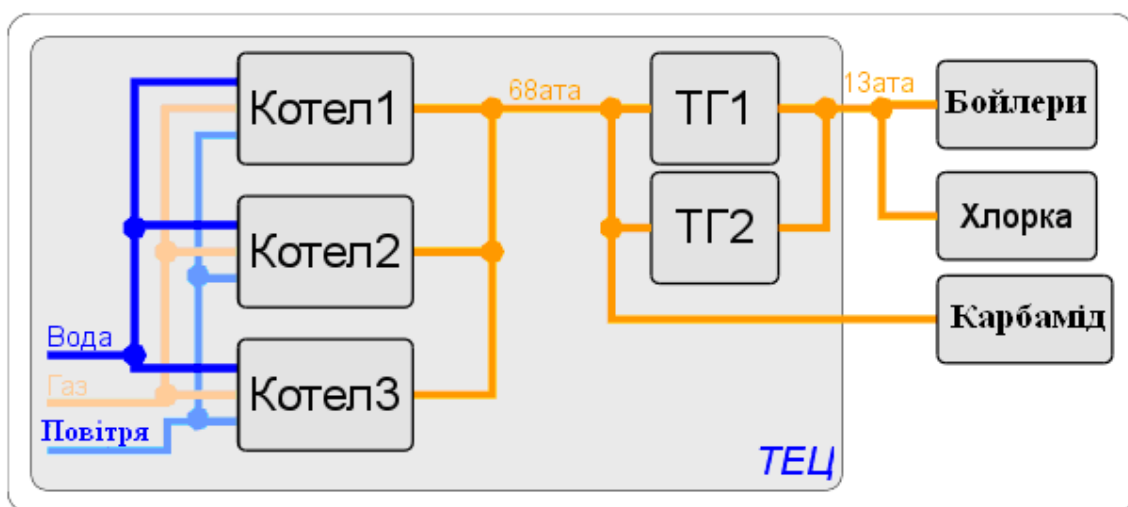


Рисунок 5.11 – Структурна схема ТЕЦ і споживання пари

Як можна бачити зі схеми, всі три котли працюють на один колектор, забезпечуючи парою споживачів. Споживачами ТЕЦ виступають як турбогенератори (ТГ), розташовані на території ТЕЦ, так і зовнішні споживачі. Турбогенератори, в основному, працюють в режимі балансування навантаження, забезпечуючи робочий режим казанів.

АСУ ТП котлів 1 і 3 побудована на основі контролерів S7-300 фірми SIEMENS і SCADA системи фірми НІП «ДІЯ» – “Complex”. Структура АСУ ТП 1,3 котлів зображена на рисунку 5.12.



Рисунок 5.12 – Структура АСУ ТП 1,3 котлів

АСУ ТП містить дві операторські станції, що дублюють одна одну, два контролери SIMATIC S7 300 з модулями видаленого опиту ET 200 і два частотних перетворювача (для вентиляторів і димососів). Кожен контролер обслуговує свій котел, і може бути відключений разом із зупинкою відповідного котла і незалежно від контролера іншого котла.

Схема управління котлоагрегатом містить 13 контурів регулювання. Умовно схему регулювання можна розділити на три частини:

- регулювання рівня і температури пари після уприскування;

- регулювання розрядження в топці;
- регулювання тиску пари і співвідношення повітря/газ.

Схеми регулювання виконані на основі уніфікованого PID-регулятора, який дає:

- можливість роботи як в аналоговому, так і в імпульсному режимі;
- можливість розділення періодичності виконання аналогової і імпульсної частини;
- підтримку імпульсного ручного управління;
- підтримку індикатора положення клапана при імпульсному регулюванні;
- можливість надання додаткових входів для схем попередження – два перед PID частиною і два безпосередньо на виході.

АСУ ТП відділення синтезу вінілацетата-сирця цеху вінілацетату для ЗАТ «Северодонецьке об'єднання АЗОТ».

Як початкова сировина в даному процесі використовуються ацетилен і оцтова кислота. Особливістю технологічного процесу є точність регулювання співвідношення ацетилен – оцтова кислота і підтримка стабільної температури реакції синтезу шляхом нагріву в електропідігрівачах циркулюючого масла або його охолодження уприскуванням конденсату у випарник.

Процес синтезу проводиться в декілька стадій:

Компримування ацетилену. Свіжий ацетилен стискується водокільцевою газодувкою, проходить апарати для відділення крапель і змішується з циркулюючим ацетиленом. Змішаний ацетилен стискується ротаційною газодувкою і поступає у випарник.

Змішаний ацетилен і оцтова кислота одночасно подаються у випарник, що обігривається паром. Парогазова суміш певного співвідношення з випарника проходить підігрівач-рекуператор і поступає в контактні апарати на синтез. Синтез здійснюється в кожухотрубчастих реакторах, трубки яких заповнені каталізатором, при температурі 155–240⁰С. Тепло реакції регулюється циркулюючим в міжтрубному просторі маслом.

Після контактних апаратів реакційні гази проходять уловлювач і поступають в рекуператор, де, охолоджуючись, нагрівають парогазову суміш. Далі реакційні гази, що складаються з вінілацетату-сирця, ацетилену, оцтової кислоти і побічних

продуктів синтезу, поступають на конденсацію. В процесі конденсації вінілацетат-сирець і побічні продукти синтезу конденсуються, відділяються від газоподібних продуктів. Вінілацетат-сирець і побічні продукти синтезу прямують на ректифікацію, а газоподібні продукти (в основному ацетилен з домішками) повертаються в процес на змішування зі свіжим ацетиленом.

Метою створення АСУ ТП з'явилося надійне, просте управління технологічним процесом за рахунок:

- автоматичного регулювання технологічних параметрів;
- оперативного представлення інформації обслуговуючому персоналу про стан технологічного процесу і устаткування;
- високої точності вимірювання технологічних параметрів;
- автоматизованого пуску і зупинки технологічного устаткування;
- контролю дій операторів, керівників технологічним процесом;
- архівації параметрів технологічного процесу.

Крім того, результатом автоматизації з'явилося забезпечення безпеки технологічного процесу за рахунок:

- застосування сучасних програмно-технічних засобів високої надійності;
- автоматизації процедур захисту і блокувань;
- забезпечення роботи технологічного устаткування без постійної присутності експлуатаційного персоналу в зоні розміщення устаткування, а також – оперативна передача інформації про роботу відділення синтезу вінілацетату в автоматизоване робоче місце начальника цеху вінілацетату, начальника зміни.

Функції регулювання технологічним процесом, протиаварійного захисту і управління загально цеховим устаткуванням розподілені по окремих контролерах, які виконані в шафовому виконання (тобто розташовані у шафах).

Видалене управління устаткуванням, зміна налагоджування і режиму роботи здійснюється із станцій оператора. Комп'ютеризовані звіти начальників зміни і цеху дозволяють проглянути поточну і архівну інформацію у вигляді мнемосхем, трендів, протоколів, рапортів.

Результатом впровадження нової лінії синтезу вінілацетата-сирця спільно з нарощуванням потужності відділення ректифікації стало підвищення виробництва продукції цеху вінілацетату на 50%. Також застосування системи автоматизованого управління підвищило простоту управління, надійність і оперативність отримання інформації (поточних даних, сигналізації порушень в світловій і мовній формах), забезпечило високоякісне ведення технологічного процесу за рахунок:

- автоматичного регулювання технологічних параметрів (були розроблені і впроваджені алгоритми стабілізації необхідної температури і співвідношення у випарнику, алгоритми підтримки заданої температури в реакторах);

- автоматизації процесу пуску і зупинки (розроблені алгоритми для різних режимів роботи процесу і алгоритми ПАЗ).

Наявність архівної інформації завглибшки до 1 року дала можливість здійснення аналізу ведення процесу синтезу:

- визначення залежності вироблення сирцю від швидкості підвищення температури масла;

- визначення повноти реакції парогазової суміші в реакторах і, як наслідок, оптимізація процесу по обсягу вироблення;

- визначення пробігу каталізатора.

АСУ ТП енергоспоживанням ВАТ «Арселорміттал Кривий Ріг».

Проблеми, які послужили підставою для створення проекту автоматизації системи енергоспоживання:

- облік витрати енергоносіїв проводився з добовою затримкою і не відповідав міжнародному стандарту;

- дисбаланс по обліку питної води досягав 50%;

- на насосних і компресорних станціях відсутні АУ ТП, що працюють в комплексі з частотними приводами;

- відсутність АСУ ТП централізованого управління котлами, турбо-повітродувками, турбогенераторами, повітрянагрівачами і подачею дуття в домни не забезпечувало потрібної продуктивності доменних печей і приводило до втрати великого об'єму дуття;

- мали місце завищені витрати природного газу на нагрівальних колодязях і печах із-за недосконалості систем управління режимами їх роботи і відсутності газоаналізаторів.

Проект автоматизації системи енергоспоживання мав вирішити наступні завдання:

- комерційний облік і контроль споживання електроенергії, природного газу і води;
- автоматизований облік, контроль і управління споживанням газоподібних енергоносіїв: природного, доменного і коксового газів, кисню, стислого повітря, пари.
- автоматизований облік, контроль і управління електроспоживанням, водоспоживанням і водозворотними циклами;
- створення локальної мережі для збору, обробки, передачі інформації управління параметрами енергоспоживання.
- управління виробленням, нагрівом і подачею дуття в доменні печі;
- енергоефективне управління режимами роботи нагрівальних колодязів і нагрівальних печей.

Проектом автоматизації передбачено створення технологічної обчислювальної мережі на основі оптоволоконних технологій, а також DSL-технологій на видалених ділянках. Проектована мережа в зв'язці з адміністративною мережею підприємства зображена на рис. 5.13.

В автоматизованій системі між ключовими вузлами циркулюють інформаційні потоки, які об'єднують їх. Для отримання загального представлення ієрархії цієї взаємодії на рис. 5.14 зображена діаграма інформаційних потоків.

В рамках проекту автоматизації енергозберігання пропонується автоматизована система **обліку** газів підприємства.

Система АСУ ТП «Газ» умовно поділяється на чотири складові:

- диспетчерська газового цеху;
- станції обліку і управління (СОіУ);
- АСУ ТП і обчислювачі комерційного обліку природного газу;
- станції керівників.

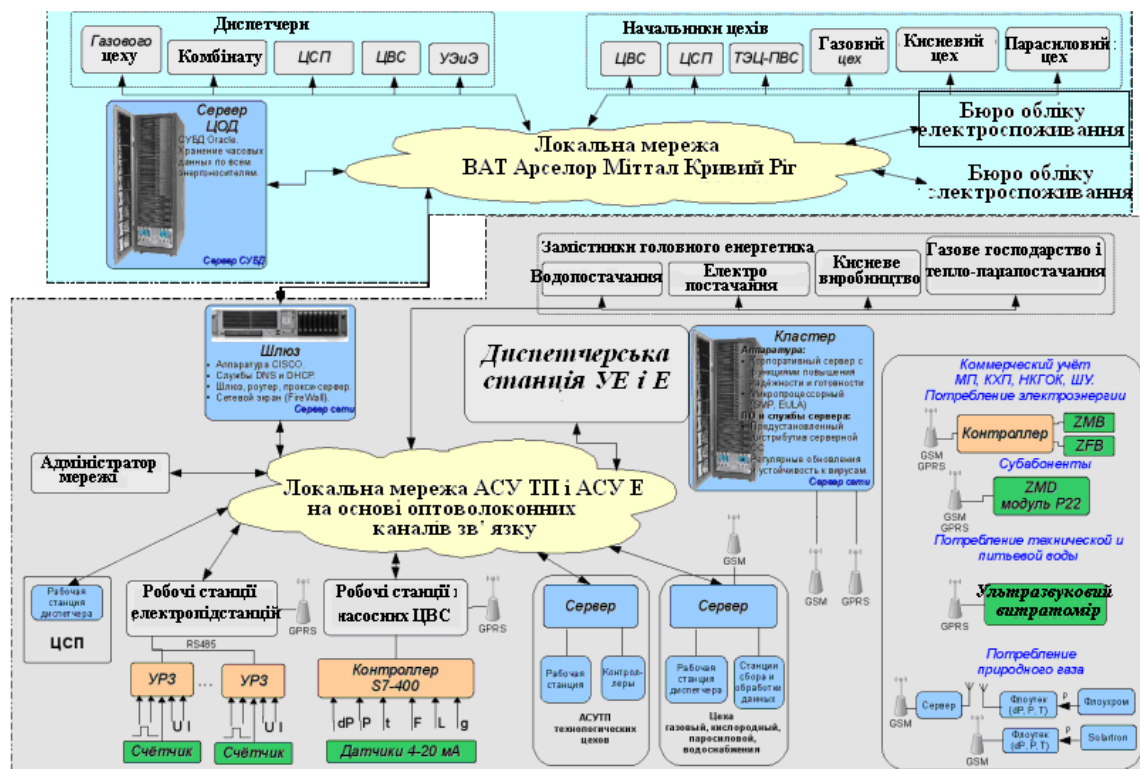


Рисунок 5.13 – Функціональна схема локальної мережі АСУ ТП та АСУЕ АрселорМіттал

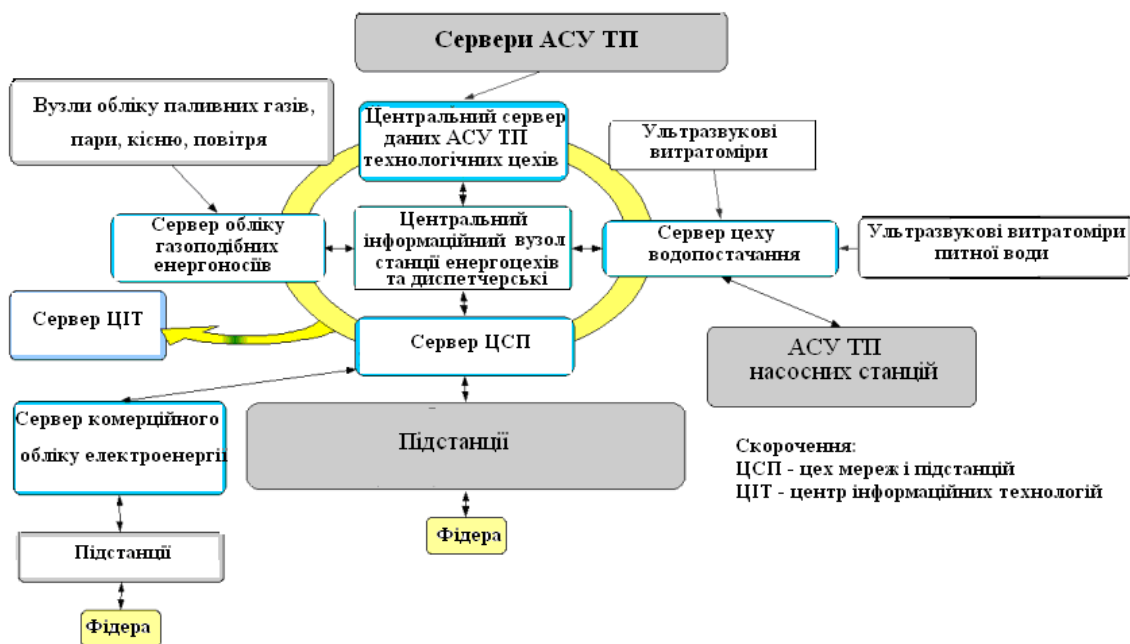


Рисунок 5.14 – Схема інформаційних потоків АСУЕ

Головною складовою є диспетчерська газового цеху, яка комплектується двома робочими станціями диспетчера. Станції диспетчера газового цеху виконують функції сервера збору всієї інформації по газах. Для виконання функції узгодження із

зовнішніми джерелами даних станції диспетчера комплектуються реляційною СУБД «FireBird». Для забезпечення надійності станції диспетчера дублюються.

Станції обліку і управління виконують безпосередній збір сигналів про параметри витрат газів (dP, P, T), обчислюють і зберігають об'ємні витрати газів (нм³/ч) і об'єм (нм³) за годину, добу, місяць і по запитах станцій диспетчера передають дані. При обривах ліній зв'язку станцією диспетчера забезпечується отримання даних з СОіУ на період відсутності зв'язку.

АСУ ТП і обчислювачі комерційного обліку природного газу виконують функцію експорту даних про параметри газів на СУБД «FireBird» станцій диспетчера. При обривах ліній зв'язку в їх завдання також входить експорт даних за період відсутності зв'язку.

Станції керівників є інтерфейсом доступу до даних обліку газів, що зберігаються в СУБД «FireBird» станцій диспетчера. Для забезпечення надійності програмні засоби станцій керівника мають забезпечувати доступ до обох станцій диспетчера.

5.2.4. Автоматизовані системи фірми «КОНСТАР»

Фірма «КОНСТАР» (м. Харків, Україна) спеціалізується на розробці та виробництві програмуємих контролерів (ПЛК, PLC), засобів автоматизації, телемеханіки, АСУ ТП. Продукція АТ «КОНСТАР» (апаратні засоби, програмне забезпечення) проходить повний цикл налагодження та комплексних випробувань на власному випробувальному майданчику з використанням програмно-апаратного моделювання об'єкта управління. Тому продукція АТ «КОНСТАР» має високу ступінь готовності для впровадження АСУ ТП на промислових об'єктах.

Програмуємий логічний контролер К303 (ПЛК (PLC) К303) – представник сімейства ПЛК (PLC) «КОНСТАР» серії 300, відноситься до класу ПЛК (PLC) з кількістю входів/виходів до 4096 і є універсальним технічним засобом для створення на його базі автоматизованих систем управління з розгалуженою локальною мережею комунікацій і пристроїв управління (рис. 5.15).



Рисунок 5.15 – Програмний логічний контролер К303

ПЛК (PLC) К303 є вільно компонованим виробом із змінним складом функціональних модулів, виконаних на монтажних платах і встановлюваних в каркас компоновальний, який відповідає міжнародному стандарту 5U по МЕК 297-3.

ПЛК (PLC) К303 складається з базового блоку, в якому встановлюється модуль мікропроцесорний і блоків розширення введення/виводу. До одного базового блоку можливе підключення до 7-х блоків розширення.

У якості периферійного устаткування, що підключається до ПЛК (PLC) К303, використовуються пристрої, що мають канали зв'язку RS485 або Ethernet.

ПЛК (PLC) К303 має широку номенклатуру модулів введення/виводу. Для важких промислових умов експлуатації поставляються модулі ПЛК (PLC) з додатковим захисним покриттям від пилу і вологи. Є виконання ПЛК (PLC) К303 для роботи в негативному діапазоні робочих температур. Структурна схема ПЛК (PLC) К303 наведена на рис. 5.16.

Головним компонентом мікроконтролера є мікропроцесор. В даний час випускається велика кількість мікропроцесорів з різними характеристиками. У системах цифрової обробки сигналів і управління в реальному масштабі часу застосовують спеціалізовані цифрові процесори обробки сигналів.

Сучасні цифрові процесори обробки сигналів є складними пристроями з великими можливостями. ПЛК фірми «КОНСТАР» застосовані на використанні мікропроцесорного модулю Ср59 різних модифікацій.

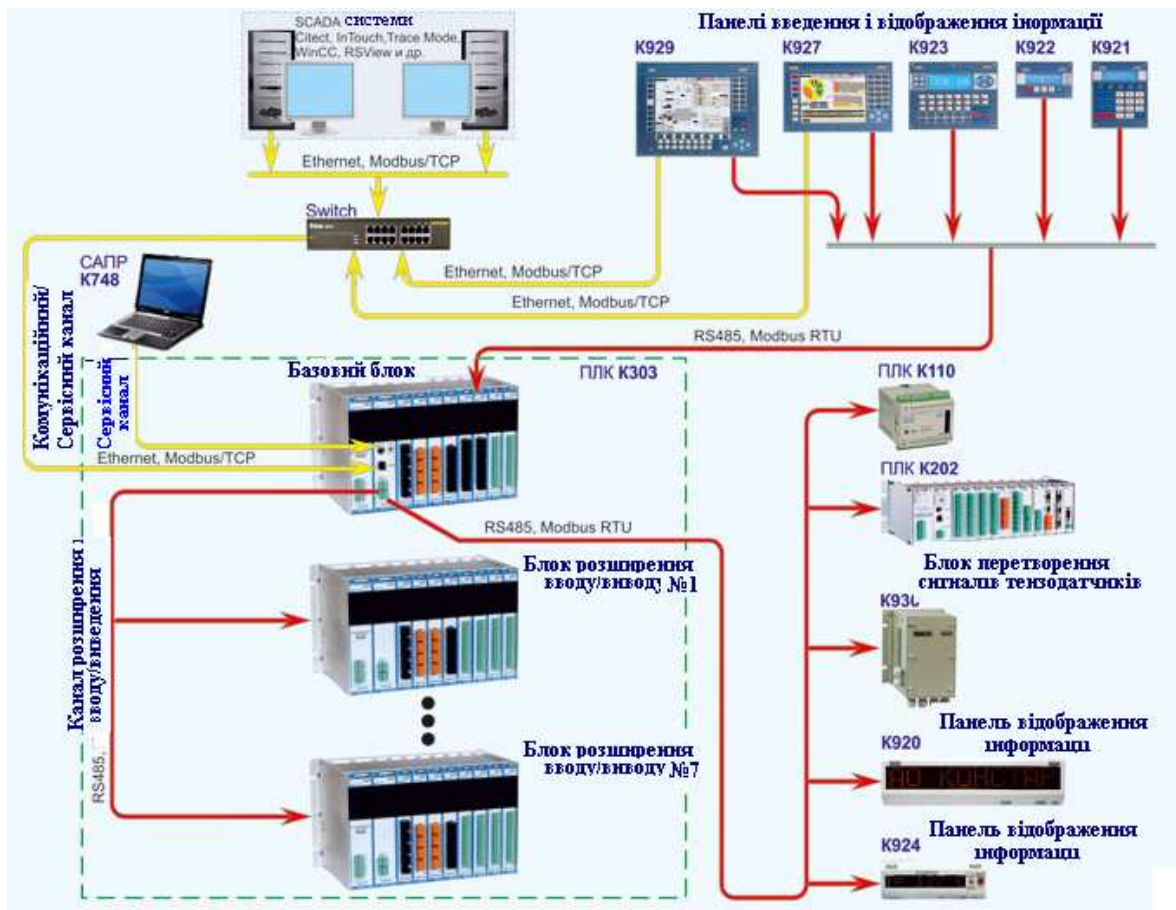


Рисунок 5.16 - Структурна схема ПЛК (PLC) К303

Вони мають достатньо високу швидкодією, малу споживану потужність, широкий адресний простір зовнішньої пам'яті і зручну для програмування архітектуру з програмним забезпеченням і 32 розрядними даними.

Процесор призначений для обробки, зберігання інформації і управління модулями введення-виводу у складі програмованого контролера (ПК).

Процесор входить до складу ПК "КОНСТАР" (К201, К202, К203), призначеного для управління технологічним устаткуванням і технологічними процесами.

В процесі функціонування процесор забезпечує:

- контроль збереження інформації в ОЗУ;
- контроль наявності відмов модулів вводу-виводу;
- контроль часу виконання внутрішнього циклу роботи процесора;

- контроль рівня напруги резервного джерела живлення, тощо.

Процесор здійснює обмін інформацією:

- з модулями введення-виводу з складу ПК;

- з сервісним устаткуванням;
- з периферійним устаткуванням;
- з модулем розширення для організації функціонування блоків ПК;
- з пристроєм верхнього рівня.

Сервісний канал процесора працює по інтерфейсу RS232C з використанням спеціалізованого сервісного протоколу і призначений виключно для зв'язку з сервісним устаткуванням.

Швидкість обміну інформацією – 9600 бит/с.

Організація роботи процесора здійснюється за допомогою програмних продуктів, що поставляються користувачеві з процесором.

Автоматизовані системи «КОНСТАР» працюють на багатьох промислових підприємствах, забезпечуючи збільшення потужності виробництва, підвищення якості продукції і безпечність виробництва. Продукція АТ «КОНСТАР» сертифікована в Україні та у Росії.

Прикладом використання технологій «КОНСТАР» є автоматизована система управління виробництвом сталі на Дніпродзержинському металургійному комбінаті (ДМКД) (рис.5.17).



Рисунок 5.17 – Спрощена схема АСУ ДМКД

Безперервною лінією на рисунку позначені дані Interbase (АСУ ТП доменної печі (ДП) – джерела даних; сервер – обробка, структурування; видалені користувачі – проглядання баз даних).

Пунктирною лінією позначені дані Display Client (АСУ ТП ДП – джерела даних; видалені користувачі – проглядання відеокадрів АСУ ТП ДП)

АСУ ТП ДП включає 2 АРМ оператора (резервування); програмне забезпечення – Citect; Interbase server.

Видалені користувачі формуються на базі існуючих робочих місць; програмне забезпечення – Citect 1500 Manager Client.

Контрольні тестові завдання до глави 5

1. Розподільна система управління - це:

- а) АСУ ТП;
- б) організаційна структура підприємства;
- в) управління окремими підрозділами основних виробництв.

АСУ – це велика система управління, що поставляється у повному комплекті одним виробником.

2. АСУ – це:

- а) центральна автоматизована система управління;
- б) система управління, що поставляється у повному комплекті одним виробником;
- в) розподільна система управління, що комплектується обладнанням різних виробників.

3. В склад АСУ входять:

- а) мікроконтролери та модулі вводу/виведення;
- б) мережеве обладнання, робочі станції;
- в) програмне забезпечення.

4. Платформа Experion складається з:

- а) двох рівнів;
- б) трьох рівнів;
- в) чотирьох рівнів .

5. До першого рівню управління відносяться:

- а) мікроконтролери;
- б) датчики, виконуючі механізми, регулюючі органи;
- в) сервери, АРМи.

6. Основними компонентами системи PlantScape є:

- а) гібридний контролер HC900;
- б) функціональний сервер;
- в) мережі управління ControlNet.

7. Система PlantScape:

- а) може бути інтегрована з контролерами різних фірм-виробників;
- б) використовує обладнання тільки Honeywell;
- в) використовує обладнання тільки PlantScape.

8. CENTUM CS3000 призначена для управління:

- а) малими технологічними процесами;
- б) достатньо великими технологічними процесами і виробництвами;
- в) дискретними процесами.

9. SIMATIC S7-400 (S7-300) - це:

- а) АСУ ТП;
- б) РСУ;
- в) модульний програмуємий контролер.

10. Метою створення АСУ ТП є:

- а) просте управління технологічним процесом;
- б) безаварійне управління технологічним процесом;
- в) скорочення штату.

11. Процесор призначений для :

- а) обробки, зберігання інформації ;
- б) управління модулями введення-виводу ;
- в) відображення інформації в реальному часі.

12. Організація роботи процесора здійснюється за допомогою:

- а) розробки проектів;
- б) програмних продуктів;
- в) мікропроцесорної техніки.

13. HART-протокол служить для:

- а) з'єднання контролерів;
- б) стандартизації польової шини;
- в) видаленої настройки датчиків на потрібний діапазон вимірювань

14. Контролери виконують функції:

- а) об'єднання датчиків з технологічними серверами;
- б) автоматичного управління технологічним процесом;
- в) обміну інформацією між технологічними процесами

ЛІТЕРАТУРА

- 1.Олсон Густав Цифровые системы автоматизации и управления/Густав Олсон, Джангуидо Пиани.- Санкт-Петербург: неевский диалект, 2001. – 557 с.
2. Теория автоматического управления. Ч.1./Под ред. А.В. Нетушила. - М.: Высшая школа, 1968 – 424 с.
- 3.Гуд Г.Х. Системотехника. Введение в проектирование больших систем: Пер. с англ./ Г.Х.Гуд, Р.Э. Макол.-М., 1962. – 341 с.
4. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные системы в химической промышленности: Учеб. для вузов/В.В.Кафаров. – М.: Химия, 1990. – 320с
5. Шувалов В.В Автоматизация производственных процессов в химической промышленности/В.В.Шувалов, Г.А.Огаджанов, В.А. Голубятников.- М.: Химия, 1991. – 480 с.
6. Дудников Е.Г. Автоматическое управление в химической промышленности/Е.Г.Дудников.- М.: Химия, 1987. – 367с.
- 7.Благовещенская М.М., Информационные технологии систем управления технологическими процессами. Учеб. для вузов/М.М.Благовещенская, Л.А. Злобин.-М.: Высшая школа, 2005. – 768с.
- 8.Полоцкий Л.М.Автоматизация химических производств/ Л.М. Полоцкий, Г.И.Лапшенков.- М.: Химия, 1982. – 295с.
- 9.Мамиконов А.Г. Проектирование УСУ/А.Г.Мамиконов. – М.: Высшая школа, 1987. – 303с.
- 10.Кафаров В.В. Математическое моделирование основных процессов химических производств.Учебное пособие для вузов/В.В. Кафаров, М.Б. Глебов.-М.: Высшая школа, 1991. – 399с.
11. Кулаков М.В. Технические измерения и приборы для химических производств/М.В.Кулаков.- М.: Машиностроение, 1983. – 424с.
12. Камрадзе А.Н. Контрольно-измерительные приборы и автоматика/А.Н.Камрадзе, М.Я.Фитерман.-Л.: Химия, 1988. – 225с.
13. ГОСТ 21.404-85. Обозначения условные приборов и средств автоматизации.
14. ГОСТ 21.408-93. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов.
15. Кабаев С. SCADA-пакет inTouch в отечественных проектах.//С.Кабаев.-Мир компьютерной автоматизации. – 1997, №2, -с. 88-90

16. Лейбович Р.Е. Технология коксохимического производства / Р. Е. Лейбович, Е. И. Яковлева, А. Б. Филатов. – М.: Metallurgia, 1982, 359с.
17. Анисимов И.В. Основы автоматического управления технологическими процессами нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности/И.В. Анисимов. - Л.: Химия, 1967. – 408с.
18. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ./Г. Буч.- М.: Конкорд, 1992. – 411 с.
19. Фаулер М.UML. Основы. Пер. с англ./ М.Фаулер, К.Скотт.-СПб: Символ-Плюс, 2002.-197 с.
20. Уваров Н.В., Дойников В.В. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике: Учебно-практическое пособие/Н.В.Уваров, В.В.Дойников. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2008. - 576с.
21. Шишмарев В.Ю. Автоматизация технологических процессов/В.Ю. Шишмарев. – М.: Академия 2005. – 352с.
22. Федоров Ю.Н Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие/Ю.Н.Федоров.- Вологда: Инфра-Инженерия, 2008. – 928 с.
23. Андреев Е.Б. Технические средства систем управления технологическими процессами в нефтяной и газовой промышленности. Учебное пособие/Е.Б.Андреев, В.Е.Попадько.- М.: ФГУП Издательство “Нефть и газ” РГУ нефти и газа им.И.М.Губкина, 2005.- 367 с.
24. Подъяпольский С.П. АСУ для промышленных предприятий/С.П.Подъяпольский, А.В.Родионов, Л.Р.Соркин//Промышленные контроллеры АСУ. – М.: Научтехлитиздат, №9, 2005, с. 1 – 6.
25. Кожухар В.Я. Автоматичні системи керування хіміко-технологічними процесами. Навч. посібник/В.Я. Кожухар, В.В.Брем, Ю.Ф.Каверин.- Одеса: Екологія, 2005.-224 с.
26. Стефани Е.П. Основы построения АСУ ТП/Е.П.Стефани.- М.: Энергоиздат, 1982.- 352с.
27. Пиггот С.Г. Интегрированные АСУ химических производств/С.Г.Пиггот. - М.: Химия, 1985.- 410 с.
28. Плюotto В.П. Управление химико-технологическими процессами. Процессы массообмена: Учеб. Пособие/В.П.Плюotto - М.: МХТИ, 1984. – 48 с.

29. Плюто В.П. Автоматизированные системы управления периодическими процессами химической технологии/В.П.Плюто. – М.: МХТИ, 1985.- 48с.
30. Ицкович Э.Л. Оперативное управление непрерывным производством/Є.Л.Ицкович, Л.Р.Сорокин – М.: Наука, 1989.-155с.
31. Уланов Г.М. Методы разработки интегрированных АСУ промышленными предприятиями/ Г.М.Уланов. - М.: Энергоатомиздат, 1983.- 320 с.
32. Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности/В.А.Голубятников, В.В.Шувалов. - М.: Химия, 1985.-352с.
- 33.Бельдеева Л.Н. Технологические измерения на предприятиях химической промышленности. Учебное пособие, Часть 1/ Л.Н.Бельдеева.-Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2002.- 73 с.
- 34.Бельдеева Л.Н. Технологические измерения на предприятиях химической промышленности. Учебное пособие, Часть 2/ Л.Н.Бельдеева.-Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2002.- 76 с.
- 35.Сайт ДДТУ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.dstu/dp/ua/>
- 35.http://www.mirknig.com/knigi/estesstv_nauki/1181148889-avtomatizacija-tekhnologicheskikh.html
- 36.<http://www.frolbel.vistcom.ru>
- 37.<http://www.adastra.ru/products/overview/group/>
- 38.<http://www.adastra.ru/products/overview/kks/>
- 39.www.metran.ru
- 40.www.siemans.ru
- 41.<http://microl.ua>

Предметний покажчик

А

Автоматичне керування 11
 Автоматизоване робоче місце (АРМ) 119
 функції 122
 Автоматизована система регулювання 12, 252, 256
 багатоконтурна 12
 багатомірна 13
 безперервна 13
 витрати 13
 гідравлічна 14
 дискретна 13
 електрична 13
 за відхиленням 14
 за збуренням 14
 комбінована 14
 лінійна 13
 механічна 14
 напруги 13
 нелінійна 13
 одноконтурна 13
 одномірна 13
 пневматична 14
 програмна 12
 промислова 265
 рівню 13
 спостерігаюча 13
 стабілізуюча 12
 температури 13
 тиску 13
 функції 138
 Алгоритм 100
 адресного опитування 100
 адаптивного опитування 100
 екстраполяції 100
 інтерполяції 100
 лінеаризації 100
 оцінювання 100
 приведення інформації 100
 фільтрації 101
 Аналізатор 231
 Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) 95
 АСУОТ 260
 АСУ ТП 62, 260
 апаратура 131
 концепція побудови 130
 операційна система 1130

програмування 130
 режим функціонування 130
 система керування 130
 структура 72-74
 функціональна схема 132
 Архітектура АСУ 276
 CENTUM CS3000 283
 Experion 276
 KONSTAR 305
 PlantScape 278
 SIMATIC S7 285

В

Ваги 209
 Віскозиметр 243-245
 Виконавчий механізм 81, 107
 електричний 91
 пневматичний 90
 Виконавчий орган 86
 дросельного типу 89
 насосного типу 86
 реологічного типу 88
 Вимірюване значення регульованої величини 11
 Вимірювання 148
 засіб 149
 метод 149
 міра 149
 непряме 148
 принцип 149
 пряме 148
 Витрата 200
 Витратомір 201
 вихровий 213
 електромагнітний 194-196, 205, 211
 змінного перепаду тиску 201
 коріолісовий 215
 класифікація 201
 кульковий 205
 лічильники 208, 217
 обтікання 204
 тахометричні 204
 ультразвукові 206
 Вологоміри 245-251
 В'язкість 251

Г

Гігрометр 245

- Гілки ДСП 148
гідралічна 148
електрична аналогова 148, 153
електрична дискретна 148, 154
пневматична 148, 154
приладів 148, 155
- Густиноміри 243
- Д**
- Датчик 68, 81, 84, 156
аналоговий 85
бінарний 85
індукційний 181
цифровий 85
- Державна система приладів 144
вимоги 145
принципи побудови 145
уніфіковані сигнали 148
- Діафрагма 202
- Дія
вхідна 11
вихідна 12
збурююча 12
зовнішня 12
керуюча 12
- Дієлькометричний підкомплекс 241
- Дифманометр 179, 204
- Дозатор 210
- Е**
- Елемент 69
перетворювальний 70
чутливий 69
- Елементи автоматичних систем 15
- З**
- Засіб вимірів 67, 71, 142
градувальна характеристика 149
діапазон вимірювань 149
діапазон показань
зразковий 71
межа вимірювань 149
показання 135
робочий 71
- Захист 61
- Зв'язок 26, 74
внутрішній зворотний 29, 82
гнучкий зворотний 83
зворотний 29, 82
- зовнішній 82
негативний зворотний 83
позитивний зворотний 83
прямий 82
твердий зворотний 83
- І**
- Ідентифікація 31, 64
- Інтегровані системи управління 274
- К**
- Керування 11
- Керуючий пристрій 12
- Кондуктометричний підкомплекс 235
- Контролер 102
- Координація 64
- Л**
- Ланка системи 10, 25
аперіодична 27, 25
диференціююча 25
ідеальна 26
реальна 26
запізнювальна 28, 25
з'єднання 28
інтегруюча 25
коливальна 28, 25
підсилювальна 25
- Лінеаризація 20
- М**
- Манометр 178
деформаційний 180
електричний 182
мікроманометр 180
пружинний 180
рідинний 179
«Сапфір» 182
- Мікроконтролер 107
- Мікропроцесорна система (МПС) 108
- Миттєве значенням регульованої величини 11
- Моделі структури потоків 33
дифузійна 35
ідеального витиснення 34
ідеального змішування 34
комбінована 37
комірчаста 36

О

- Об'єкт керування 11, 79
 - астатичний 79
 - статичний 79
- Об'єкт регулювання 119
- Оптимізація 64

П

- Параметри технологічного процесу 11
- Передавальні пристрої 122
- Передавальний перетворювач 68
- Перетворення Лапласа 22
- Перетворювач 68
 - електромагнітний 181
 - вимірювальний 122
 - первинний 68
 - передавальний 68
 - перепаду тиску 203
 - проміжний 168
 - тиску 176
- Пірометр 170
 - випромінювання 170
 - оптичний монохроматичний 158
 - колірний 158, 171
 - радіаційний 158
- Погрішності вимірювання 150
 - випадкові 150
 - промахи 150
 - систематичні 150
- Помилка керування 12
- Потенціометричний підкомплекс 236
- Прилад 69
 - аналоговий 149
 - допоміжний 149
 - інтегруючий 62
 - класифікація 162
 - контрольно-вимірювальний 142
 - локального застосування 145
 - підсумовуючий 69
 - показуючий 69
 - реєструючий 69
 - системний 145
 - цифровий 149
- Принцип Ползунова-Уатта 115
- Принцип Понселе 115
- Пристрій 70
 - відліковий 70

реєструючий 70 зв'язку з об'єктом (УЗО) 91

- аналоговий 95
- дискретний 95
- цифровий 95

Програмно-технічний комплекс (ПТК) 107

Програмований логічний контролер (ПЛК) 104, 110

- архітектура 105
- локальний 104
- мікропроцесорний 105

Психрометр 245
рН-метр 237

Р

- Регульована величина 11
- Регульований параметр 11
- Регулювання 11, 48
- Регулюючий орган 86
- Регулятор 12, 47, 82, 101, 114
 - аналоговий 47
 - настроювання 59
 - типи 50
 - агрегатного типу 51
 - апаратний 51
 - диференціальний 51
 - інтегральний 51
 - комбінований 51
 - приладового типу 52
 - пропорційний 51, 47
 - пропорційно-диферціальний 51
 - пропорційно-диферціно-інтегральний 51
 - пропорційно-інтегральний 51
- Рівень 219
- Рівнемір 220
 - акустичний 222
 - буйковий 220
 - гідростатичний 221
 - електричний 223
 - поплавковий 220
 - радарний 227
 - радіохвильовий 226
 - радіолокаційний 226
 - ультразвуковий 226
- Рівняння диференціальні 16, 20

С

Самовирівнювання 79, 119
Сигнал 66
Силова компенсація 123
Системи дистанційної передачі 67
Система управління 11, 62, 74, 80
 вимірювальна 69
 дистанційної передачі 122
 індуктивна 129
 стійкість системи 38
 критерії стійкості 38
 Гурвіца 38, 40
 кореневий 38
 Михайлова 38, 42
 Найквіста 38, 43
 Стодоли 38, 40
Сопло Вентурі 203
SCADA-система 73, 131, 265
Стабілізація 64

Т

Термістори 169
Температура 158
Термометр 158
 електричний 158, 171
 конденсаційний 158, 161
 манометричний 158, 160
 газовий 158, 160
 рідинний 158, 161
 опору 158, 167
 розширення 158, 159
Термопара 162, 293
Термоперетворювачі 155
 аналогові 178
 манометричні 177
 промислові 171
Терморезистори 168
Тиск 178
 абсолютний 178
 барометричний 178
 надмірний 178
ТОУ 6, 263
 ефективність 263
 інформаційна схема 264
TRACE MODE 6 245

У

Управління 62, 14
Установки вимірювальні 69

Ф

Фотометричний підкомплекс 232
Функції
 передаточні 17, 24, 30, 48
 перехідна крива 44

Х

Характеристики
 динамічні 18, 17
 імпульсна 19
 статичні 19
 лінійні 18
 частотні 17, 32
HART- комунікатором 187
HART- модем 187
HART- протокол 187, 199

Ч

Цифро-аналоговий перетворювач
(ЦАП) 95, 103

Є

Ємність об'єкту 79, 119

Я

Якість регулювання 44
 показники 44
 кореневі 45
 частотні 46

Навчальне видання

*ЛАРИЧЕВА Людмила Павлівна
ВОЛОШИН Миколо Дмитрович
ЛУЦЕНКО Олег Павлович*

**КОНТРОЛЬ ТА АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ
ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

Навчальний посібник

Підписано до друку 02.04.15. Формат 60x84 1/16
Папір друк. Друк – різнограф. Ум.-друк 18,6
Тираж – 300. Зам. № 47/15263

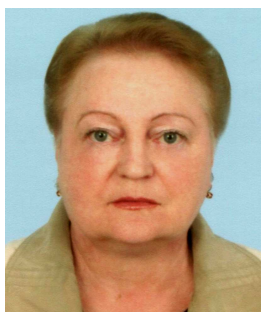
Видавець і виготовлювач
Дніпродзержинський державний технічний університет
51918, Дніпродзержинськ, вул. Дніпробудівська,2

Свідотство про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавництва серія ДК № 1944
від 16.09.2004 р.

**Л.П. Ларичева
М.Д. Волошин
О.П. Луценко**

КОНТРОЛЬ ТА АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ





**Ларичева
Людмила Павлівна**

кандидат технічних наук, доцент кафедри Хімічної технології неорганічних речовин Дніпродзержинського державного технічного університету



**Волошин
Микола Дмитрович**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Хімічної технології неорганічних речовин Дніпродзержинського державного технічного університету



**Луценко
Олег Павлович**

асистент кафедри математичного забезпечення ЕОМ, аспірант Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара