

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Український державний хіміко-технологічний університет»**

**О. П. Клименко
І. Г. Каюн
А. Р. Шейкус**

**КОНТРОЛЬ І УПРАВЛІННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

Навчальний посібник

Дніпро 2019

УДК 53.083, 53.087, 62-51
К49

Рецензенти:

Михальов О. І. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України;

Ткачов В. В. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

Анісімов В. М. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри машинобудування і інженерної механіки Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет»

*Навчальний посібник друкується за рішенням
Вченої ради ДВНЗ УДХТУ протокол № 4
від 16 квітня 2019 р*

Клименко О. П., Каюн І. Г., Шейкус А. Р.

К49 Контроль і управління технологічними процесами:
навчальний посібник / О. П. Клименко, І. Г. Каюн,
А. Р. Шейкус – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2019. – 179 с.

ISBN 978-617-7478-43-9

Навчальний посібник складено відповідно до робочих програм дисциплін «Контроль і керування машинами і апаратами хімічних виробництв», «Автоматизація та системи керування технологічними процесами», «Автоматизація в машинобудуванні», «Автоматизовані системи керування технологічними процесами», «Контроль і керування хіміко-технологічними процесами» для студентів, що навчаються за механічними та технологічними спеціальностями.

Посібник містить опис сучасних засобів вимірювання та керування технологічними процесами. Приведено типові зображення засобів контролю та управління на схемі автоматизації, вказано особливості роботи контурів контролю і управління різних технологічних параметрів.

Матеріал, який викладено у навчальному посібнику, може бути використано студентами вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації.

УДК 53.083, 53.087, 62-51

ISBN 978-617-7478-43-9

Клименко О. П., Каюн І. Г., Шейкус А. Р., 2019

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Параметричний аналіз об'єкта управління. Вибір інформаційних та керуючих функцій АСКТП	5
2 Функціональна схема автоматизації	15
3 Пристрої зв'язку з об'єктом і контролери	22
4 Контури контролю і регулювання технологічних параметрів	37
5 Виконавчі механізми	52
6 Контроль і регулювання температури	66
7 Контроль і регулювання тиску	72
8 Контроль і регулювання витрати і кількості речовини	81
9 Контроль і регулювання рівня	104
10 Контроль і регулювання лінійних переміщень	125
11 Контроль і регулювання кутових переміщень і вібрацій	140
12 Вимірювання ваги і електричних величин.....	154
13 Визначення дисперсного складу порошків	163
14 Заповнення специфікації на прилади і засоби автоматизації	171
Література.....	177

ВСТУП

Сучасні ринкові умови вимагають від виробників значного підвищення якості і надійності продукції, розширення асортименту, комплексного удосконалення виробництва, економії трудових, матеріальних і енергетичних ресурсів. Одним з головних напрямків вирішення завдання ефективного виробництва є поєднання прогресивних технологій і автоматичного керування технологічними процесами на базі новітніх технічних засобів і промислових контролерів.

Під час проходження виробничої практики, виконання курсових робіт чи розділу дипломного проекту студенти стикаються з проблемою одержання технічної інформації та документації на прилади і засоби автоматизації, що необхідна для придбання практичних навичок проектування і розробки систем автоматизованого керування технологічними процесами.

Навчальний посібник ставить за мету подолання вказаної проблеми. Він містить відомості щодо технічних засобів автоматизації, принципів їх дії, експлуатації, обслуговування. Наведено приклади контурів контролю та керування технологічними параметрами із застосуванням засобів мікропроцесорної техніки.

Посібник розроблено виходячи з досвіду проведення лекційних занять з курсу «Автоматизовані системи керування технологічними процесами» на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет». Він призначений для студентів механічних та технологічних спеціальностей, аспірантів, спеціалістів у галузі автоматизації.

В підготовці навчального посібника приймали участь співробітники кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації (доц. Клименко О.П. – розділи 5, 10-12, 14; Шейкус А.Р. – розділи 1-4) і кафедри метрології та контролю якості програмного забезпечення (Каюн І.Г. – розділи 6-9, 13).

1 ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ. ВИБІР ІНФОРМАЦІЙНИХ ТА КЕРУЮЧИХ ФУНКЦІЙ АСКТП

1.1 Загальні терміни

Автоматизація виробничого процесу – заміна розумової та фізичної праці людини, яка витрачається на керування механізмами та машинами, роботою спеціальних пристроїв, що забезпечують це керування.

Технологічний об'єкт керування – технологічний процес, який реалізується на відповідному технологічному обладнанні.

Метою керування об'єктом є забезпечення оптимального значення критерію керування.

Критерій керування – простий технологічний або складний техніко-економічний показник, який найбільш повно характеризує якість роботи об'єкта і приймає числові значення в залежності від керуючих дій.

Керування – процес, який передбачає сукупність послідовних операцій:

- збирання інформації про поточний стан об'єкта керування, про умови ведення технологічного процесу;
- визначення оптимального режиму функціонування об'єкту;
- розрахунок керуючих дій;
- реалізація оптимальних керуючих дій на об'єкт.

Автоматизована система керування технологічним процесом (АСКТП) – комплекс технічних і програмних засобів, що призначені для автоматизації управління технологічним устаткуванням на промислових підприємствах.

Автоматизований технологічний комплекс – сукупність взаємодіючих АСКТП і технологічного об'єкта керування.

1.2 Об'єкт управління

Об'єкт управління (ОУ) – пристрій або динамічний процес, управління поведінкою якого є метою створення системи автоматичного керування.

Рекомендована послідовність параметричного аналізу об'єкту управління:

1. Вивчення технологічного процесу і можливих варіантів його реалізації.

2. Аналіз фізико-хімічних особливостей процесів. Технологічні процеси поділяють за класом, складністю і характером.

Класи технологічних процесів:

а) гідромеханічні процеси: переміщення рідин, розділення неоднорідних систем, очищення газів;

б) теплові процеси: нагрів, охолодження, випарювання, кристалізація;

в) масообміні процеси: ректифікація, абсорбція, сушка, екстракція;

г) механічні процеси: подрібнення, дозування, переміщення твердих матеріалів;

д) хімічні процеси: окиснення, відновлення, синтез, розкладання солей, нейтралізація, дегідратація, електроліз, сульфування, лужне плавлення, полімеризація, омилення, гідрогенізація, ароматизація, ізомеризація, крекінг.

За складністю технологічного процесу розрізняють:

а) процеси одного типу. Це процеси, які, незважаючи на відмінності у виді речовин і апаратному оформленні, відбуваються за одними і тими ж законами, характеризуються аналогічними залежностями між параметрами. Для них розробляють типові рішення з автоматизації з незначними змінами;

б) процеси, що описуються кількома законами. Наприклад, в ректифікаційній колоні відбуваються процеси, які характеризуються законами гідродинаміки (переміщення потоків), тепло- і масопередачі (тепло- і масообмін між потоками рідини і пари).

За характером технологічного процесу розрізняють:

а) безперервні процеси. Наприклад, нафтопереробні установки, виробництво синтетичного каучуку, кислот. У цих установках сировина і реагенти в об'єкт управління надходять безперервно, тривалість роботи в одному режимі складає місяці і роки;

б) дискретні (періодичні) процеси. Наприклад, шинні, гумотехнічні, азбестові виробництва. Технологічний цикл

короткий і складає години або хвилини. В одному апараті відбуваються різні процеси. Також характерна часта зміна технологічних режимів.

3. Визначення зв'язку процесу з іншими виробництвами.

4. Порядок зміни технологічного режиму, умови пуску і зупину.

Технологічний режим – сукупність значень параметрів, що забезпечує управління процесом. Технологічний режим задають у вигляді технологічної карти, в якій приводять перелік параметрів, їх номінальні значення і допустимий діапазон зміни.

5. Вивчення особливостей ведення технологічного процесу в аварійних ситуаціях і дії оперативного персоналу.

6. Визначення призначення, конструкції, характеристик головного і допоміжного устаткування.

7. Вивчення головних матеріальних потоків сировини, теплоносіїв і додаткових середовищ.

8. Встановлення переліку параметрів, що характеризують хід процесу, їх номінальних значень, граничних відхилень і точності вимірів.

Вхідні параметри: показники матеріальних і енергетичних потоків на вході в апарат і, в деяких випадках, на його виході (витрата сировини, тиск пари). Їх зміни призводять до змін режимних параметрів.

Режимні параметри характеризують умови протікання процесу в апараті (температура, рівень рідини, склад продуктів). Значення режимних параметрів впливають на вихідні параметри.

Вихідні параметри – звітні економічні та основні техніко-економічні показники процесу (якість, собівартість, продуктивність, витрати на виробництво кінцевої продукції). Підтримка вихідних та/або режимних параметрів на необхідному рівні або в заданому діапазоні є обов'язковою умовою ведення технологічного процесу.

9. Визначення показників якості продукції.

10. Вивчення збурень, що впливають на об'єкт управління. Об'єкти управління піддаються збуренням, що порушують їх технологічний режим:

а) *Зовнішні* збурення виникають при зміні вхідних, деяких вихідних параметрів, а також при зміні параметрів довкілля. Приклад зовнішніх збурень – зміна тиску пари порушує теплообмін в нагрівачі і температуру продукту на його виході.

б) *Внутрішні* збурення виникають в об'єкті управління в результаті зміни характеристик технологічного устаткування. Приклад внутрішніх збурень – зміна активності каталізатора, відключення окремих апаратів, забруднення і корозія внутрішніх поверхонь.

11. Визначення мети функціонування системи автоматизації.

12. Аналіз економічного ефекту від впровадження системи.

1.3 Параметричний аналіз ОУ

Першочерговим завданням при розробці АСКТП є вибір параметрів, що беруть участь в управлінні. Це параметри, які необхідно контролювати, реєструвати, регулювати, які дозволяють визначити аварійний стан ОУ.

Контролю підлягають параметри, за значеннями яких здійснюється оперативне управління технологічним процесом, його пуск і зупин:

а) параметри, що забезпечують пуск і зупин технологічного процесу;

б) нерегульовані режимні і вхідні параметри, зміни яких призводять до значних збурень на процес;

в) регульовані вхідні величини;

г) режимні параметри, значення яких регламентуються технологічною картою;

д) вихідні параметри;

е) технологічні параметри вибухонебезпечних ОУ.

Реєстрації підлягають:

а) параметри, що характеризують стан вибухонебезпечних ОУ;

б) витрати цінної сировини (кислоти, луги);

в) витрати енергії, палива, енергоносіїв (пари, стислого повітря, оборотної води);

г) параметри, що характеризують повноту перетворень в системі;

д) показники якості продукції;

е) основні режимні параметри.

Регульовані параметри:

а) вхідні регульовані параметри (їх стабілізація скорочує число збурень, що діють на процес);

б) регульовані режимні параметри;

в) параметри, що характеризують роботу устаткування, показники якості продукту.

Регульовані параметри обирають шляхом дослідження статичних і динамічних характеристик процесу (рис. 1.1).

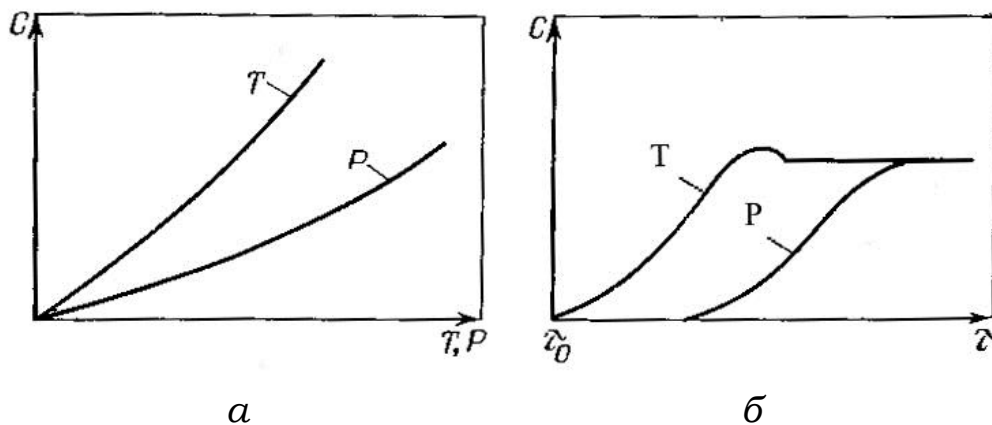


Рис. 1.1 – Залежність виходу цільового продукту C від температури T і тиску P в апараті:

а – статичні характеристики, б – динамічні характеристики

Статичні характеристики дозволяють оцінити ступінь взаємного впливу параметрів в стаціонарних режимах роботи об'єкта. На рис. 1.1,а показано залежність виходу цільового продукту (C) від температури (T) і тиску (P) в апараті. Зміна тиску P не чинить помітного впливу на параметр C . Тому вихід цільового продукту слід підтримувати зміною температури.

Динамічні характеристики дозволяють дослідити зміни регульованих величин у часі. Як видно з рис. 1.1,б, найменше запізнювання відповідає зміні температури T (t_0 – момент нанесення збурення на процес).

В якості каналу регулювання обирається канал з меншим запізнюванням, інерційністю, з більшою чутливістю та лінійністю.

Необхідно враховувати, що регулюючі дії, які спрямовані на регулювання одного параметра, чинять вплив на інші показники процесу.

Розрізняють наступні регулятори і режими регулювання:

- а) стабілізуючі (задане значення регульованого параметра постійне в часі);
- б) програмні (задане значення регульованого параметра змінюється в часі за відомою залежністю);
- в) слідкуючі (задане значення регульованого параметра визначається поточним значенням іншого параметра);
- г) екстремальні (задане значення регульованого параметра відповідає екстремальному значенню параметра для виробничих умов).

При невиконанні мети функціонування ОУ, виникненні критичних ситуацій або при переході на інший вид продукції (зміна технологічного режиму), оператор коригує роботу регулятора зміною завдання або коефіцієнтів налаштування.

Сигналізовані параметри обирають з урахуванням вибухо- і пожежонебезпечності об'єкту, токсичності і агресивності речовин.

Попереджувальній і передаварійній сигналізації підлягають:

- а) параметри, граничні значення яких можуть привести до вибухів і пожеж, нещасних випадків, виведення із ладу устаткування, істотному порушенню технологічного режиму;
- б) режимні параметри;
- в) показники якості продукції, що дозволяють відстежити випуск браку;
- г) параметри, відхилення яких від номінальних значень може привести до аварійного зупину агрегатів.

Оперативний технологічний персонал при включенні сигналізації повинен прийняти заходи з ліквідації небажаних подій. Якщо заходи виявляються неефективними, то необхідно передбачити системи протиаварійного захисту (ПАЗ), які автоматично за заданою програмою повинні:

- а) перерозподіляти матеріальні і енергетичні потоки;
- б) закривати запірну арматуру на трубопроводах підведення середовища до апаратів;
- в) припиняти реакційні процеси;

- г) знімати тиск в апаратах;
- д) відключати апарати для запобігання вибуху, аварії, нещасному випадку, випуску браку;
- е) включати вентиляцію.

Повернення ОУ до робочого стану здійснюється технологічним персоналом. У системі передбачають дистанційне керування для ручного управління виконавчими механізмами.

1.4 Функції АСКТП

Мета роботи АСКТП досягається при виконанні ряду функцій, об'єднаних за призначенням в підсистеми:

- а) інформаційну;
- б) керуючу;
- в) допоміжну.

Після встановлення інформаційних та керуючих функцій їх наводять в табличній формі.

Інформаційна підсистема надає персоналу оперативну, достовірну, оброблену відповідним чином інформацію про поточний, майбутній і минулий стан ОУ.

Функції, що виконуються інформаційною підсистемою:

1. Збір і первинна обробка інформації. Дана функція передбачає наступні операції:

а) опитування чутливих елементів із заданою частотою. Частота опитування визначається особливостями ОУ (від декількох секунд до години). Виміряне значення використовується до наступного звернення до датчика;

б) фільтрація. Забезпечує відкидання неістинних значень параметрів, що отримуються при збої вимірювальної системи, і їх заміну розрахованими значеннями;

в) прогнозування значень параметрів. Необхідність в прогнозованих значеннях виникає в аварійних ситуаціях;

г) усереднювання параметрів за задані проміжки часу (годину, зміну, добу);

д) введення поправок у виміряні значення (наприклад, при визначенні витрати за результатами вимірювання перепаду тиску на звужуючому пристрої вводиться поправка на зміну густини середовища при зміні її температури);

е) розрахунок показників якості продуктів. Розрахунки показників здійснюються методами математичної статистики, шляхом одержання рівнянь регресії, що зв'язують показники якості і вимірювані параметри. Результати лабораторних аналізів використовують для коригування параметрів рівнянь;

ж) розрахунок техніко-економічних показників (кількість виробленої продукції, витрата сировини, палива, електроенергії, допоміжних матеріалів, продуктивність ОУ).

2. Контроль стану ОУ. Дана функція передбачає:

а) виявлення відхилень поточних значень параметрів за межі технологічних і аварійних діапазонів;

б) контроль стану устаткування, облік його напрацювання і визначення термінів ремонту.

3. Реєстрація технологічних параметрів.

4. Документування інформації про хід технологічного процесу.

5. Попереджувальна сигналізація.

6. Аварійна сигналізація.

7. Обмін інформацією з АСКТП вищого рівня.

Керуюча підсистема призначена для вироблення і реалізації керуючої дії на ОУ.

Функції, що виконуються керуючою підсистемою:

1. Регулювання технологічних параметрів.

2. Програмно-логічне управління, а саме: включення і відключення апаратів та насосів, зміна технологічних режимів роботи ОУ.

3. Оптимальне управління (пошук і здійснення оптимальних керуючих дій, що забезпечують досягнення мети управління).

4. Блокування роботи устаткування.

5. Управління приводами.

6. Ручне дистанційне керування виконавчими механізмами і приводами.

Допоміжна підсистема АСКТП виконує функції, що забезпечують її нормальну експлуатацію:

1. Організацію комплексу технічних засобів як єдиного цілого.

2. Діагностику стану технічних засобів АСКТП.

3. Контроль функціонування системи АСКТП.
4. Організацію спільної роботи з іншими АСК.
5. Організацію системи переривань (визначення пріоритету завдань, що вирішуються).
6. Аварійне виключення устаткування АСКТП.

1.5 Приклад параметричного аналізу ОУ

Схему процесу змішування рідин наведено на рис. 1.2.

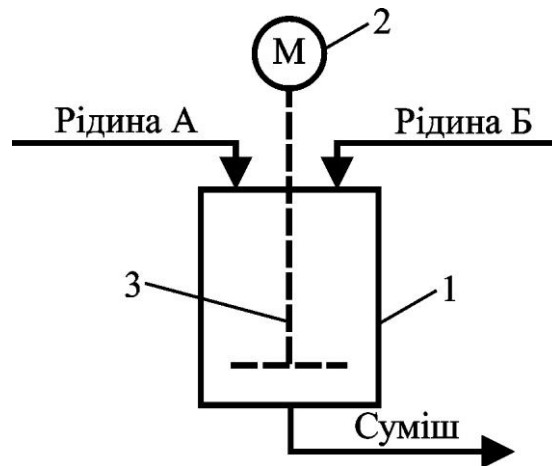


Рис. 1.2 – Схема змішування рідин:
1 – ємність; 2 – двигун; 3 – мішалка

Об'єкт управління – ємність для змішування рідин.

Дві чисті рідини А і Б безперервно надходять в ємність з мішалкою, де повністю перемішуються з утворенням суміші. Цільовий продукт безперервно відбирається з ємності, якість змішування визначається концентрацією компонента Б в суміші.

Процес характеризують наступні параметри:

- а) витрата рідини А;
- б) витрата рідини Б;
- в) витрата суміші;
- г) якість суміші (концентрація компонента Б в суміші);
- д) рівень в змішувачі;
- е) витрати енергії на змішування.

Основне збурення на процес полягає в довільних змінах витрати рідини А в змішувач. Система регулювання у відповідь

на збурення, що надходить в об'єкт, повинна підтримувати необхідну якість суміші і постійний рівень в змішувачі.

Регульовані параметри:

а) концентрація компонента Б в суміші. Необхідна якість суміші на виході забезпечується шляхом зміни витрати рідини Б в змішувач;

б) рівень в ємності. Підтримується постійним шляхом зміни витрати суміші, що відбирається із змішувача.

Параметри контролю і керування процесом наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри контролю і керування

Параметр	Інформаційні функції			Керуючі функції			
	Контроль	Реєстрація	Сигналізація	Регулювання	Логічне керування	Блокування	Ручне керування
Витрата рідини А в ємність	+	+	-	-	-	+	-
Витрата рідини Б в ємність	+	+	-	-	-	+	+
Витрата суміші на виході ємності	+	+	-	-	-	-	+
Склад суміші на виході ємності	+	+	-	+	-	-	-
Рівень в змішувачі	+	-	+	+	-	-	-
Витрата енергії на обертання мішалки	+	+	-	-	-	-	-

2 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Функціональна схема автоматизації (ФСА) – головний технічний документ, який відображує функціональну блочну структуру вузлів автоматичного контролю, сигналізації, управління, регулювання технологічного процесу, визначає оснащення об'єкту пристроями і засобами автоматизації, дає уявлення про об'єкт управління.

ФСА виконують відповідно до ДСТУ Б А.2.4-16:2008. На схемі автоматизації зображують:

- а) технологічне устаткування і комунікації (трубопроводи, газоходи) об'єкту;
- б) технічні засоби автоматизації, контури контролю, регулювання і управління;
- в) лінії зв'язку між технічними засобами автоматизації або контурами.

2.2 Технологічне устаткування і комунікації на ФСА зображують спрощено у верхній частині креслення, відповідно до схеми, прийнятої в технологічному проекті. Можливе зображення об'єктів управління у вигляді прямокутників (ГОСТ 2.793-79, ГОСТ 2.782-68) з позначеннями, які відображують принцип дії машин і апаратів (ГОСТ 2.792-74, ГОСТ 2.794-79, ГОСТ 2.795-80). Товщина ліній позначень апаратів і машин 0,2-0,5 мм. Біля кожного апарату вказують найменування або позиційне позначення (арабськими цифрами). При позиційному позначенні апаратів на вільному місці схеми наводять таблицю з переліком устаткування (рис. 2.1).

20 мм	120 мм	10 мм	35 мм
Поз.	Найменування	К-ть	Прим.
1	Насос	8	
В-5	Відстійник	2	V=202м ²

Рис. 2.1 – Приклад таблиці з переліком устаткування

Технологічні комунікації і трубопроводи рідини і газу зображують умовними позначеннями (ГОСТ 2.784-70), наведеними в табл. 2.1.

Для більш детальної вказівки характеру середовища до цифрового позначення може додаватися буквенний індекс, наприклад, вода чиста – 1ч; пара перегріта – 2п.

Для рідин і газів, не передбачених в табл. 2.1, допускається використовувати для позначення інші цифри, але обов'язково з необхідними поясненнями нових умовних позначень на вільному полі схеми.

Таблиця 2.1 – Умовні позначення трубопроводів

Вміст трубопроводу	Умовне позначення	Вміст трубопроводу	Умовне позначення
Вода	-1-1-	Рідке пальне	-15-15-
Пара	-2-2-	Водень	-16-16-
Повітря	-3-3-	Ацетилен	-17-17-
Азот	-4-4-	Фреон	-19-19-
Кисень	-5-5-	Метан	-20-20-
Аргон	-6-6-	Етилен	-21-21-
Гелій	-8-8-	Пропан	-22-22-
Аміак	-11-11-	Пропілен	-23-23-
Кислота (окисник)	-12-12-	Бутан	-24-24-
Луг	-13-13-	Бутилен	-25-25-
Масло	-14-14-	Вакуум	-27-27-

Інформацію про матеріальні потоки, що використовуються в системі, наводять у вигляді таблиці (рис. 2.2) на вільному полі креслення.

60 мм	125 мм
Номер трубопроводу	Найменування
-1-1-	Вода
-29-29-	Шихта

Рис. 2.2 – Приклад таблиці з позначенням трубопроводів

На позначеннях трубопроводів проставляють стрілки, що вказують напрям руху середовища. Стрілка зображується

рівностороннім трикутником зі стороною 3 мм. Для газоподібних середовищ трикутник не зафарбовується, для рідких або порошкоподібних середовищ – зафарбовується. На вході і виході речовини з трубопроводу робиться відповідний напис (рис. 2.3).

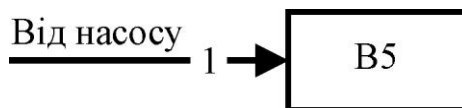


Рис. 2.3 – Приклад позначення трубопроводів

2.3 Умовні зображення приладів і засобів автоматизації, які застосовуються в схемах, включають графічні зображення, літерні і цифрові позначення. Умовні графічні (табл. 2.2), літерні (табл. 2.3) і цифрові позначення приладів приймають за ДСТУ Б А.2.4-16:2008.

Таблиця 2.2 – Графічні зображення приладів, засобів автоматизації та ліній зв'язку

Найменування	Зображення
Прилад, що встановлений за місцем.	
Прилад, що встановлений на щиті, пульті	
Виконавчий механізм	
Лінія зв'язку	
Регулюючий орган	
Сигнальна лампа	
Електрична машина, двигун	

Таблиця 2.3 – Літерні позначення вимірюваних величин і функціональних ознак приладів

Позначення	Основне позначення вимірюваної величини	Додаткове позначення вимірюваної величини	Функціональна ознака приладу
A			Сигналізація
C			Керування, регулювання, управління
D	Густина	Різниця, перепад	
E	Електрична величина		
F	Витрата	Співвідношення, частка, дріб	
G	Розмір, положення, переміщення		
H	Ручна дія		Верхня межа вимірюваної величини
I			Показання
J		Автоматичне перемикавання, оббігання	
K	Час, часова програма		
L	Рівень		Нижня межа вимірюваної величини
M	Вологість		
P	Тиск, вакуум		
Q	Величина, що характеризує якість: склад, концентрація	Інтегрування, підсумовування за часом	
R	Радіоактивність		Реєстрація
S	Швидкість		Включення, відключення, перемикавання, блокування
T	Температура		
V	В'язкість		
W	Маса		

Лінії зв'язку між приладами та контурами зображуються на ФСА однолінійно (товщиною 0,2 – 0,3 мм) незалежно від кількості дротів і труб. Підведення лінії зв'язку до позначення приладу допускається з будь-якої сторони.

Дозволяється перетин ліній зв'язку із зображеннями технологічного устаткування і комунікацій, не дозволяється – з позначеннями приладів. Місця розривів ліній зв'язку нумерують арабськими цифрами. На лініях зв'язку вказують граничні (максимальні або мінімальні) робочі значення вимірюваних величин в одиницях їх виміру або в одиницях шкали обраного приладу. Розрідження (вакууму) позначається знаком "мінус".

Контур контролю, регулювання і управління – сукупність функціонально пов'язаних приладів, що виконують завдання контролю, регулювання, сигналізації, управління.

У нижній частині графічного зображення приладу або засобу автоматизації наносять його позиційне позначення. Позиційне позначення складається з номеру відповідного контуру (функціональної групи) та літерного або цифрового позначення приладу у контурі. Нумерацію здійснюються послідовно проходженню сигналу

У верхній частині графічного зображення наносять літерні позначення вимірюваної величини і функціональної ознаки приладу, що визначає його призначення.

Порядок розташування букв у літерному позначенні наступний:

- основне позначення вимірюваної величини;
- додаткове позначення вимірюваної величини (за необхідності);
- позначення функціональної ознаки приладу.

Порядок розташування літерних позначень функціональних ознак приладу приймають із дотриманням послідовності позначень: I, R, C, S, A.

Граничні значення вимірюваних величин допускається конкретизувати додаванням літер Н і L. Ці літери наносять праворуч від графічного зображення приладу.

Додаткові літерні позначення, що відображають функціональні ознаки приладів:

Е – чутливий елемент, первинний вимірювальний перетворювач;

Т – дистанційна передача;

К – станція управління;

У – перетворення, обчислювальні функції.

Порядок побудови умовних зображень із застосуванням додаткових літер наступний:

- основне позначення вимірюваної величини;
- одна з додаткових букв: Е, Т, К або У.

Прилади, що вбудовуються в технологічні комунікації, зображують в розриві ліній комунікацій (рис. 2.4,а).

Прилади, що встановлюються на технологічному обладнанні і конструктивно з ним пов'язані, показують поруч (рис. 2.4,б).

Місце розташування пристрою або його чутливої частини всередині апарату вказують колом діаметром 2,5 мм (рис. 2.4,в).

Комплексні пристрої (контролери, керуючі машини) позначаються прямокутниками довільного розміру (товщина ліній 0,5-1 мм) у нижній частині схеми. Прямокутники рекомендується розташовувати у наступній послідовності зверху донизу:

- прилади місцеві (встановлені без шафи та щитів);
- прилади щитові, що розташовані у шафах місцевих приладів, на щитах (пультах) місцевого керування, щитах (пультах) вимірювальних приладів або щитах (пультах) перетворювачів;
- мікропроцесорна техніка;
- станція оператора.

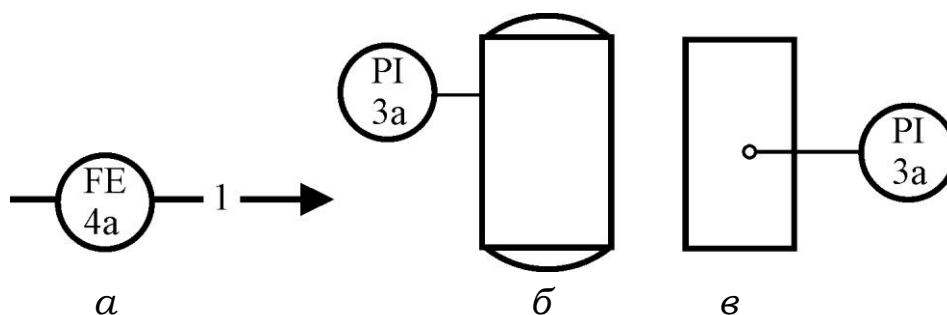


Рис. 2.4 – Умовні позначення приладів:

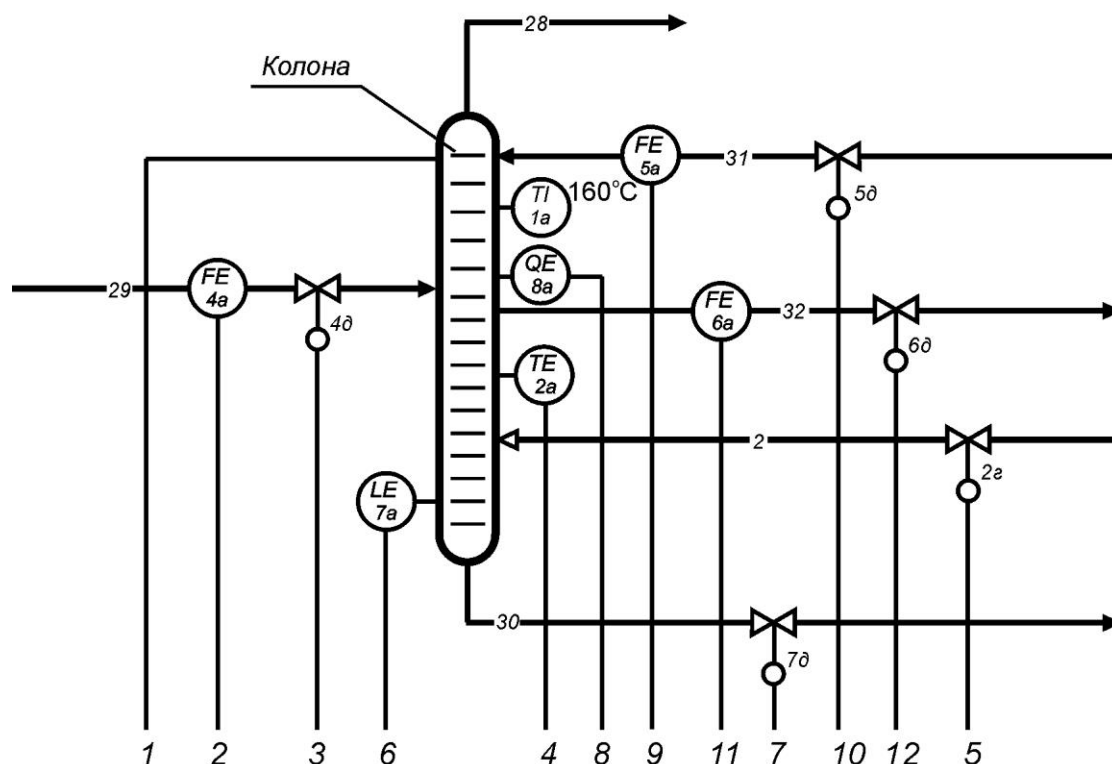
а – прилад вбудовано в комунікації;

б – прилад встановлено на устаткуванні;

в – вказівка конкретного місця розташування пристрою

Приклад функціональної схеми автоматизації наведено на рис. 2.5.

Номер трубопроводу	Найменування
- 2 - 2 -	Водяна пара
-28 - 28 -	Продукт
-29 - 29 -	Сировина
-30 - 30-	Кубова рідина
-31 - 31 -	Флегма на зрошування
-32 - 32 -	Проміжна фракція



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	0,5 МПа	50 м³/год		130°C		1,2 м			20 м³/год		10 м³/год	
Місцеві прилади	PT 3a	FT 4a	NS 4a		NS 2a	LT 7a	NS 7a	QT 8a	FT 5a	NS 5a	FT 6a	NS 6a
Щит автоматики			HC 4a		HC 2a		HC 7a			HC 5a		HC 6a
Ремиконт Р-130	Контроль	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Реєстрація	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Сигналізація		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Регулювання		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Ручне управління		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Рис. 2.5 – Приклад функціональної схеми автоматизації

3 ПРИСТРОЇ ЗВ'ЯЗКУ З ОБ'ЄКТОМ І КОНТРОЛЕРИ

3.1 Пристрої зв'язку з об'єктом (ПЗО) застосовують для узгодження аналогових, дискретних, імпульсних, цифрових сигналів.

Модулі ПЗО здійснюють:

- приймання і дешифрування команд за цифровим каналом;
- введення і перетворення аналогових та уніфікованих сигналів;
- опитування стану дискретних входів;
- фільтрацію аналогових і дискретних входних сигналів для зниження завад з частотою мережі змінного струму; хаотичних імпульсних завад, що викликані перехідними процесами у вимірювальному каналі; завад, які пов'язані із комутацією виконавчих механізмів;
- гальванічну розв'язку між джерелами сигналу і каналами зв'язку системи;
- виведення аналогових (струм і напруга) і дискретних сигналів;
- аналого-цифрове (модулі аналогового введення) перетворення;
- цифро-аналогове (модулі аналогового виводу) перетворення;
- перетворення значень сигналів в задані одиниці вимірювання;
- формування і передавання за вказаною адресою інформації, що містить результат вимірювання або стан дискретних входів, після отримання запиту за цифровим каналом.

ПЗО виконують у вигляді окремих модулів, вони можуть входити до складу інтелектуальних датчиків або промислових комп'ютерів. Для зв'язку між персональними комп'ютерами (ПК) і ПЗО використовують цифрові інтерфейси (ЦІ): RS-232, RS-422, RS-485 та ін. Зв'язок між датчиками, виконавчими механізмами і ПЗО може бути аналоговим, дискретним або цифровим.

Аналогові ПЗО працюють з сигналами частоти, струму, напруги, сигналами терморезисторів, термопар.

Дискретні ПЗО забезпечують опитування датчиків з релейним виходом, кінцевих вимикачів, контроль наявності в ланцюзі напруги, струму і т.д.

Засоби автоматизації використовують цифрове представлення величин, які обробляються. Модулі ПЗО, що працюють з цифровою інформацією:

- комунікаційні модулі, призначені для створення інформаційних мереж або їх сегментів;
- повторювачі, що сприяють збільшенню протяжності ліній зв'язку;
- перетворювачі інтерфейсів: RS-232/RS-485, Ethernet 100BASE-TX/100BASE-FX;
- пристрої введення, забезпечують передавання сигналу від датчиків в пристрій обробки;
- пристрої виводу, для формування сигналів виконавчим механізмам;
- двонаправлені модулі ПЗО, забезпечують введення і виведення сигналів.

Вихідні ПЗО формують сигнали управління пускачами, двигунами і іншими пристроями.

Налаштування і калібрування модулів здійснюється дистанційно за каналами зв'язку. Найбільшої популярності в промисловості отримали наступні модулі ПЗО: серія *ADAM-4000 (3000)* фірми *Advantech*; серія *5B, 6B* фірми *Analog Devices*; модулі фірми *Grayhill - 70*, модулі типу *ПЗО-MT*.

3.2 У архітектурі АСКТП контролери займають 2-й рівень, між рівнем датчиків, виконавчих механізмів і рівнем систем управління технологічним процесом.

Функції контролера:

- а) контроль параметрів технологічного процесу;
- б) управління технологічним устаткуванням;
- в) контроль роботи устаткування, несправностей, позаштатних і аварійних ситуацій;
- г) обмін даними з контролерами одного рівня і системами вищих рівнів;
- д) діалог з оператором;
- е) ведення архіву даних;

ж) ведення журналу подій.

Функціональні елементи контролерів:

- а) корпус;
- б) джерело живлення;
- в) модуль процесора;
- г) модулі вводу-виводу;
- д) модулі зв'язку і інтерфейсів;
- е) спеціалізовані модулі.

Джерело живлення забезпечує контролер електричним струмом заданої напруги і заданої потужності, а також захист від завад в електромережі.

Використання джерел безперебійного живлення, дозволяє забезпечити безперервну роботу контролера і зберегти інформацію при відключенні зовнішнього електроживлення.

Модуль процесора залежно від елементної бази буває 8-, 16-, 32-розрядний. Об'єм оперативної пам'яті різних моделей складає від десятків кілобайт до десятків мегабайт. Як накопичувачі інформації використовуються перепрограмовані постійні запам'ятовуючі пристрої (ППЗУ) і flash-пам'ять. У модуль процесора вбудовано таймер реального часу.

Модулі вводу-виводу перетворюють вхідні аналогові і дискретні сигнали в цифрову форму, а також формують аналогові або дискретні керуючі сигнали.

Модулі аналогового вводу призначені для перетворення уніфікованих сигналів струму (0-5 мА, 4-20 мА) і напруги (0-10 В, ± 10 В) в цифровий сигнал. Спеціалізовані модулі передбачають підключення датчиків (термопар, термоопорів). Ряд модулів має вбудовану діагностику стану вхідних ліній (обрив, замикання дротів) з виданням аварійного повідомлення контролеру або світловою індикацією на корпусі модуля.

Модулі аналогового виводу перетворюють цифровий сигнал в уніфікований сигнал струму або напруги. Модулі дискретного вводу-виводу працюють з дискретними сигналами 24 В постійного струму.

Деякі моделі контролерів мають *модулі дискретного вводу сигналів* постійного або змінного струму (до 250 В), *модулі дискретного виводу* на тиристорах або симісторах (до 250 В,

300-500 мА), *сильнострумові реле* (забезпечують комутацію при напрузі 250 В та струмі 2 А).

Модулі зв'язку і інтерфейсів забезпечують зв'язок контролерів із:

- датчиками нижнього рівня, обладнаними відповідними інтерфейсами (вихрові витратоміри *Prowirl* з виходом *Profibus PA*);

- комплектними системами автоматизації технологічного устаткування (шафи управління насосними установками фірми *Grundfos*);

- іншими ПЛК;

- терміналами людино-машинного інтерфейсу для відображення ходу технологічного процесу, що дозволяють організувати робоче місце оператора і не використовувати персональний комп'ютер;

- верхнім рівнем системи контролю і управління виробництвом.

Для зв'язку використовують послідовні інтерфейси: *RS-232*, *RS-422*, *RS-485*, *ИПРС*; мережеві протоколи передавання даних: *Ethernet*, *Profibus*, *CAN*, *Modbus* та ін.

Для систем з підвищеним рівнем надійності застосовують резервування контролерів. У систему, окрім основного, вводять додатковий резервний контролер, який конфігуровано аналогічно основному. Коли відбувається відмова основного контролера, управління приймає резервний, що забезпечує безперервність керування без якої-небудь ініціалізації або втручання оператора. Перемикання не викликає збурень вихідних сигналів засобів автоматизації, технологічний процес триває в звичайному режимі, що особливо важливо для категорій виробництв підвищеної небезпеки.

3.3 Програмований мікропроцесорний контролер (МПК) призначений для обробки інформації, що збирається датчиками, її відображення для персоналу, формування і видачі керуючих дій на виконавчі пристрої, реєстрації і реакції на позаштатні і аварійні ситуації в роботі устаткування. Для програмування контролерів застосовують технологічні мови.

Технологічні мови програмування дозволяють проводити опитування входів і ініціалізацію виходів, виконувати арифметичні і логічні операції, керувати таймерами-лічильниками, здійснювати зв'язок з іншими ПЛК і комп'ютером.

Відповідно до міжнародного стандарту ІЕС 61131-3 (МЭК 61131-3) використовуються наступні мови програмування контролерів:

- LD (Ladder Diagram) – графічна мова розробки, є аналогом електричних релейних схем;
- FBD (Function Block Diagram) – графічна мова, програма будується у вигляді послідовності функціональних блоків;
- SFC (Sequential Function Chart) – графічна мова, програма є послідовністю кроків, об'єднаних переходами. Детальне виконання операцій на кожному кроці описується за допомогою інших мов стандарту МЭК 61131-3;
- IL (Instruction List) – текстова асемблероподібна мова, що дозволяє створювати компактні програми з високою швидкістю виконання і мінімальними вимогами до ресурсів контролера;
- ST (Structured Text) – текстова мова високого рівня, подібна до мови Pascal, що дозволяє легко реалізовувати складні математичні і логічні операції, безумовні і умовні переходи, циклічні обчислення, перетворення типів даних, а також роботу із складними типами даних і блоками даних в пам'яті контролера.

Введення програм в пам'ять контролера здійснюють за допомогою програматорів або через інтерфейс комп'ютера. Виробники постачають пакети програм для створення і налагодження програмного забезпечення контролера на комп'ютері, а також симулятори і спеціалізовані редактори, у тому числі графічні.

3.4 Програмовані логічні контролери (ПЛК) працюють в локальних і розподілених АСКТП. Не мають клавіатури, дисплея. ПЛК - "вільно програмовані" (*SoftLogic*) системи, що працюють в режимі реального часу. Програмуються з використанням SCADA-систем. Через промислову мережу Industrial Ethernet взаємодіють з операторськими панелями, операторськими станціями на базі ПК, з іншими контролерами.

3.5 Основні параметри контролерів

1. Потужність:

- розрядність і швидкодія центрального процесора;
- об'єм різних видів пам'яті;
- число портів і мережевих інтерфейсів;
- число входів і виходів (аналогових і дискретних), які можуть бути приєднані до контролера.

2. Сфера застосування:

– *Спеціалізований контролер із вбудованими функціями* містить процесор мінімальної потужності, а зміні підлягають тільки параметри програми. Число і набір модулів вводу-виводу визначається функціями, що реалізуються. Сфери застосування: локальне управління малою технологічною установкою або механізмом, наприклад, управління нагрівом муфельної печі.

– *Контролер, що реалізує логічні залежності.* У пам'яті прошиті бібліотеки логічних функцій і функцій блокування типових виконавчих механізмів. Модулі вводу-виводу мають, найчастіше, дискретні канали. Застосовується у верстатобудуванні, машинобудуванні.

– *Контролер, що реалізує обчислювальні і логічні функції.* Має потужний центральний процесор і значний об'єм пам'яті, розрахункові потужності достатні для виконання логічних і математичних функцій. У складі модулів вводу-виводу аналогові, дискретні, імпульсні канали.

3. Відкритість архітектури:

- із закритою структурою (компоненти одного виробника);
- з відкритою структурою (компоненти різних виробників).

4. За конструктивним виконанням контролери можуть:

- вбудовуватись;
- розміщуватись в загальному конструктиві;
- виготовлятись модульного типу.

Контролери, які вбудовуються, не мають власного корпусу, розміщуються в корпусі устаткування.

У контролерах, що розміщуються в загальному конструктиві, процесорний модуль, комунікаційні модулі,

модулі вводу-виводу розташовуються в одному конструктиві. Передбачається "материнська" плата з роз'ємами для під'єднання модулів.

Контролери модульного типу не використовують загального конструктиву. Модуль має власний корпус, що призначений для важких умов експлуатації.

3.6 Контролер Ремиконт Р-130ISa має розширені функціональні можливості; високу продуктивність обробки і передавання даних; розвинену систему програмування; засоби самодіагностики, сигналізації, ідентифікації несправностей при відмовах, виходах сигналів за допустимі межі, порушеннях обміну даними у мережі. Має PC-сумісний процесор на базі i386SX40, також містить:

- flash-пам'ять (DiskOnModule) об'ємом 8 МВ для зберігання програмного забезпечення і технологічних програм користувача;

- оперативну незалежну пам'ять об'ємом 4 МВ для зберігання бази даних технологічної програми;

- 2 послідовні порти;

- динамічну пам'ять для виконання програм;

- таймер і таймер-календар, годинник реального часу;

- два системні канали підключення до Ethernet і Modbus;

- канал з інтерфейсом RS-232 для резервування контролерів;

- резидентне програмне забезпечення;

- операційну систему реального часу RTOS-32;

- виконавчу систему ISaGRAF Target.

- кількість контурів регулювання – до 8;

- 7 модулів МАС (аналогових сигналів), МДА (дискретно-аналогових сигналів), МСД (дискретних сигналів);

- блоки підсилювачів сигналів термопар БУТ-10;

- блоки підсилювачів сигналів термометрів опорів БУС-10;

- блоки підсилювачів потужності БУМ-10;

- блоки живлення БП-1, БП-4.

Мікропроцесорний блок – приладовий конструктив контролера Р-130, в нього встановлюють модуль процесора, 1-2

модулі вводу-виводу, лицьову панель, перетворювач 24 В постійного струму в 5 В постійного струму. Габаритні розміри 80x160x365 мм. При швидкому налаштуванні на об'єкті параметри контурів регулювання змінюють з лицьової панелі контролера. Для зв'язку з SCADA-системою використовується OPC-сервер.

При збиранні інформації від датчиків можуть виконуватись корекція вхідних сигналів, лінеаризація, фільтрація, арифметичні операції, розрахунок квадратного кореня.

Загальне число входів і виходів до 32, а саме:

а) входи: аналогові (0-5, 0-20, 4-20 мА, 0-10 В), дискретні (сигнали напругою до 24 В);

б) виходи: аналогові (0-5, 4-20 мА), дискретний "сухий" контакт, який витримує напругу до 36 В при струмі до 0,3 А;

Напруга живлення від 220 до 240 В змінного струму; 24 В постійного струму (за відсутності блоку БП-1). Умови експлуатації: температура від 1 до 45°C, вологість до 80%.

Похибки перетворення: АЦП до 0,4%; ЦАП до 0,5%.

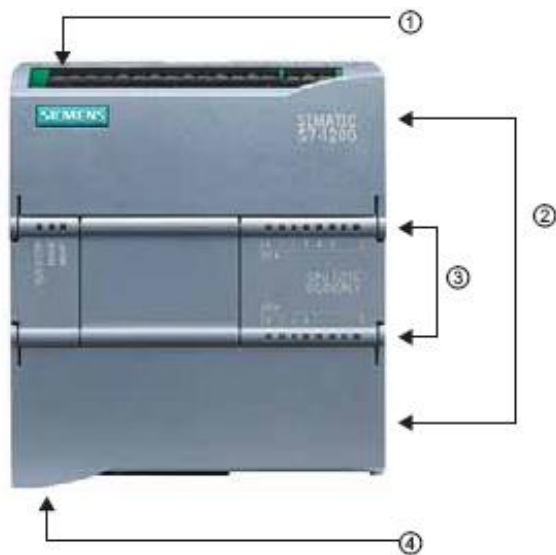
Число входів-виходів визначається платами розширення, що вставляються в контролер. Можливе підключення пристроїв сторонніх виробників за протоколом Modbus. Для перетворення сигналів термометрів опорів і термопар використовують двоканальні перетворювачі БУС-10 і БУТ-10.

3.7 Контролери Siemens, сімейство S7-1200 – серія програмованих логічних контролерів з можливістю використання мов програмування STEP 7 і Basic V10.5.

У корпусі контролера Siemens розміщені: мікропроцесор, вбудований блок живлення, вхідні і вихідні ланцюги (рис. 3.1).

Після завантаження програми CPU здійснює контроль і управління пристроями. Програма може включати булеві логічні операції, відлік часу, складні математичні операції, зв'язок з іншими інтелектуальними пристроями, обробку переривань від додаткових модулів контролера і зовнішніх пристроїв. CPU забезпечений портом для обміну даними через мережу PROFINET. Для обміну даними через мережі RS-485 або RS-232

застосовують комунікаційні модулі. Характеристики CPU наведені в табл. 3.1.

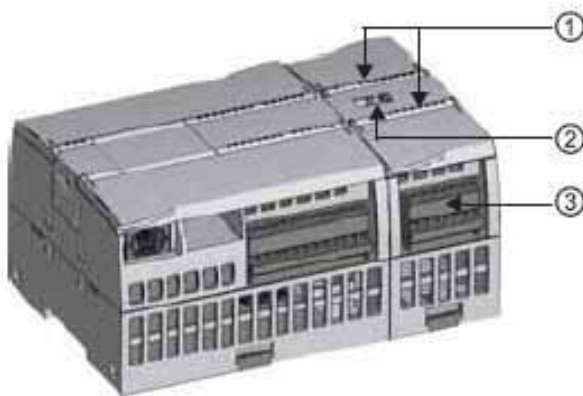


1. Роз'єм живлення;
2. Клемний блок та гніздо для карти пам'яті;
3. Світлодіоди стану вбудованих входів/виходів;
4. Роз'єм PROFINET.

Рис. 3.1 - Центральний процесорний пристрій (CPU)

Розширення можливостей CPU забезпечують сигнальні модулі і сигнальні плати. Для підтримки інших протоколів зв'язку можливо встановлювати додаткові комунікаційні модулі. Характеристики модулів наведені в табл. 3.2.

Сигнальні модулі (SM) підключають з правого боку CPU (рис. 3.2).



1. Світлодіоди стану входів/виходів сигнального модуля;
2. Шинний з'єднувач;
3. З'ємний клемний блок.

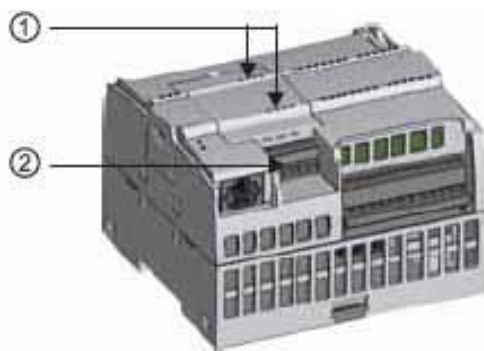
Рис. 3.2 – Сигнальний модуль (SM)

Сигнальна плата (SB) додає входи/виходи до CPU. Можна встановити одну SB з цифровими або аналоговим входами/виходами. SB підключається з передньої сторони CPU (рис. 3.3). SB може бути:

- з 4-ма цифровими входами/виходами;
- з 2-ма входами постійного струму і 2-ма виходами постійного струму;
- з 1-им аналоговим виходом.

Таблиця 3.1 - Характеристики CPU

Характеристика	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Геометричний розмір (мм)	90x100x75		110x100x75
Пам'ять, доступна користувачу - Робоча пам'ять - Пам'ять для завантаження - Пам'ять для зберігання	25 кбайт 1 Мбайт 2 кбайта		50 кбайт 2 Мбайта 2 кбайта
Локальні вбудовані входи/виходи - цифрові - аналогові	6 входів / 4 виходи 2 входи	8 входів / 6 виходів 2 входи	14 входів / 10 виходів 2 входи
Додаткові сигнальні модулі	відсутні	2	8
Сигнальна плата	1		
Комунікаційні модулі	3 (лівостороннє розширення)		
Швидкісні лічильники - однофазні - з зсувом фаз на 90°	3 3 на 100 кГц 3 на 80 кГц	4 3 на 100 кГц 1 на 30 кГц 3 на 80 кГц 1 на 20 кГц	6 3 на 100 кГц 3 на 30 кГц 3 на 80 кГц 3 на 20 кГц
Імпульсні виходи	2		
Карта пам'яті	Карта пам'яті SIMATIC		
PROFINET	1 комунікаційний порт для зв'язку з Ethernet		
Швидкість виконання арифметичних операцій	18 мкс/команду		
Швидкість виконання логічних операцій	0,1 мкс/команду		



1. Світлодіоди стану;
2. З'ємний клемний блок.

Рис. 3.3 – Сигнальна плата

Таблиця 3.2 – Характеристики модулів

Модуль		Тільки введення	Тільки виведення	Комбінація введення і виведення
Сигнальний модуль (SM)	Цифровий	8 входів пост. струму	8 виходів пост. струму 8 релейних виходів	8 входів пост. струму/ 8 виходів пост. струму 8 входів пост. струму/ 8 релейних виходів
		16 входів пост. струму	16 виходів пост. струму 16 релейних виходів	16 входів пост. струму/ 16 виходів пост. струму 16 входів пост. струму/ 16 релейних виходів
	Аналоговий	4 аналогові входи 8 аналогових входів	2 аналогові виходи 4 аналогові виходи	4 аналогові входи/ 2 аналогові виходи
Сигнальна плата(SB)	Цифрова	-	-	2 входи пост. струму/ 2 виходи пост. струму
	Аналогова	-	1 аналоговий вихід	-
Комунікаційний модуль (CM) забезпечує обмін даними за інтерфейсами RS485, RS232				

Комунікаційні модулі (CM), інтерфейси RS232 і RS485. CPU підтримує до 3-х комунікаційних модулів. Кожен CM

підключається до лівої сторони CPU або до лівої сторони іншого СМ (рис. 3.4).

STEP 7 Basic – середовище для розробки, редагування і контролю логіки, управління додатком; містить інструментальні засоби управління і конфігурації ПЛК і пристрої людино-машинного інтерфейсу. *STEP 7 Basic* надає дві технологічні мови програмування (*LAD* і *FBD*), інструментальні засоби для створення і конфігурації пристроїв людино-машинного інтерфейсу.



1. Світлодіоди стану комунікаційного модуля;
2. Комунікаційний роз'єм.

Рис. 3.4 – Комунікаційний модуль (СМ)

Фірма *Siemens* радить застосовувати спеціалізовану програму *Selection - Tool* для вибору оптимальних параметрів контролера.

Індикаторні панелі людино-машинного інтерфейсу *SIMATIC* – пристрої з сенсорним екраном, що дозволяють операторові здійснювати функції контролю і керування. Панелі мають ступінь захисту IP65 і сертифікати CE, UL, cULus і NEMA 4x.

Приклад індикаторних панелей:

- *Панель KTP 400 Basic PN* – монохромний (STN, шкала рівня сірого) сенсорний екран 4" з 4 тактильними клавішами. Орієнтація книжна або альбомна, розмір 3.8", роздільна здатність екрану – 320x240 пікселів.

- *Панель KTP 600 Basic PN*: кольоровий (TFT, 256 кольорів) або монохромний (STN, шкали рівня сірого) сенсорний екран 6", має 6 тактильних клавіш. Орієнтація книжна або альбомна, розмір 5.7", роздільна здатність екрану – 320x240 пікселів.

– *Панель KTP1000 Basic PN*: кольоровий (TFT, 256 кольорів), сенсорний екран 10", має 8 тактильних клавiш. Розмір 10.4", роздільна здатність екрану – 640x480 пікселей.

– *Панель TP1500 Basic PN*: кольоровий (TFT, 256 кольорів) сенсорний екран 15". Розмір 15.1", роздільна здатність екрану – 1024x768 пікселей.

3.8 При побудові функціональної схеми автоматизації (ФСА) з використанням контролера його марку і функції, що реалізуються в системі автоматичного управління, вказують в таблиці, яка розташовується в нижній частині ФСА. Вказані дані наводять нижче рядків «Прилади місцеві» і «Прилади щитові».

Приклад побудови функціональної схеми автоматизації з використанням контролера (*Ремиконт 130ISa*) наведено на рис. 3.5. Контролер реалізує функції: контролю технологічних параметрів (температура, витрата), реєстрації (витрата), регулювання параметрів (витрата), сигналізації (вихід параметрів витрати за мінімальну допустиму межу).

Обрані функції контролера: "Контроль", "Реєстрація", "Сигналізація", "Регулювання". У графі "Ручне управління" вказана необхідність управління виконавчими механізмами з автоматизованого робочого місця оператора (АРМ).

Прилади, що реалізують функції контролю і регулювання параметрів, утворюють два контури.

Контур 2 призначений для контролю температури. В нього входить термоперетворювач опору (поз. 2а), сигнал від якого надходить на вхід контролера. Термоперетворювач на схемі пов'язаний з контролером лінією зв'язку (1), біля лінії зв'язку вказано граничне значення контрольованого параметра (130°C). Оскільки для цього параметра передбачено тільки візуальний контроль (на індикаторній панелі АРМ), лінія зв'язку в графах функцій контролера подовжена до функції "Контроль", а точка на лінії зв'язку вказує на виконання функції контролю параметра.

Контур 7 призначений для регулювання витрати середовища в трубопроводі 29, а також для контролю і реєстрації витрати і сигналізації виходу витрати за допустиму

мінімальну межу. Контур 7 складається з контуру контролю параметра і контуру його регулювання.

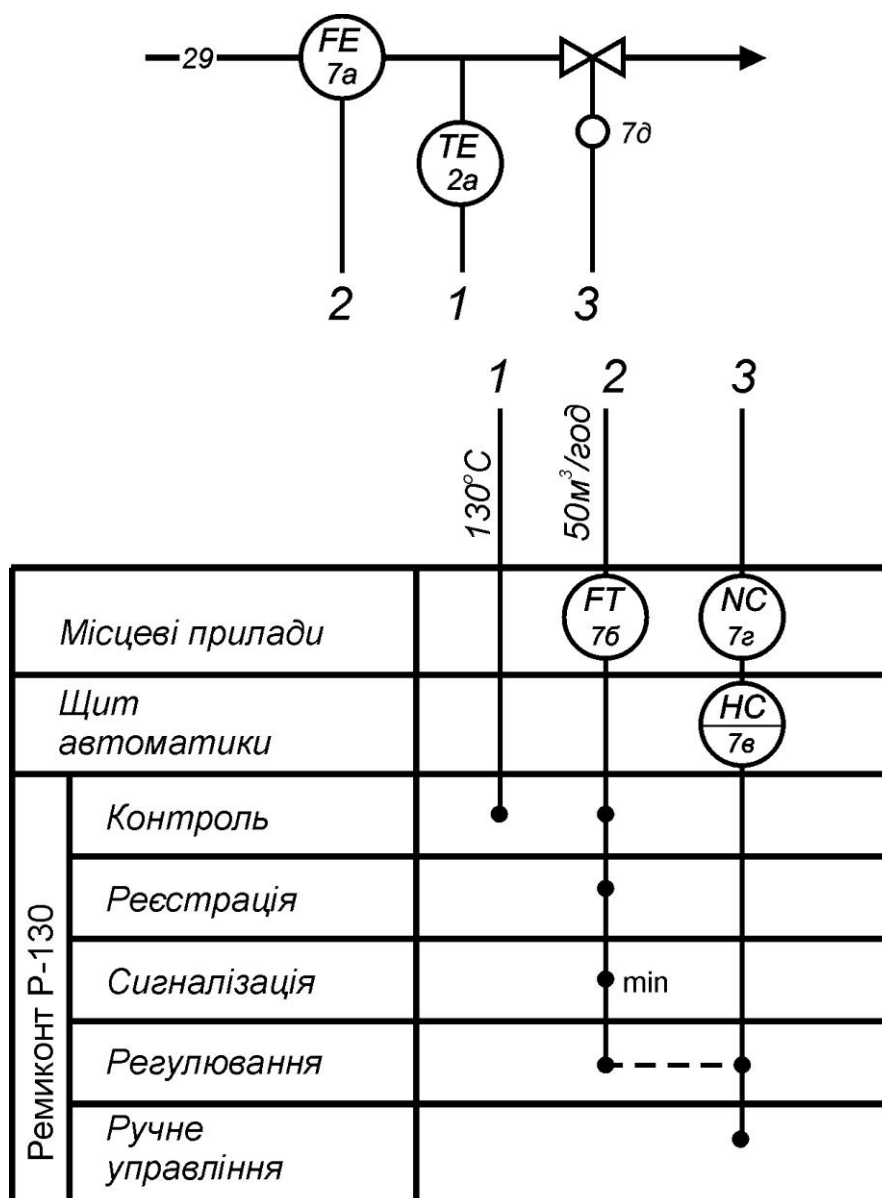


Рис. 3.5 – Функціональна схема автоматизації з використанням мікропроцесорного контролера

До контуру контролю належать датчик витрати (поз. 7а), блок (поз. 7б), що перетворює сигнал датчика в сигнал, що подається на вхід контролера, і контролер. Передавання сигналу між засобами вимірювання на схемі показано лінією зв'язку (2), біля якої вказано граничне значення витрати (50 м³/год). Лінія зв'язку проведена до графи "Регулювання". Точки на лінії в графах "Контроль", "Реєстрація", "Сигналізація" (сигналізується мінімальне значення витрати), "Регулювання" проставляються

відповідно до функцій, які виконуються контролером. Пунктирна лінія у графі "Регулювання" сполучає вимірювальний контур з контуром регулювання (здійснення керуючої дії).

До складу *контуру регулювання* витрати входять: блок ручного управління (поз. 7в), безконтактний реверсивний пускач (поз. 7г) і виконавчий механізм (поз. 7д), який змінює положення регулюючого органу і цим регулює витрату середовища в трубопроводі. Елементи контуру регулювання сполучає лінія зв'язку (3).

4 КОНТУРИ КОНТРОЛЮ І РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

4.1 Контури контролю технологічних параметрів виконують операції збору, реєстрації і первинної обробки інформації. Збір інформації включає приймання сигналів від датчиків, виконавчих механізмів, контактних реле і її передачу вторинним приладам, контролерам, комп'ютерам. У вимірювальному контурі відбувається ряд перетворень сигналів.

4.2 Первинний вимірювальний перетворювач (датчик) перетворює вимірюваний фізичний параметр (температуру, витрату, тиск, рівень) в сигнал (електричний струм, тиск стислого повітря), який передається по каналу зв'язку. Позначення первинних перетворювачів на функціональній схемі автоматизації наведене на рис. 4.1.

До первинних перетворювачів належать відбірні і приймальні пристрої, що вбудовуються в технологічні апарати і трубопроводи для відбору контролюваного середовища.

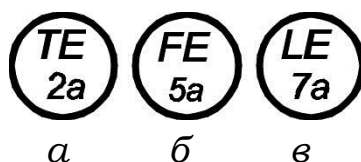


Рис. 4.1 – Позначення первинних перетворювачів на ФСА:

а – термоелектричний перетворювач (термопара);

б – датчик витрати (діафрагма); в – датчик рівня

4.3 Передавальний вимірювальний перетворювач призначений для дистанційної передачі сигналу вимірювальної інформації, що надходить від первинного перетворювача. Наприклад, у контурі контролю витрати він перетворює сигнал первинного перетворювача (перепад тиску на вимірювальній діафрагмі) в електричний сигнал для дистанційної передачі на вимірювальні, нормуючі перетворювачі або на вторинні прилади. Позначення наведене на рис. 4.2.

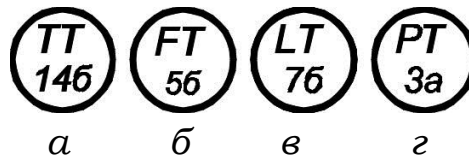


Рис. 4.2 – Позначення передавальних перетворювачів на ФСА в контурах:
а – контролю температури; б – контролю витрати;
в – контролю рівня; г – контролю тиску

4.4 Проміжний вимірювальний перетворювач здійснює перетворення сигналу у форму, необхідну для наступної обробки інформації. Наприклад, блок розрахунку кореня здійснює лінеаризацію статичної характеристики вимірювального перетворювача в контурі контролю витрати середовища (рис. 4.3).

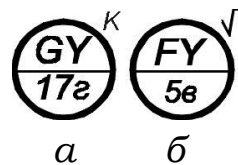


Рис. 4.3 – Позначення проміжних перетворювачів на ФСА в контурах:
а – контролю положення, множення на коефіцієнт (масштабуючий перетворювач); б – контролю витрати, блок визначення кореня (лінеаризація характеристики)

Узгоджуючі перетворювачі здійснюють перетворення виду енергії (електро-пневматичні, пневмо-електричні, електро-гідравлічні). Призначені для узгодження сигналів між приладами електричної, пневматичної і гідравлічної мереж. Приклад позначення узгоджуючих перетворювачів на ФСА наведено на рис. 4.4. Пневматичні сигнали використовують в пожежо- і вибухонебезпечних виробництвах нафтової, хімічної, харчової промисловості.

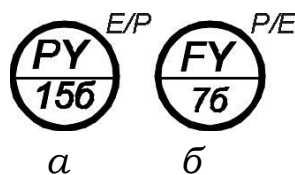


Рис. 4.4 – Позначення узгоджуючих перетворювачів на ФСА в контурах:
а – контролю тиску (електро-пневматичний);
б – контролю витрати (пневмо-електричний)

Нормуючий перетворювач перетворює сигнал від первинного перетворювача в уніфікований сигнал (табл. 4.1).

Застосування уніфікованих сигналів полегшує побудову системи автоматизації технологічного процесу, зменшує номенклатуру приладів, підвищує надійність роботи системи автоматизації. Приклад позначення нормуючих перетворювачів на ФСА наведено на рис. 4.5.

Таблиця 4.1 – Уніфіковані сигнали

Електричні сигнали				Пневматичні сигнали, кПа
Постійний струм, мА	Напруга постійного струму, В	Напруга змінного струму, В	Частота, кГц	
0-5	0-10	0-2	0-8	20-100
(-5) 0 (+5)	(-10) 0 (+10)	(-1) 0 (+1)	2-4	
0-20	0-20		4-8	
(-20) 0 (+20)	0-50		0-100	
4-20	0-1000			

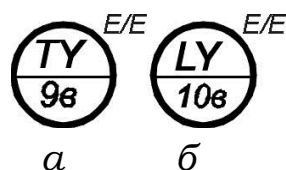


Рис. 4.5 – Позначення нормуючих перетворювачів на ФСА в контурах:
а – контролю температури; б – контролю рівня

Аналогово-цифровий перетворювач перетворює аналогові і дискретні сигнали в цифрову форму, що використовується засобами автоматизації.

Інтерфейсний перетворювач призначений для обміну інформацією між цифровими пристроями, для зв'язку приладів з контролером або комп'ютером. *Інтерфейс* – сукупність засобів, методів і правил, що забезпечують взаємодію елементів системи керування, мікропроцесорної техніки та/або програмного забезпечення.

4.5 Вторинний прилад – засіб вимірювання, який призначений для вироблення сигналу вимірюваної інформації у формі, що найбільш сприятлива для оперативного персоналу.

Вторинний прилад може виконувати наступні функції:

- індикація І – з візуальним зчитуванням значень даних безпосередньо за аналоговою (стрілочною) або цифровою шкалами приладу;
- реєстрація R – з записом у пам'ять значень параметру як функції часу;
- сигналізація А – з візуальним або звуковим сигналом при досягненні параметром заздалегідь встановленого контрольного значення.

Приклад позначення вторинних приладів на ФСА наведено на рис. 4.6.

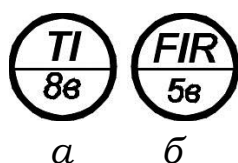


Рис. 4.6 – Позначення вторинних приладів на ФСА:

а – прилад з функцією індикації в контурі вимірювання температури;

б – прилад з функцією індикації і реєстрації в контурі вимірювання витрати

У ряді випадків вторинні прилади виконують функції регулювання, для чого їх забезпечують:

- блоками, що здійснюють безперервне регулювання з наданням вихідного сигналу в аналоговому або цифровому виді. На рис. 4.7,а наведено приклад приладу з функціями індикації, реєстрації, керування в контурі вимірювання і регулювання температури;

- контактними пристроями (релейний вихід) для дискретної зміни вихідного сигналу. На рис. 4.7,б наведено приклад позначення приладу з контактним пристроєм в контурі вимірювання і регулювання тиску;

- пристроями сигналізації досягнення вимірюваними параметрами граничних значень. На рис. 4.7,в наведено приклад приладу з сигнальним пристроєм (сигналізація верхнього і нижнього граничного рівня) в контурі вимірювання рівня.

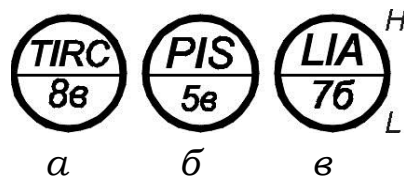


Рис. 4.7 – Позначення вторинних приладів на ФСА:

- а – вторинний прилад з функцією керування в контурі вимірювання і регулювання температури;
- б – прилад з контактним пристроєм в контурі вимірювання і регулювання тиску;
- в – прилад з сигнальним пристроєм в контурі вимірювання рівня, сигналізація верхнього (H) і нижнього (L) граничного рівня

Приладобудівна промисловість випускає різноманітні датчики, перетворювачі сигналів, вторинних приладів. Залежно від конструкції і призначення вони виконують одне або одночасно декілька вказаних вище перетворень сигналів.

4.6 Приклади пристроїв, що виконують одне перетворення сигналу

1. Датчики контролю фізичних величин: термоелектричний перетворювач *Метран-201*; термоперетворювач опору *Rosemount 0065*; вимірювальні діафрагми *ДКС, ДБС, Rosemount 405P* (фірми *Метран*); багатозонні перетворювачі температури *ТХА Метран-261* і *ТХК Метран-262* (до 20 точок виміру одним зондом).

2. Передавальні перетворювачі: перетворювач витрати *13ДД11*.

3. Вимірювальні перетворювачі: блок пропорційного перетворення *БПВІ-1Л* (фірми *Мікрол, м. Івано-Франківськ*); блок визначення кореня *Метран 611*.

4. Нормуючі перетворювачі: *Ш705-01; Sitrans TK/TK-H* (фірми *Siemens*); *МТМ 201* (фірми *Мікротерм*); *БПО-32* (фірми *Мікрол*).

5. Узгоджуючі перетворювачі:

- електропневматичний аналогової дії: *ЕПП-1, ЕПП-2, ЕПП-м* (фірми *Теплаавтомат, м. Харків*); *тип 6116* (фірми *SAMSON AG Німеччина*);

- пневмоелектричний аналогової дії *ППЕ-2, ПЕП-11* (фірми *Мікрол*); *АСТРА-8М; тип 6132, тип 6134-01* (*SAMSON AG*);

– електропневматичний дискретної дії П1ПР.5 (фірми Мікрол);

– пневмoeлектричний дискретної дії ППЭД, ППЭД-ЗМ, ПЭВ-1 (Мікрол).

6. Аналого-цифрові перетворювачі: ИП-20 (фірми ЗэиМ) перетворює сигнали датчиків температури в цифровий сигнал; ADAM4019+ (Advantech);

7. Інтерфейсні перетворювачі: БПИ-2К, БПИ-485 (Мікрол).

8. Вторинні прилади: індикатор технологічний лінійний ИТЛ-1-40 (Мікрол); восьмиканальний пристрій контролю температури з аварійною сигналізацією УКТЗ8-Щ4 (Овен); восьмиканальний індикатор TPG/MEGA-DD.

4.7 Пристрої, що виконують декілька перетворень сигналу

1. Датчики температури з уніфікованим вихідним сигналом Метран-271(ТХАУ), Метран-274(ТСМУ). Містять датчик температури і вмонтований в корпус датчика нормуючий перетворювач.

2. Вторинний прилад з функцією регулювання (релейний вихід) КП1Т (Метран).

3. Вторинний прилад реєструючий з уніфікованим вихідним сигналом Диск-250 (Метран).

4. Вторинний прилад реєструючий, регулюючий (релейний вихід), також здійснює перетворення сигналів за лінійними і ступеневими залежностями, КСД- 250 (Метран).

5. Електронний реєстратор (8 каналів) МТМ-РЭ-160 (Мікротерм). Приймає сигнали від термопар, датчиків опору, уніфіковані сигнали за струмом і напругою. Здійснює лінійне перетворення сигналів, визначення кореня, сигналізацію, має цифровий інтерфейс RS-485.

4.8 Інтелектуальний датчик (ІД) автоматично адаптується до джерела сигналу і довкілля, контролює свої функції і коригує похибки вимірювань. Складається із первинного перетворювача, перетворювача сигналів і мікропроцесорних засобів.

Інтелектуальні датчики здійснюють самодіагностику, автокалібрування. Дозволяють проводити дистанційне налаштування робочих параметрів і діапазонів вимірювань. Забезпечують сигналізацію несправності датчика, допускають "гарячу" заміну без зупинки роботи системи автоматизації. Здійснюють фільтрацію завад у мережі змінного струму. В інтелектуальних датчиках температури передбачено автокомпенсацію температури холодних спаїв. Інтелектуальні датчики і перетворювачі мають уніфіковані вихідні сигнали і цифровий інтерфейс.

Використання інтелектуальних датчиків звільняє центральний процесор від обробки великих об'ємів первинної інформації, підвищує достовірність результатів вимірювань.

Прикладом інтелектуального перетворювача є *вимірювальний інтелектуальний перетворювач Rosemount 3144P*, який має вихідний сигнал 4-20 мА і цифровий протокол передачі даних HART Fieldbus Foundation. На вхід перетворювача можуть подаватися сигнали від термопар, термоопорів, або сигнали постійного струму. Забезпечує гарячу заміну первинного перетворювача, індивідуальне узгодження вимірювального перетворювача з термоперетворювачем опору, контроль опору петлі термопар.

Інтелектуальні перетворювачі температури Метран-281, Метран-286, Метран-288 окрім нормування і аналого-цифрового перетворення сигналу здійснюють дистанційне налаштування діапазонів вимірювань, самодіагностику перетворювача температури, автокомпенсацію зміни термоЕРС холодних спаїв, фільтрацію завад у мережі змінного струму.

В інтелектуальних датчиках витрати здійснюється лінеаризація *номінальної статичної характеристики (НСХ)* чутливого елемента первинного перетворювача.

4.9 Багатофункціональні інтелектуальні системи

Масові витратоміри Коріоліса і густиноміри Micro Motion. У комплект входить набір датчиків (сенсорів) і вимірювальні перетворювачі. Датчик вимірює витрату, густину середовища і температуру сенсорних трубок. Вихідний сигнал густиноміру Micro Motion цифровий у відповідності до протоколу HART.

Здійснює дистанційне налаштування діапазонів вимірювань. Проводить самодіагностику з сигналізацією виникнення несправності датчика і виходу температури сенсора за допустимі межі. Виконує лінеаризацію НСХ чутливого елементу і автокомпенсацію зміни термоЕРС холодних спаїв первинного перетворювача температури. Модель 3000 додатково містить контролер, що керує виконавчими механізмами.

Застосування багатофункціональних вимірювачів зменшує кількість технологічних отворів, що виконуються в корпусах агрегатів, зменшує кількість первинних перетворювачів, підвищує надійність роботи системи автоматизації і достовірність інформації.

4.10 Склад контурів контролю визначається видом вимірюваної величини, конструкцією приладів, використанням засобів цифрової обробки інформації і обчислювальної техніки, допустимими витратами на реалізацію системи автоматичного управління. Варіанти виконання контурів контролю температури об'єкту наведені на рис. 4.8.

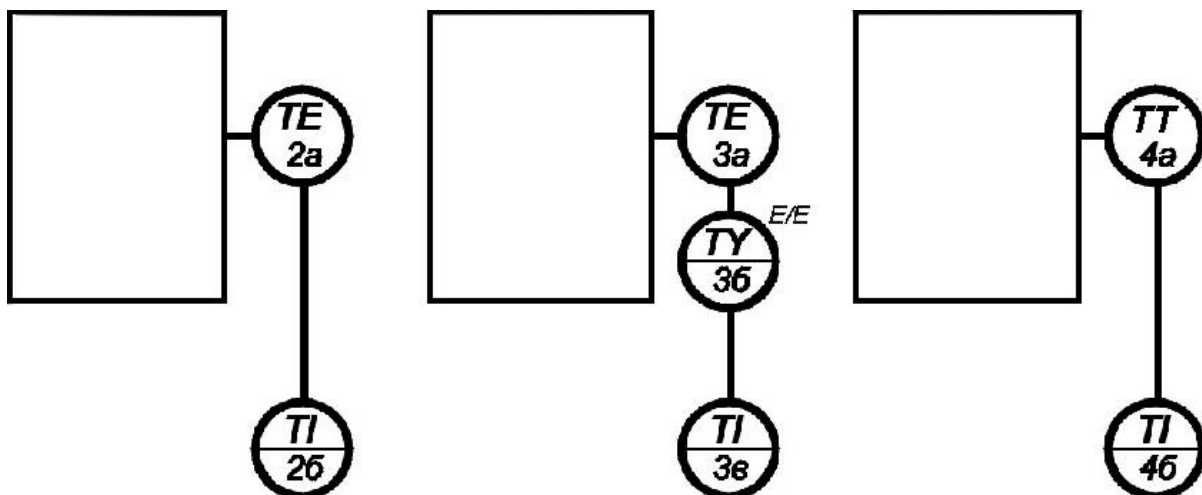


Рис. 4.8 – Приклади контурів контролю температури

Контур 2 містить датчик температури, термоелектричний перетворювач *Метран-201* (поз. 2а) і вторинний прилад *2ТРМО* (поз. 2б). Прилад передбачає безпосереднє підключення до входу термоелектричних перетворювачів і термометрів опору.

Контур 3 використовують у разі, коли на вхід вторинного приладу можливо подавати тільки уніфіковані сигнали. Приклад: індикатор технологічний *ИТМ-11* (поз. 3в). Для підключення термоперетворювача опору *Rosemount 0065* (поз. 3а) до індикатора *ИТМ-11* використано блок перетворення сигналів *БПО-32* (поз. 3б). Уніфікований струмовий сигнал від перетворювача подають на вхід технологічного індикатора.

У *контурі 4* в комплекті з індикатором *ИТМ-11* (поз. 4б) використовують датчик температури з уніфікованим вихідним сигналом *Метран-27* (поз. 4а). Нормуючий перетворювач розташовано в корпусі датчика. При цьому спрощується склад контуру, зменшується число окремих блоків, кількість ліній зв'язку, число точок під'єднання дротів від датчиків і ланцюгів живлення, покращується захист від завад, підвищується надійність роботи системи автоматизації.

4.11 Приклади контурів контролю технологічних параметрів з використанням контролера наведено на рис. 4.9.

Контур 2 призначений для контролю температури об'єкту. У комплект контролера *Ремиконт Р-130ISa* входить блок підсилювачів сигналів термометрів опорів *БУС-10*, що дозволяє підключити термоперетворювач опору *ТСМУ/1-1088-420* (поз. 2а) до контролера без додаткових перетворювачів.

Контур 3 призначений для контролю тиску середовища в апараті. Вимірювальний перетворювач тиску *Rosemount 3051* (поз. 3а) має уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА/HART, що дозволяє без додаткового перетворювача підключити його до входу контролера. Для зручності роботи персоналу в контур контролю включено індикатор технологічний *ИТМ-11* (поз. 3б), який встановлено на щиті.

У *контурі 6* застосовано багатофункціональний масовий витратомір Коріоліса і густиномір *Micro Motion*. Сенсор серії *T* (поз. 6а) дозволяє одночасно вимірювати витрату, густину середовища і температуру сенсорних трубок. Перетворювач моделі *2000* (поз. 6б) перетворює сигнал, що надходить від сенсора, до цифрового виду протоколу HART або в уніфікований аналоговий сигнал 4-20 мА. Контролює два обрані параметри, наприклад, масову витрату і температуру.

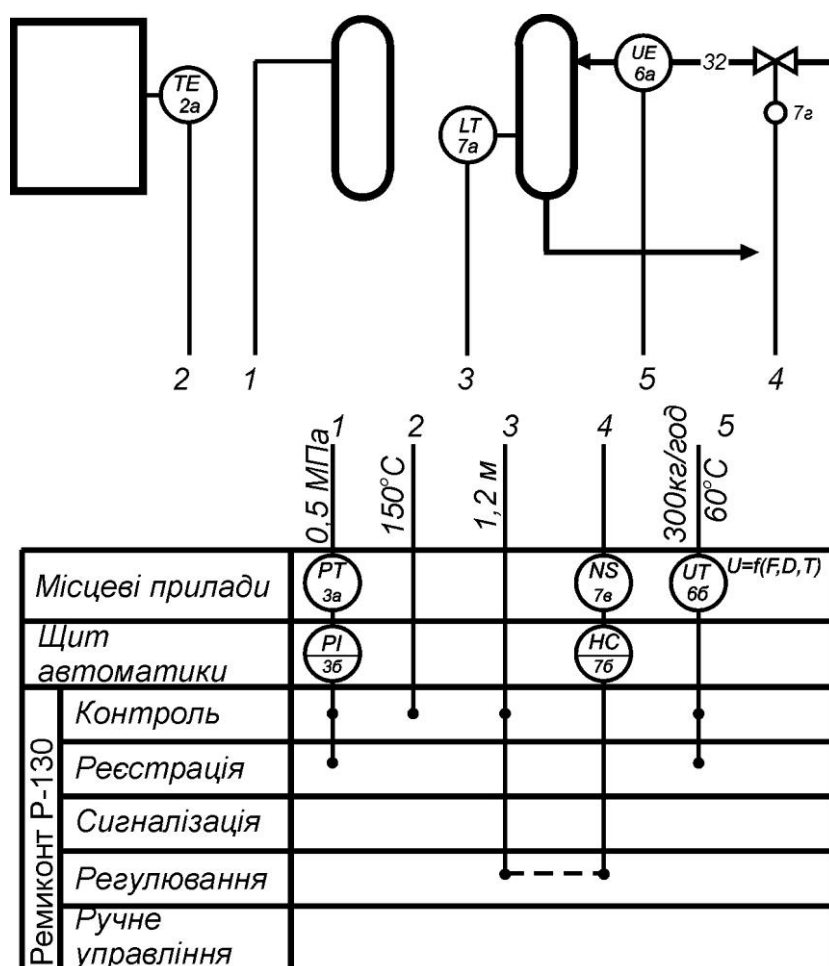


Рис. 4.9 – Приклади контурів контролю технологічних параметрів з використанням мікропроцесорного контролера

Контур 7 призначений для контролю і регулювання рівня середовища в апараті. У контурі контролю застосовано інтелектуальний хвилеводний радарний рівнемір *Rosemount 5300* (поз. 7а), що має уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА/HART. Рівнемір без додаткових перетворювачів підключено до входу контролера.

4.12 Контур регулювання параметрів

Керуючі пристрої або контролери обробляють інформацію, що надходить з контурів контролю, і виробляють керуючий сигнал. Сигнал подається на виконавчі пристрої, які змінюють витрати матеріальних та енергетичних потоків об'єкта керування.

Регулятори і контролери виробляють слабкі цифрові, аналогові або дискретні сигнали. Їх потужності не вистачає для

управління приводами електричних виконавчих пристроїв. Тому необхідне додаткове використання контактних і безконтактних пускачів, що комутують великі навантаження. Для плавного управління оборотами двигунів використовуються перетворювачі частоти. Плавне регулювання потужності нагрівачів забезпечується симісторними і тиристорними блоками управління. У разі використання пневматичних виконавчих пристроїв необхідне електропневматичне перетворення сигналів керування.

Система автоматизації повинна допускати можливість ручного управління, для чого необхідно передбачити використання кнопоківих пунктів, блоків і панелей ручного керування.

Вказані пристрої в певних поєднаннях складають контури управління технологічними параметрами. Приклади контурів наведено на рис. 4.10.

Контур 4 призначений для управління витратою середовища в трубопроводі 29. Сигнал від датчика витрати (поз. 4а) через передавальний перетворювач (поз. 4б) надходить до контролера (*Ремиконт-Р130ІСа*). Контролер виробляє керуючий електричний сигнал, який надходить до перетворювача електропневматичного ЕП-3211 (поз. 4в). Від перетворювача пневматичний сигнал надходить на пневматичний виконавчий механізм (поз. 4д), який змінює положення регулюючого органу. Для ручного управління пневматичним виконавчим механізмом призначена панель пневматичного управління ПП12.2 (поз. 4г).

Контур 2 призначений для регулювання температури середовища в трубопроводі 28 на виході з теплообмінника. Сигнал від датчика температури (поз. 2а) надходить на вхід контролера. Контролер виробляє керуючий електричний сигнал. Положення регулюючого органу змінює електричний однооборотний виконавчий механізм МЭО 6,3-99 (поз. 2г) з контактним управлінням через пускач безконтактний реверсивний ПБР-3А (поз. 2в). Для ручного управління виконавчим механізмом використано блок ручного дистанційного керування БРУ-42 (поз. 2б).

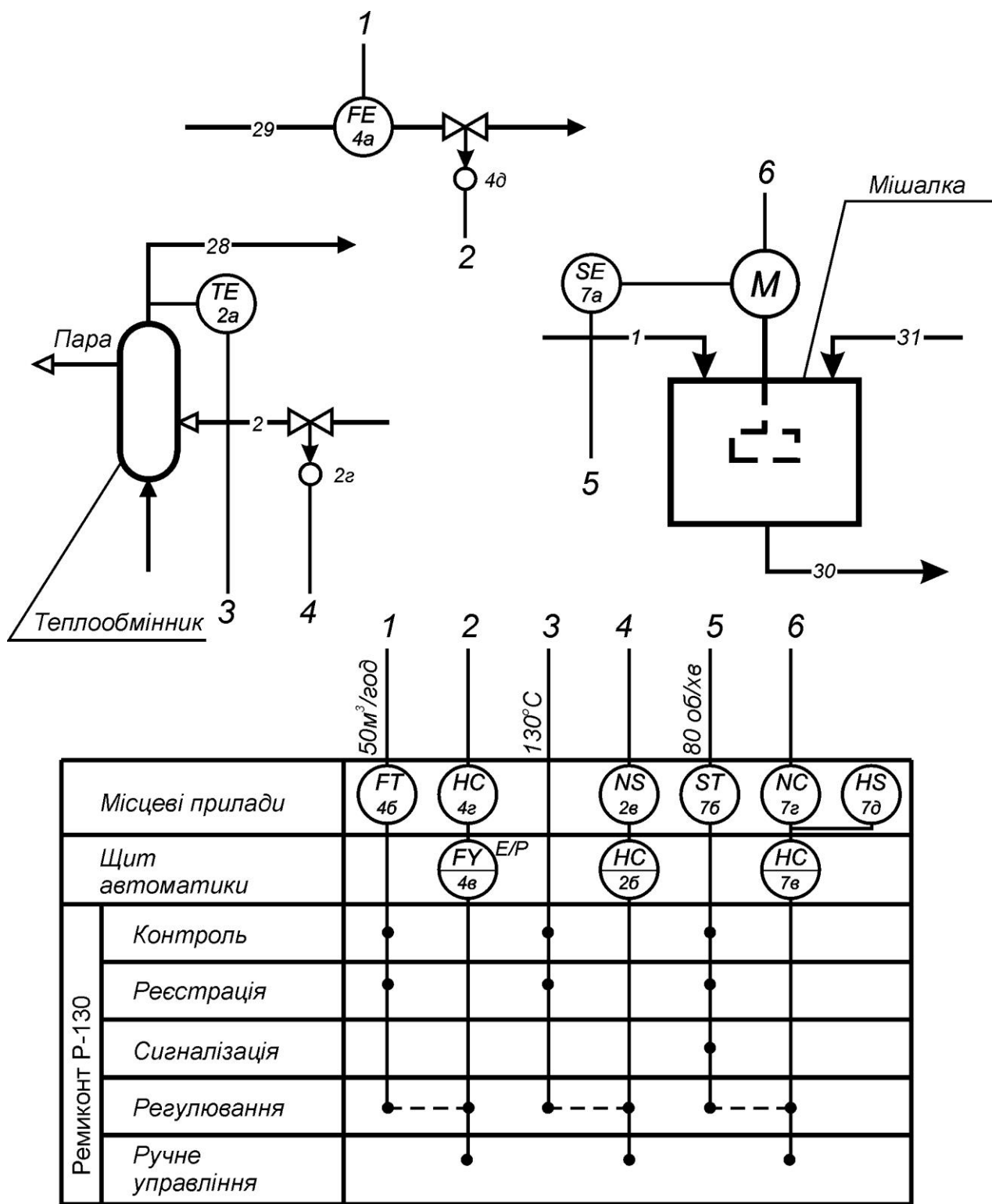


Рис. 4.10 – Приклади контурів управління технологічними параметрами

Приклади виконання контурів регулювання температури і витрати з використанням ПД-регулятора наведено на рис. 4.11.

Регулювання числа оборотів двигуна мішалки здійснюється у контурі 7. Сигнал від датчика швидкості обертання валу двигуна (поз. 7а) через перетворювач (поз. 7б) надходить на вхід

контролера. Контролер, сигнал якого надходить на перетворювач частоти *Micromaster-440* (поз. 7г), здійснює плавне регулювання оборотів двигунів змінного струму. Ручне управління здійснюється за допомогою блоку *БРУ-10* (поз. 7в). Додатково (для аварійного виключення приводу) за місцем встановлено кнопковий пункт *КУ-92 ВЗГ* (поз. 7д).

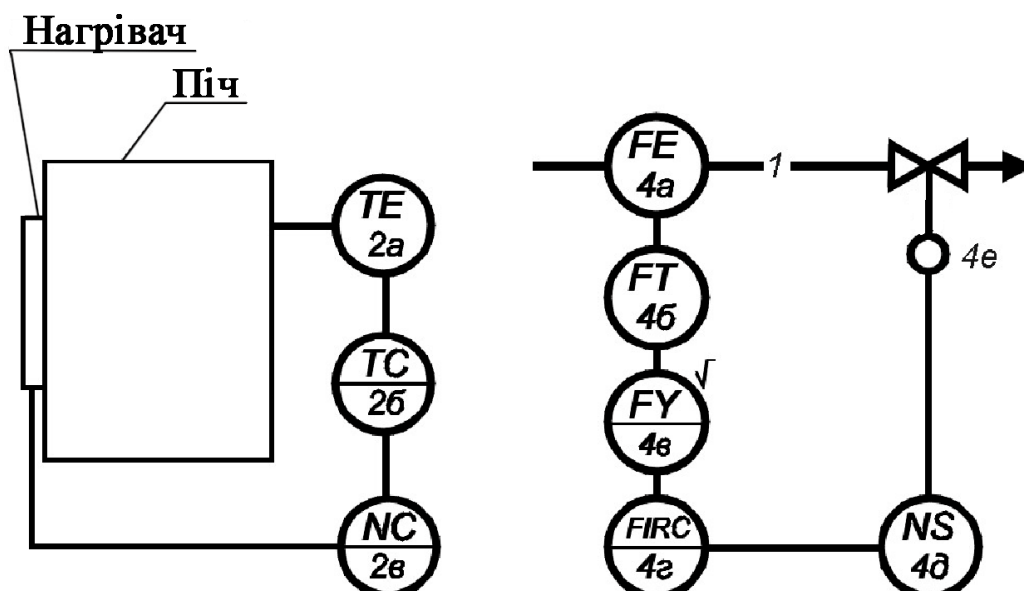


Рис. 4.11 – Приклади виконання контурів регулювання температури і витрати з використанням ПІД-регулятора

Контур 2 забезпечує регулювання температури електричної печі. Сигнал від датчика температури (поз. 2а) надходить до ПІД-регулятора *ТРМ-101* (поз. 2б). Регулятор впливає на блок управління симісторами і тиристорами *БУСТ2* (поз. 2в), який здійснює регулювання потужності нагрівачів печі.

Контур 4 призначений для регулювання витрати води. За допомогою діафрагми *ДКС* (поз. 4а) створюється перепад тиску, величина якого залежить від витрати. Перепад контролюється перетворювачем різниці тисків *Метран-100-ДД* (поз. 4б), що формує на виході уніфікований електричний сигнал. Блок визначення кореня *Метран 611* (поз. 4в) лінеаризує характеристику первинного перетворювача. Уніфікований сигнал надходить до вимірювача-регулятора технологічного *Метран 950* (поз. 4г). До виходу регулятора підключено пускач безконтактний реверсивний *ПБР-3А* (поз. 4д), який призначений

для включення і реверсування двигуна виконавчого механізму МЭО (поз. 4е).

Вказані варіанти побудови контурів управління є загальними і у кожному окремому випадку необхідно враховувати умови автоматизованого виробництва.

4.13 Вибір приладів і засобів автоматизації залежить від багатьох чинників. При виборі устаткування враховують:

1. *Вибухо- і пожежонебезпечність виробництва.* У звичайних умовах застосовують електричні прилади, для вибухо- і пожежонебезпечних виробництв – пневматичні. Використовують прилади спеціального виконання: іскробезпечне, вибухобезпечне, прилади для АЕС.

2. *Характеристику робочого середовища* (газ, рідина, тверде тіло). Вид робочого середовища (рідке або газоподібне) визначає конструкцію витратомірів і лічильників. Забруднення рідини твердими частками, наявність в рідині розчинених газів визначає конструкцію діафрагм (первинних перетворювачів в контурах виміру витрати середовищ). Провідність вимірюваного середовища впливає на вибір принципу дії приладів, що вимірюють витрату і рівень середовищ. Циркуляція рідини, її розшарування при зберіганні і транспортуванні, наявність піни або забруднень поверхні визначає вибір конструкції антен радарних датчиків рівня.

3. *Токсичність, агресивність середовища, робочі температури.* При роботі в агресивних середовищах розділові мембрани датчиків тиску виконують з дорогих корозійностійких сталей, сплавів молібдену і танталу. Корпуси датчиків і приладів виконують з металевих і неметалічних матеріалів, стійких до певних середовищ. Застосовують емалювання, захисні полімерні покриття корпусів і деталей регулюючої арматури. Для температурних датчиків застосовують захисну арматуру з окалиностійких сталей і нікелевих жароміцних сплавів.

4. *Діапазони вимірювань приладів.* Вимірювані величини повинні знаходитися в другій половині діапазону вимірювання приладів і не наближалися до меж діапазону.

5. *Величину допустимої основної похибки.* Прилад обирають з урахуванням необхідної точності вимірювання значення параметру процесу.

6. *Швидкодію приладу,* яка визначається тривалістю стадій технологічних процесів і швидкістю зміни технологічних параметрів на його етапах.

7. *Умови довкілля,* а саме: кліматичні параметри, наявність вібрацій, пил. Вказані чинники обумовлюють види виконання приладів: нормальне, тропічне, пилозахищене, вологозахищене, віброзахищене, морське.

8. *Конструктивні характеристики,* які визначаються довжиною монтажної частини, конструкцією кріплень і захисної арматури.

При виборі засобів автоматизації необхідно дотримуватись наступних принципів:

- перевага надається приладам, що серійно виготовляються;
- бажано використання однотипних приладів, що покращує умови наладки устаткування, знижує вартість експлуатації системи автоматизації;
- обираються прилади, що характеризуються взаємозамінюваністю, простотою монтажу, наладки і експлуатації;
- використовуються прилади оптимального класу точності. Завищення класу точності підвищує вартість приладу.

5 ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ

5.1 Виконавчий механізм – пристрій, який призначений для переміщення регулюючого органу в системах автоматичного управління технологічними процесами відповідно до командних сигналів, що надходять від регулюючих пристроїв. Виконавчий механізм перетворює слабкий сигнал, що надходить від регулятора, в зусилля, достатнє для переміщення регулюючого органу.

До *регулюючих органів* відносять дросельні заслінки, клапани, засувки, шибери, які забезпечують зміну кількості речовини або енергоносіїв в технологічному процесі.

Відрізняють поступальне і обертальне (в межах одного або декількох обертів) переміщення регулюючих органів виконавчих механізмів.

У системах АСКТП застосовують електричні, пневматичні, гідравлічні і комбіновані виконавчі механізми, які пов'язані з різними регулюючими органами.

5.2 В електричних виконавчих механізмах в якості приводу застосовують електромагніти і електродвигуни.

У *електромагнітних приводах* зусилля переміщення робочого органу створюється електромагнітом.

У системах двопозиційного регулювання регулюючими і запірними клапанами, вентилями, золотниками застосовують соленоїди. У механізмах з двигуном, який безперервно працює, застосовують електромагнітні муфти.

Приклад. Електромагнітний нормально закритий клапан *EV220B (фірма ТОВ Данфосс)*, призначений для роботи з водою або водним розчином гліколя. Характеризується наступними показниками: умовний прохід $D_v=10-12$ мм, пропускна спроможність $K_v=0,7-1,5$ м³/год, перепад тисків 0,1-20 бар, діапазон тиску 0,2-16 бар, час повного відкриття 50 мс, час повного закриття 300 мс, температура робочого середовища від -30 до +100°С, максимальна в'язкість становить 50 сСт.

За відсутності напруги на котушці клапан знаходиться в закритому стані. При живленні котушки клапан відкривається і

залишається у відкритому положенні до відключення подачі енергії.

5.3 Найчастіше в системах автоматичного регулювання застосовують виконавчі механізми з електричними двигунами. До них відносять:

- *Механізми з некерованими двигунами*, коли двигун працює безперервно, а керування механізмом здійснюється електричною або гідравлічною муфтою.

- *Механізми з керованими двигунами.*

У пристроях з *постійною швидкістю* переміщення робочого органу відбувається включенням, відключенням, реверсуванням електродвигунів.

Для підвищення надійності роботи устаткування застосовують безконтактні реверсивні пускачі:

- для *трифазної напруги 220/380 В* використовують пускачі ПБР-ЗА або підсилювачі тиристорні трипозиційні ФЦ-0650;

- для *однофазної напруги 220 В* використовують пускачі ПБР-2М.

Для забезпечення *змінної швидкості переміщення робочого органу* використовуються регулятори швидкості асинхронного двигуна (АД):

1. Регулювання швидкості *змінною напругою* здійснюють тиристорними регуляторами напруги. Вони забезпечують плавне регулювання швидкості, реверс і динамічне гальмування. Їх недоліки: збільшення втрат енергії при зниженні швидкості обертання ротора, спотворення форми і поява струмів вищих гармонік в мережі живлення.

2. *Імпульсне регулювання швидкості* асинхронного двигуна здійснюють імпульсною зміною параметрів АД або мережі живлення, при якому виникають періодичні коливання моменту АД. Частіше усього застосовують в АД з фазним ротором при регулюванні в ланцюзі ротора. Основна сфера застосування – механізми підйому, пересування і повороту кранових установок.

3. *Частотний спосіб* регулювання швидкості АД полягає в регулюванні синхронної швидкості за рахунок зміни частоти живлення статора АД.

Виконавчі механізми із електричним двигуном розрізняють за характером руху вихідного валу:

- з обертальним рухом вихідного валу: *однооборотні та багатооборотні* виконавчі механізми;
- з поступальною ходою вихідного валу: *прямоходні*.

Виконавчі приводи і механізми здійснюють автоматичне, дистанційне або ручне переміщення вихідного валу і його зупинку в будь-якому положенні:

- *приводи* встановлюються безпосередньо на арматуру;
- *механізми* встановлюють на спеціальних площадках, а їх зв'язок із арматурою забезпечується важільною системою.

Електричний виконавчий механізм містить:

1. *Електропривод.* В якості електроприводу використовують одно- або трифазні асинхронні двигуни.

2. *Редуктор*, який знижує швидкість переміщення вихідного елемента і збільшує обертальний момент на валу виконавчого механізму.

3. *Блок сигналізації положення (БСП)* вихідного валу. Застосовують індуктивні (БСПИ-10), реостатні (БСПР-10) і струмові (БСПТ-10, БСПТ-10М) блоки.

4. *Кінцеві вимикачі.* Кінцеві вимикачі відключають електропривод при досягненні вихідним валом кінцевих положень. Призначені для попередження ушкодження виконавчого механізму. Наприклад, блок кінцевих вимикачів БКВ (виконання М).

Для підвищення точності позиціонування вихідного органу до складу виконавчого механізму вводять електромагнітне гальмо. Сигнал управління поступає одночасно до двигуна і гальма. Вал двигуна розгальмовується, двигун приводить в рух вихідний вал. При зникненні сигналу двигун вимикається, гальмо зупиняє вал двигуна.

Електровиконавчий механізм може мати вбудований пускач, пульт місцевого управління, цифровий інтерфейс Modbus, Profibus.

Основні параметри, що характеризують виконавчий механізм:

- номінальне значення обертального моменту вихідного валу;

- номінальний повний хід вихідного валу;
- час повного ходу вихідного валу.

5.4 Розповсюдження набули однооборотні виконавчі механізми типу МЭО. Структуру умовного позначення однооборотних виконавчих механізмів наведено на рис. 5.1.

<u>МЭО-</u>	<u>40/</u>	<u>10</u>	<u>0,25</u>	<u>И</u>	<u>-99</u>	<u>К</u>
1	2	3	4	5	6	7

Рис. 5.1 – Умовне позначення виконавчих механізмів МЭО

Умовне позначення однооборотних механізмів містить наступні відомості:

1. Тип механізму (МЭО – для однооборотних механізмів, МЭМ – для багатооборотних);
2. Номінальне значення обертового моменту на вихідному валі, Н·м;
3. Номінальний час повного ходу вихідного валу, с;
4. Номінальний повний хід вихідного валу в обертах;
5. Тип датчика блоку сигналізації положення вихідного валу: індуктивний (И), реостатний (Р), струмовий (У), блок кінцевих вимикачів (М).
6. Рік розробки: дві останні цифри – 92, 99, 05;
7. Додаткова інформація: 3-х фазна напруга живлення (позначається як К), виконання з блоком кінцевих вимикачів (М), виконання зі струмовим датчиком і вбудованим блоком живлення (Б).

Приклад умовного позначення виконавчого механізму: «МЭО-100/25-0,25 У-05К». Розшифровка позначень: механізм виконавчий електричний однооборотний з номінальним значенням моменту на вихідному валі 100 Н·м, номінальне значення часу повного ходу вихідного валу – 25 с, номінальне значення повного ходу вихідного валу – 0,25 оберту, механізм виконавчий із струмовим блоком сигналізації положення, рік розробки – 2005, напруга живлення 380 В, 50 Гц.

Зовнішній вигляд МЭО-100 наведено на рис. 5.2.

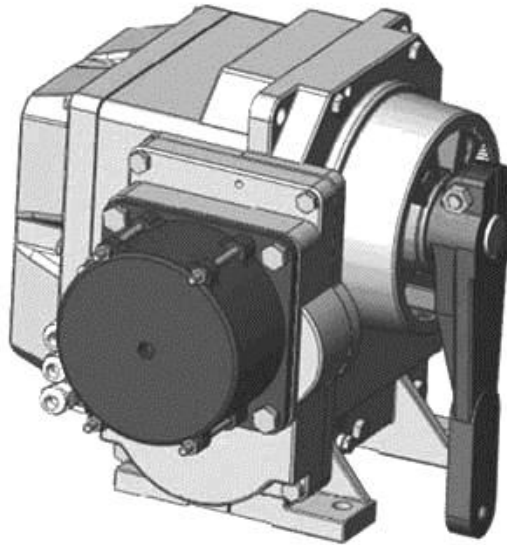


Рис. 5.2 – Механізм електричний однооборотний МЭО-100

Склад механізму:

- електродвигун синхронний;
- гальмо механічне;
- редуктор черв'ячний;
- блок сигналізації положення;
- важіль;
- блок конденсаторів.

Живлення – однофазна напруга 220 В, 230 В, 240 В частотою 50 Гц і 220 В частотою 60 Гц. Механізм має вбудований пускач, пульт місцевого управління, цифровий інтерфейс Modbus, Profibus.

5.5 Електричні *прямохідні* виконавчі механізми виконують автоматичне, дистанційне або ручне переміщення робочого органу і його зупинку в будь-якому положенні, формування сигналу про кінцеві і проміжні положення робочого органу. Приклад прямохідного виконавчого механізму SAM (фірма Samson, Німеччина).

Основні параметри, що характеризують виконавчий механізм:

- номінальний обертальний момент на вихідному валі, Н·м;
- номінальний час повного ходу вихідного валу, с;

– номінальне значення повного ходу вихідного валу в обертах.

Приклад: прямоходний виконавчий механізм *Electrak-PPA-AC115*, модель 18B65 (фірма *Danaher Motion*, США), рис. 5.3. Механізм має гвинтову кулькову передачу з гальмом, захист механізму від перевантажень.

Технічні характеристики:

- максимальне навантаження (динамічне/статичне): 2220/13350 Н;
- швидкість (за відсутності навантаження – 16 м/с, при максимальному навантаженні – 15 м/с);
- живлення – однофазна напруга 115, 230 В змінного струму 50/60 Гц;
- довжина ходу: 4, 8, 12, 18, 24, 36 дюймів;
- граничний обертальний момент складає 11,3 Н·м;
- пристрій управління – двополюсний перемикач.



Рис. 5.3 – Лінійний виконавчий механізм
Electrak-PPA-AC115, модель 18B65

Приклад. Механізми виконавчі електричні прямоходні *МЭП- 25000/60-30-99 (ВАТ ЗЭиМ)*, номінальне зусилля на штоку – 25000 Н, номінальний час повного ходу штока – 60 с, номінальний повний хід штока – 30 мм, рік розробки – 1999 р. Напруга живлення 220 В частотою 50 Гц.

5.6 Пневматичні виконавчі механізми використовують енергію стисненого повітря або газу.

Найчастіше застосовують мембранні і поршневі пневмоприводи.

Мембранно-пружинні виконавчі механізми прямої дії (МИМ ППХ) і зворотної дії (МИМ ОПХ).

При замовленні МИМ слід вказати: тип механізму, діаметр закладення мембрани, повний хід вихідної ланки, додаткові блоки, групу механізму залежно від параметрів довкілля, стандарт.

Додаткові блоки пневмоприводу позначають в шифрі приладу: позиціонер – 02; бічний ручний дублер – 01; верхній ручний дублер – 01В; позиціонер і бічний дублер – 05; позиціонер і верхній дублер – 05В; виконавчий механізм без додаткових блоків – 10.

Приклад позначення: *МИМ прямої дії з діаметром закладення мембрани 320 мм, повним ходом вихідної ланки 25 мм, який обладнаний позиціонером і працює при температурі довкілля від -30 до +50 °С:*

Умовне позначення: "*МИМ ППХ-320-25-02-П (ГОСТ 17433-80)*".

Приклад. Мембранний виконавчий механізм *МИМ 250-112-153-031* механізм прямої дії з верхнім ручним дублером (рис. 5.4). Діаметр закладення мембрани 250 мм, перестановочний діапазон 0,02-0,1 МПа.

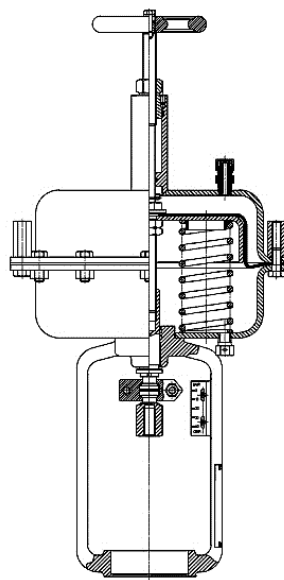


Рис. 5.4 – Схема МИМ прямої дії з верхнім ручним дублером

МИМП відрізняється від механізмів типу МИМ жорсткішою пружиною, а також наявністю важеля замість вихідної ланки.

Позиціонер посилює пневматичний сигнал, що надходить від регулятора до виконавчого механізму. Зменшує гістерезис і покращує динамічні характеристики виконавчого механізму. Є підсилювачем потужності із зворотним зв'язком за положенням штока. Для перетворення електричних сигналів в імпульс повітря, яке подається на МИМ, застосовують електропневматичні позиціонери.

Поршневі пневматичні приводи відрізняються від мембранних більшою величиною переміщення робочого органу і великим зусиллям, що розвивається. Для підвищення точності і поліпшення динамічних характеристик поршневі приводи забезпечують позиціонерами.

Приклад. Поршневі прямохідні механізми виконавчі пневматичні типу *МИП (Теплоавтомат, м. Харків)* призначені для переміщення регулюючих органів в системах автоматичного і дистанційного управління:

МИП-П – з пневматичним аналоговим вхідним сигналом;

МИП-ПТ – з пневматичним вхідним сигналом і гальмом;

МИП-Э – з електричним вхідним сигналом, з датчиком положення штока і кінцевими вимикачами.

МИП-Э: робоче середовище – повітря; умовний хід 400 мм; тиск живлення 0,4-1,0 МПа; вхідний сигнал 220 В (+22/-32 В); швидкість переміщення штока за відсутності навантаження 0,08 м/с (тиск живлення 0,6 МПа); максимальні зусилля (тиск 1 МПа): що штовхає 12,3 кН, що тягне 10,3 кН; зміна сигналу датчика положення (-1 0 +1) В, кліматичне виконання – температура від мінус 10°C до плюс 50°C, відносна вологість 95% при температурі 35°C (виконання СЗ по ГОСТ 12997-84).

Приклад умовного позначення при заповненні специфікації: *МИП-Э-400-СЗ (ГОСТ 12997-84) ТУ 25-7333.0022-92*.

Різновидом поршневих приводів є *поворотні пневматичні приводи*. Поршень виконано у вигляді пелюстки, яка переміщається стисненням повітрям у спеціальній камері. Вони призначені для управління кульовими і пробковими кранами, дисковими і шиберними затворами, коли необхідна поворотна дія на шток робочого органу.

Приклад: механізм виконавчий поворотний *МИП-1-8* (1 поворотний механізм, модифікація 8), з діаметром циліндра 100 мм; з електропневматичним позиціонером (електричний сигнал постійного струму 4-20 мА). Основна допустима похибка механізму не більше $\pm 1\%$ (у відсотках від кута повороту вихідного валу механізму). Кліматичного виконання С1 за ГОСТ 12997-84. Кут повороту вихідного валу до 90° ; обертальний момент на вихідному валі при мінімальному тиску робочого середовища 21,20 кг/м; робоче середовище – стиснене повітря; тиск робочого середовища 0,25-0,6 МПа.

Приклад умовного позначення при заповненні специфікації: *МИП-1-8-(4-20)-1-С1*.

5.7 Гідравлічні виконавчі механізми містять робочу рідину, масло. Переваги:

- забезпечення великих зусиль при малих розмірах механізмів;
- механізми змащуються робочим середовищем;
- високий ККД;
- плавність роботи, постійність швидкості руху.

Приклад. Виконавчі механізми прямоходові гідравлічні типу *ИМ*, з діаметром поршня 100 мм, ходом штока 200 мм, з вертикальною орієнтацією в просторі і індикатором крайніх положень, кліматичного виконання С1 (верхня межа температури $+40^\circ\text{C}$).

Умовне позначення: *ИМ 100/200 В-ИКП-С1*.

Робоче середовище – мінеральні масла з в'язкістю від 7 до 70 $\text{мм}^2/\text{с}$ (сСт), в робочому діапазоні температури масла. Номінальна фільтрація масла 0,2 мм. Номінальний тиск робочого середовища 0,5 МПа. Максимальний тиск робочого середовища 1,0 МПа.

Приклад. Механізм виконавчий гідравлічний поршневий *МПП-И- 125/200* (Теплоавтомат, м. Харків) призначений для управління регулюючими органами поворотного або зворотно-поступального руху в системі автоматичного регулювання. Діаметр гідроциліндра 125 мм, хід штока 200 мм.

Робоча рідина – мінеральні масла в'язкістю від 7 до 70 сСт в діапазоні робочих температур рідини від 5 до 70°C . Фільтрація

не гірше 0,04 мм. Тиск живлення не більше 10 МПа. Поріг чутливості ненавантаженого механізму за перепадом тиску на поршні не більше 2%, робоче положення в просторі будь-яке.

Гідравлічні виконавчі механізми з обертальним рухом робочого органу включають асинхронний електродвигун, а також гідронасос та гідромотор. Застосовують три схеми гідроприводів (рис. 5.5).

На схемі 5.5,а швидкість обертання робочого органу регулюють зміною продуктивності гідронасоса. На схемі 5.5,б швидкість обертання робочого органу регулюють зміною числа обертів гідромотора; схему застосовують при обмеженій потужності електродвигуна. На схемі 5.5,в застосовують одночасну зміну продуктивності насоса і числа обертів гідромотора, що забезпечує високу точність установки положення робочого органу.

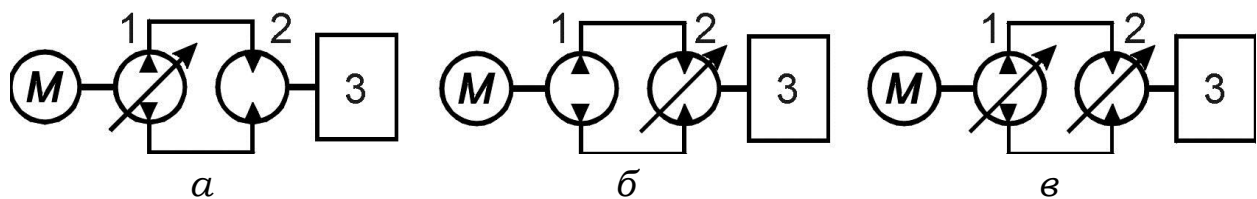


Рис. 5.5 – Схеми гідроприводів:

а – зі зміною продуктивності гідронасоса; б – із зміною числа обертів гідромотора; в – зі зміною продуктивності насоса і швидкості гідромотора;
 М – електродвигун (асинхронний); 1 – гідронасос; 2 – гідромотор;
 3 – регулюючий орган

Робочі характеристики гідравлічних двигунів:

- робочий об'єм V_o , м^3 – сумарна зміна об'ємів робочих камер мотора за один цикл або об'єм рідини, при проходженні якого через мотор його ротор зробить один оберт;
- теоретична витрата Q_m , $\text{м}^3/\text{с}$ – розрахунковий об'єм рідини, що проходить через мотор за одиницю часу;
- фактична витрата Q_ϕ , $\text{м}^3/\text{с}$ відрізняється від теоретичної витрати на величину об'ємних витрат;
- частота обертання ротора n , с^{-1} ;
- об'ємний ККД мотора $\eta = Q_m / Q_\phi$;
- перепад тисків масла на вході і виході з мотора $\Delta p = p_{\text{вх}} - p_{\text{вих}}$, Па;

- корисна (ефективна) потужність $N_n = M \cdot \omega$, Вт; $\omega = 2\pi \cdot n$;
- обертальний момент на валі мотора $M = N_n / N_m$, Нм (N_m споживана потужність, Вт, $N_m = Q_f \cdot \Delta p$).

Насос перетворює механічну енергію, що прикладена до вихідного валу, в гідравлічну енергію потоку робочої рідини.

Гідромотор перетворює енергію потоку рідини в механічну енергію обертання вихідного валу.

Оборотна гідромашина може працювати як в режимі насоса, так і в режимі гідромотора.

У героторному тихоходному гідромоторі (рис. 5.6) обертальний момент від ротора 2 до приводного валу 3 передається через вбудований всередину карданний вал 1. Робоча рідина, що підводиться до гідромотора, розподіляється через пази 4 приводного валу і через отвори в корпусі подається в робочі камери і зливається з них. Робочий об'єм 10-1000 см³, максимальний тиск до 250 бар, частота обертання 5-1000 хв⁻¹.

Розвиває високий стартовий обертальний момент, підтримує постійну частоту обертання вихідного валу. Застосовують героторні мотори типу OMM, OMP, OMR, OMT, OMV, OMSS, OMS виробництва фірм Sauer Danfoss, M+S, Hydraulic Line, Parker, Hansa - Flex.

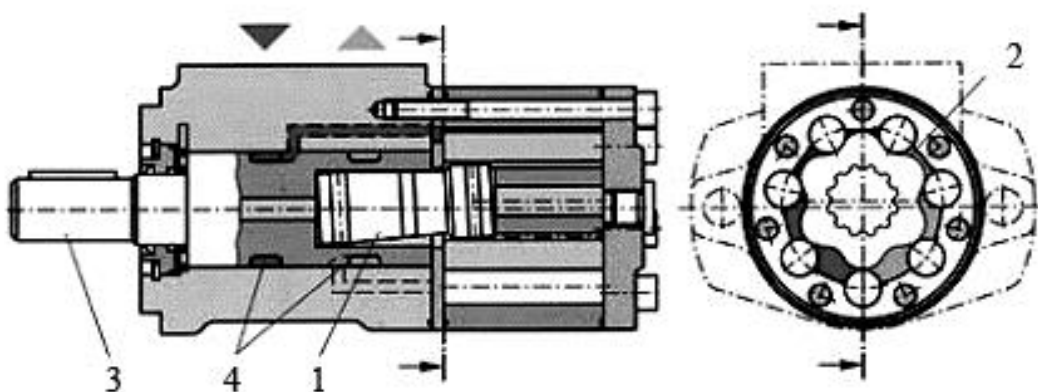


Рис. 5.6 – Героторний гідромотор

У шестерному гідромоторі рідина з гідросистеми надходить до порожнини мотора 4 і, шляхом впливу на шестерні 1 та 2, які розташовані в корпусі 3, створює обертальний момент. Шестерні оборотні машини можуть використовуватися як гідромотори і як насоси (рис. 5.7). Від шестерних насосів гідромотори

відрізняються зменшеними проміжками в підшипниках, розвантаженням підшипників від радіальних зусиль. Пуск гідромоторів рекомендується здійснювати без навантаження. Застосовують гідромотори фірм *Vivoil, Marzocchi, Parker, Sauer Danfoss, Caproni, Salami, Bosch, Eaton*.

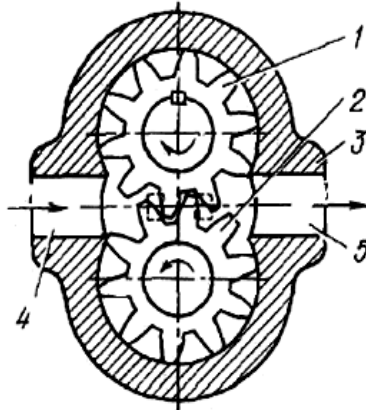


Рис. 5.7 – Шестерний гідромотор-насос із зовнішнім зачепленням:
 1 – провідна шестерня; 2 – ведена шестерня; 3 – корпус;
 4 – порожнина нагнітання; 5 – скидання масла

У *пластинчатому гідромоторі* (рис. 5.8) робоча рідина, що підводиться до мотора, впливає на поверхню пластин і створює обертальний момент на валі. Пластинчаті нерегульовані гідромотори випускають фірми *Denison, Parker, Hydraul, B&C*.

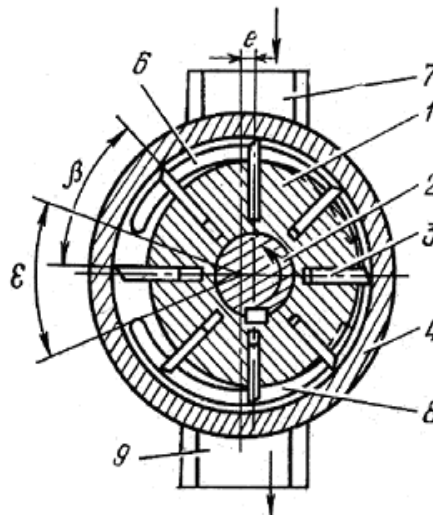


Рис. 5.8 – Пластинчатий гідромотор одnorазової дії:
 1 – ротор; 2 – вихідний вал; 3 – пластини; 4 – корпус; 5 – розподільний диск; 6, 8 – розподільні вікна; 7 – нагнітання; 9 – скидання

Аксіально-поршневий гідромотор застосовують в гідроприводах з високою частотою обертання валу і високим обертальним моментом. У гідравлічних приводах металообробних верстатів застосовують нерегульовані аксіально-поршневі мотори. При однаковій з електродвигунами потужності аксіально-поршневі мотори мають в шість разів менші габарити і в чотири рази меншу масу. Час розгону і гальмування валу гідромотора – соті частки секунди. Можливі часті включення і реверси, можливе безступінчатє регулювання частоти обертання, ККД складає від 80% до 90%.

Конструкція нерегульованого аксіально-поршневого насос-гідромотора з похилим диском наведена на рис. 5.9.

У корпусі 4 разом з валом 1 обертається блок циліндрів 5. Поршні 11 спираються на похилий диск 3 і здійснюють зворотно-поступальний рух. Осьові сили тиску передаються корпусним деталям: передній кришці 2 через люльку 14 і задній кришці 8 через черевик 13. Розподіл робочої рідини забезпечується торцем блоку циліндрів 6, на поверхні якого відкриваються вікна циліндрів 9, і торцем гідророзподільника 7.

Поверхні системи розподілу взаємоцентровані, поверхня блоку циліндрів має можливість самоорієнтації. Утворення шару мастила забезпечується рухливим шліцьовим з'єднанням 12 між блоком циліндрів і валом. Пружина 10 запобігає розкриттю стику системи розподілу під дією моменту відцентрових сил поршнів.

У гідромотор через канали під тиском подають робочу рідину. Поршні під дією рідини здійснюють зворотно-поступальний рух, обертають похилий диск і зв'язаний з ним вал.

Використовують аксіально-поршневі регульовані і нерегульовані гідромотори *Eaton, Sumhydraulik, Bosch Rexroth, Sauer Danfoss, Kawasaki, Sunfab*.

Радіально-поршневі мотори використовують в гідравлічних приводах, де потрібні великі оборотні моменти при малій частоті обертання вихідного валу: термопласт-автомати, транспортери і конвеєри в гірничодобувній промисловості. Використовують мотори фірм *Intermot, Sai, Parker, Bosch Rexroth, Eaton, Bosch, Poclain Hydraulic*.

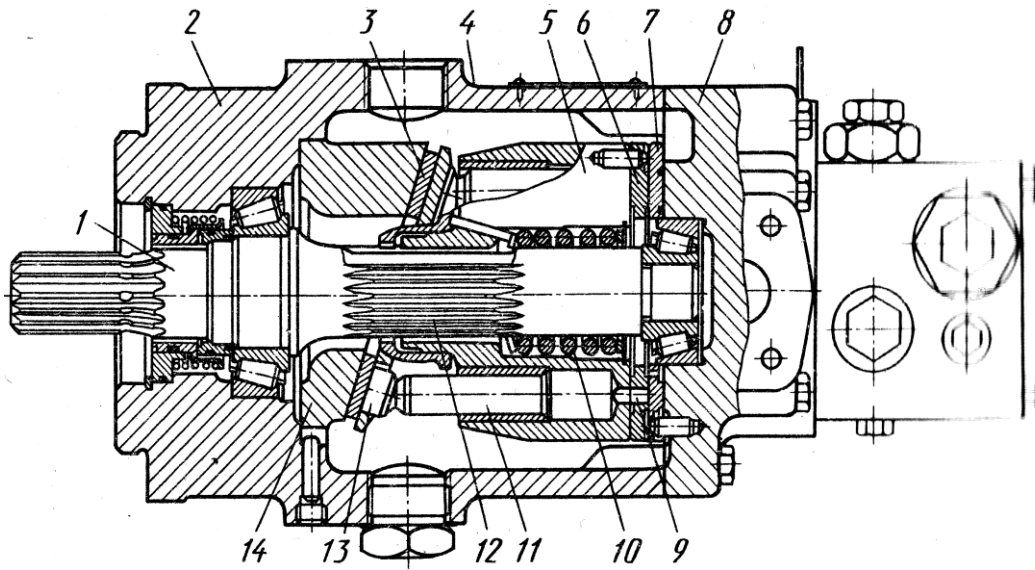


Рис. 5.9 – Аксіально-поршневий насос-гідромотор з похилим диском:
 1 – вал; 2, 8 – кришки; 3 – похилий диск; 4 – корпус; 5 – блок циліндрів;
 6 – фланець блоку циліндрів; 7 – гідророзподільник; 9 – вікно;
 10 – пружина; 11 – поршень; 12 – шліцьове з'єднання; 13 – черевик;
 14 – люлька

6 КОНТРОЛЬ І РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

У технологічних процесах для контролю температури найчастіше використовують:

- манометричні термометри з діапазоном вимірюваних температур від -50°C до $+1300^{\circ}\text{C}$;
- термоелектричні перетворювачі (діапазон вимірювання від 200°C до 2200°C);
- термоперетворювачі опору (діапазон вимірювання від -260°C до 1100°C);
- пірометри випромінювання (квазімонохроматичні з діапазоном вимірювання $700\ldots 6000^{\circ}\text{C}$, спектрального відношення з діапазоном вимірювання $1400\ldots 2800^{\circ}\text{C}$, радіаційні з діапазоном вимірювання $50\ldots 3500^{\circ}\text{C}$).

6.1 Розрізняють газові, рідинні, конденсаційні манометричні термометри. Принцип дії заснований на залежності тиску робочої речовини в замкненому об'ємі термосистеми від температури.

Датчик термометра (термобалон) занурюється у вимірюване середовище. При зміні температури робочої речовини в термобалоні змінюється тиск, який через капілярну трубку передається на пружинний манометр або інший за конструкцією вимірювальний прилад манометричного термометра.

Манометричні термометри випускають з індикатором, уніфікованими пневматичним або електричним вихідними сигналами, а також у вигляді безшкальних приладів, з класами точності 1...4. Можливе використання на вибухонебезпечних об'єктах. Довжина капілярної трубки до 60 м. Мідні капіляри мають сталеву захисну оболонку. Істотним недоліком є вірогідність розгерметизації приладу.

Приклад. Термометри манометричні з функцією індикації та сигналізації *TM2030C2-1* (з газовим заповнювачем), *TM2030C2-2* (з конденсаційним заповнювачем) виробництва фірми "Манотом".

6.2 Термoeлектричні перетворювачі (термопари)

складаються з двох сполучених між собою різнорідних провідників. Принцип дії заснований на термоелектричному ефекті Зеєбека: зміні термоелектрорушійної сили (ЕРС) чутливого елемента, який утворено двома різнорідними провідниками, при зміні температури їх спаю (*гарячого*) по відношенню до температури вільних (*холодних*) кінців електродів.

Найчастіше в промисловості використовуються наступні термоелектричні перетворювачі:

- *хромель-копель (ТХК)*, за міжнародною класифікацією *тип L*, робочі температури $-50...600^{\circ}\text{C}$;
- *хромель-алюмель (ТХА)*, *тип K*, $-50...1000^{\circ}\text{C}$;
- *платинородій-платина (ТПП)*, *тип S* (10% Rh), $0...1700^{\circ}\text{C}$;
- *платинородій-платина (ТПП)* *тип R* (13% Rh), $0...1700^{\circ}\text{C}$;
- *платинородій-платинородій (ТПР)*, *тип B* (30% Rh), $100...1800^{\circ}\text{C}$;
- *залізо-константан (ТЖК)* *тип J*, $-100...1200^{\circ}\text{C}$;
- *ніхросил-нісил (ТНН)*, *тип N*, $-200...1300^{\circ}\text{C}$;
- *вольфрамений-вольфрамений (ТВР)* *тип A*, $0...2200^{\circ}\text{C}$.

Для компенсації температури вільних спаїв застосовують компенсаційні дроти, хімічний склад яких залежить від матеріалу електродів термопар.

Приклад: термоелектричні перетворювачі *Метран-241* і *Метран-242* із довжиною робочої частини до 1600 мм. Термоелектричні перетворювачі *Метран-231* і *Метран-232* випускають із довжиною кабельної частини до 5 м.

6.3 Принцип дії термоперетворювача опору заснований на зміні електричного опору чутливого елемента при зміні температури. Для виготовлення термоперетворювача опору застосовують мідь і платину, перетворювачі випускають з різним номінальним значенням опору.

Приклад: *Метран 270* (градуювання Pt100), *Метран 2700* (градуювання 100П, 50М, 100М), *Rosemount-248* (градуювання Pt100, Pt200 Pt500, Pt1000).

6.4 Термопары і термоперетворювачі опору можуть безпосередньо підключатися до вторинних показуючих (Элемер ТМ 5103, Метран КПТ-1, Диск-250, Овен УКТ38-Щ4, ТРМ-200), реєструючих (Мікроterm МТМ-160) і регулюючих (Элемер ИРТ 5920Н, ИРТ 5920НМ) приладів, а також до контролерів (Ремиконт Р-130Іsa), що мають входи, які призначені для підключення термопар і термоопорів (рис. 6.1,а).

Для підключення термопар до приладів Мікрол ИТМ-22, Мікроterm МТМ-310 і контролерів Simatic S7, що мають входи для уніфікованих електричних сигналів, необхідне використання нормуючих електричних вимірювальних перетворювачів Rosemount 3144Р (вихід 4-20 мА/HART, Fieldbus Foundation) (рис. 6.1,б).

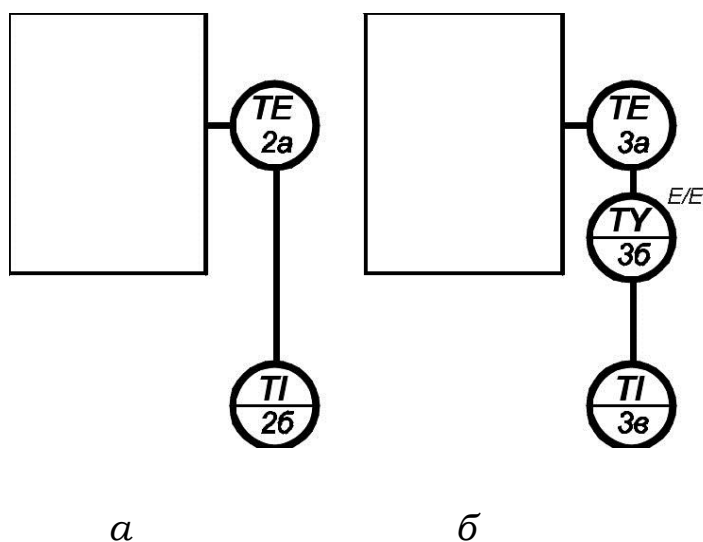


Рис. 6.1 – Приклади контурів контролю температури

6.5 Випускають термопары і термоперетворювачі опору з встановленими на їх корпусі нормуючими перетворювачами, чим забезпечується стандартний вихідний сигнал 4-20 мА: ТХАУ Метран-271, ТСМУ Метран-274, ТСПУ Метран-276. Датчики мають гальванічну розв'язку входу і виходу.

Інтелектуальні датчики температури (термопары і термоперетворювачі опору) здійснюють дистанційне налаштування діапазону вимірювання, самодіагностику датчика з сигналізацією несправності, гальванічну розв'язку вхідних і вихідних ланцюгів. Датчики мають уніфікований вихідний

сигнал 4-20 мА/HART: *Метран 281, 286, 288*.

Багатозонні термомари і термоперетворювачі опору застосовують для контролю температурного профілю агрегатів, виявлення зон перегрівання в реакторах, ректифікаційних колонах. При цьому скорочується число технологічних отворів на корпусі агрегатів, підвищується надійність і безпека роботи технологічного устаткування.

Приклад: багатозонний термодатчик *Метран-261* містить від 3 до 10 термопар; термодатчики *Rosemount WX, MWX, TX, MTX* містять до 60 термопар або до 20 термометрів опору.

Хімічний склад захисної керамічної і металевої арматури визначається граничними робочими температурами, хімічним складом і мірою агресивності робочого середовища. Діаметр захисної оболонки для 60 термопар – 40 мм, при компактному виконанні – 8 мм.

Максимальні температури, що вимірюються багатозонними термопарами, складають до 800°C; термометрами опору – до 450°C.

Максимальна глибина занурення багатозонних датчиків із захисною арматурою – до 16 м, без захисної арматури – до 40 м.

Для вибухо- і пожежонебезпечних виробництв випускають термоелектричні перетворювачі і термоперетворювачі опору спеціальних виконань.

Приклад: термоелектричні перетворювачі вибухозахищені *ТХА Метран-251* і *ТХК Метран-252*, термоперетворювачі опору платинові вибухозахищені *ТСП Метран-256 (100П, Pt100)*.

Для захисту ланцюгів 4-хпровідного підключення термоперетворювачів опору, захисту ланцюгів підключення термопар, що розташовані у вибухонебезпечній зоні, застосовують бар'єри іскробезпеки *БИ-003*.

6.6 Приклади контурів контролю і регулювання температури наведено на рис. 6.2.

Контур 2 призначений для регулювання температури середовища в трубопроводі 28 на виході з теплообмінника. Сигнал від датчика температури (поз. 2а) надходить на вхід контролера. Контролер виробляє електричний сигнал. Положення регулюючого органу змінює виконавчий механізм

(поз. 2д) електричний однооборотний МЭО 6,3-99 з управлінням через пускач безконтактний реверсивний ПБР-3А (поз. 2г).

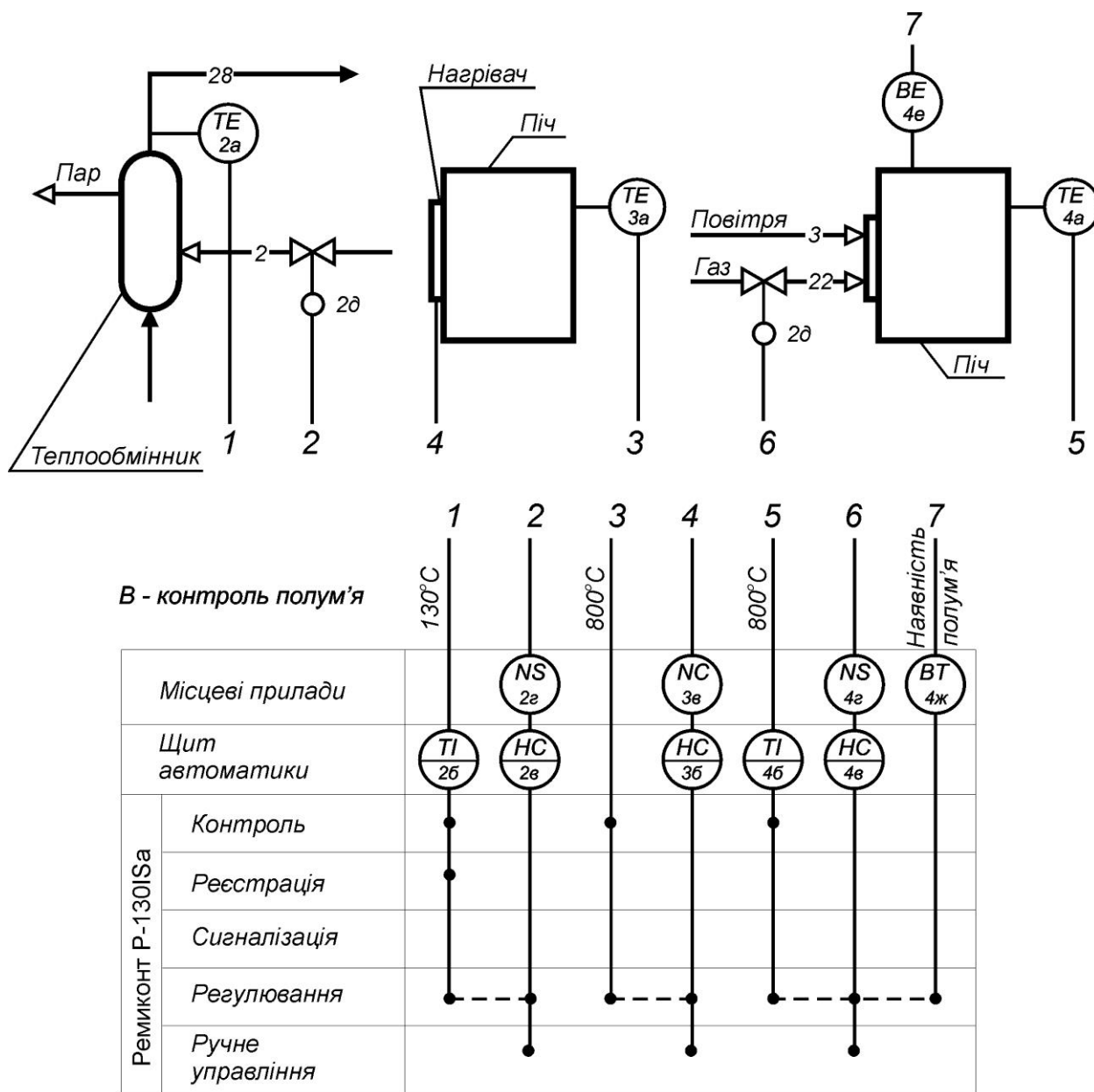


Рис. 6.2 – Контури контролю і регулювання температури

Для ручного управління виконавчим механізмом передбачено блок ручного дистанційного керування БРУ-22 (поз. 2в). Для зручності роботи персоналу в контур контролю включено індикатор технологічний Овен ТРМ-100 (поз. 2б), який встановлено на щиті.

Контур 3 забезпечує регулювання температури електричної печі. Сигнал від термопари (поз. 3а) надходить на вхід контролера Ремиконт Р-130ІСа, який формує сигнал керування

блоком управління симісторами і тиристорами БУСТ (поз. 3в). Останній призначений для плавного регулювання потужності нагрівачів печі. Для ручного управління розташовано блок ручного дистанційного керування БРУ-10 (поз. 3б).

Контур 4 забезпечує регулювання температури робочого простору газової печі шляхом регулювання подачі газу в інжекційний пальник. Співвідношення газ/повітря підтримується автоматично за рахунок інжекції повітря. Сигнал термопари (поз. 4а) подається на контролер, який видає електричний керуючий сигнал. Для зручності роботи персоналу в контур контролю включено індикатор технологічний Овен ТРМ-100 (поз. 2б), який встановлено на щиті. Положення регулюючого органу змінює виконавчий механізм (поз. 4д) електричний однооборотний МЭО 6,3-99 з управлінням через пускач безконтактний реверсивний ПБР-3А (поз. 4г). Для ручного управління виконавчим механізмом призначено блок ручного дистанційного керування БРУ-22 (поз. 4в).

Для підвищення надійності роботи печі, підвищення вибухо- і пожежобезпеки встановлено ультрафіолетовий датчик полум'я DURAG, D-LE603 з високою селективністю (поз. 4е), який виробляє сигнал відсутності полум'я пальника. Сигнал з датчика надходить на блок управління оптичним датчиком полум'я D-UG-120 (призначений для печі з одним пальником), що має уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА (поз. 4ж). Сигнал з блоку поступає на контролер, який виробляє сигнал відключення подачі газу.

Для автоматичного розпалу пальника застосовано блок D-GF-150 з блоком розширення (відображення налаштувань) D-AM-160 (на схемі не показано). Блок забезпечує певну послідовність розпалювання і відключення пальника: продування камери згорання, подачу пілотного і основного палива, включення запальника.

7 КОНТРОЛЬ І РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ

Тиск – фізична величина, яка чисельно дорівнює відношенню нормальної складової сили до площі поверхні, на яку вона діє.

7.1 Види тиску:

- *атмосферний (барометричний) тиск* створюється масою повітряного стовпа земної атмосфери;
- *абсолютний тиск* – тиск відносно вакууму. За початок відліку приймають тиск усередині посудини, з якої повністю відкачано повітря;
- *надлишковий тиск* є різницею між абсолютним і барометричним тисками;
- *розрідження (вакууметричний тиск)* – тиск в системі, який менший за атмосферний.

У Міжнародній системі одиниць (СІ) за одиницю тиску прийнято *Паскаль* (Па) – тиск, що створюється силою в 1 ньютон (Н), яка рівномірно розподілена на площі в 1 м^2 і спрямована нормально до неї. Використовують позасистемні одиниці: бар, міліметр ртутного стовпа, міліметр водяного стовпа, кілограм-сила на квадратний сантиметр, кілограм-сила на квадратний метр.

Співвідношення між одиницями тиску: $1 \text{ атм (фізична)} = 1,033 \text{ ат (атмосфера технічна)}, \text{ кг/см}^2 = 10,33 \text{ м вод. ст.} = 0,101325 \text{ МПа} = 101,325 \text{ кПа} = 14,696 \text{ psi (фунт/дюйм}^2) = 1,01325 \text{ бар} = 760 \text{ мм рт. ст.}$

Для вимірювання тиску застосовують:

- *манометри надлишкового тиску*;
- *манометри абсолютного тиску*;
- *барометри* для вимірювання атмосферного тиску;
- *вакуумметри* для вимірювання розрідження;
- *напороміри* для вимірювання надлишкових тисків до 1 кПа;
- *тягионапороміри* для вимірювання надлишкових тисків 20-120 кПа;
- *вакуумметри залишкового тиску* для вимірювання абсолютних тисків менше 200 Па;

– диференціальні манометри для вимірювання різниці тисків.

Приклади:

– *Вакуумметр testo 552*, цифровий показуючий засіб вимірювання, вимірювальний діапазон 0-1100 мбар.

– *Тягомір* мембранний показуючий *ТММП-100-М1*, призначений для вимірювання вакуумметричного тиску до 0,4 кПа.

– *Напоромір* мембранний показуючий *НМП-100-М1*, призначений для вимірювання надлишкового тиску до 0,6 кПа.

– *Тягоміри і напороміри ПД1Т, ПД-1Н, ПД-1ТН*, межі вимірювання $\pm 0,125$; ± 4 кПа, струмовий вихідний сигнал 4-20 мА, "Armakipservice, ltd", м. Київ.

– Цифрові комбіновані іонізаційно-теплові вакуумметри *МЕРАДАТ-ВИТ, "Мерадат"*. На виході уніфікований струмовий сигнал (0-20, 4-20 мА), інтерфейс RS-485. *Мерадат ВТ12СТ2* працює з манометричними перетворювачами *ПМТ-4* (робочий діапазон тисків 0,013–26,66 Па ($1 \cdot 10^{-4}$ –0,2 мм рт. ст.)) і *ПМТ-6-ЗМ-1* (робочий діапазон тисків 0,133– $7 \cdot 10^5$ Па ($1 \cdot 10^{-3}$ –750 мм рт. ст.)).

7.2 Найчастіше застосовують деформаційні засоби вимірювання тисків, у яких в якості міри тиску використовується деформація пружного чутливого елемента (ЧЕ). На рис. 7.1 наведені різні форми ЧЕ:

- трубчасті пружини;
- сильфони;
- мембрани.

Трубчаста пружина, пружина Бурдона (рис. 7.1,а) – криволінійна металева порожниста трубка, один з кінців якої переміщується, а інший жорстко закріплений. Використовують для перетворення тиску, який подається у внутрішній простір пружини, в пропорційне переміщення її вільного кінця.

Приклади:

– *Манометри, вакуумметри* показуючі стрілочні вібростійкі корозійностійкі *М-ВУКс*, діапазон вимірювання приладів від 0 до 1600 кгс/см², трубчаста пружина виконана із сплаву заліза та нікеля.

- Манометри цифрові прецизійні з жк-індикатором ДМ5001 для АЕС, діапазон вимірювання від 0 до 2500 кгс/см², вихідний сигнал 0-5 і 4-20 мА.

- Манометр показуючий пружинний, модель 232.35, Wika, Німеччина.

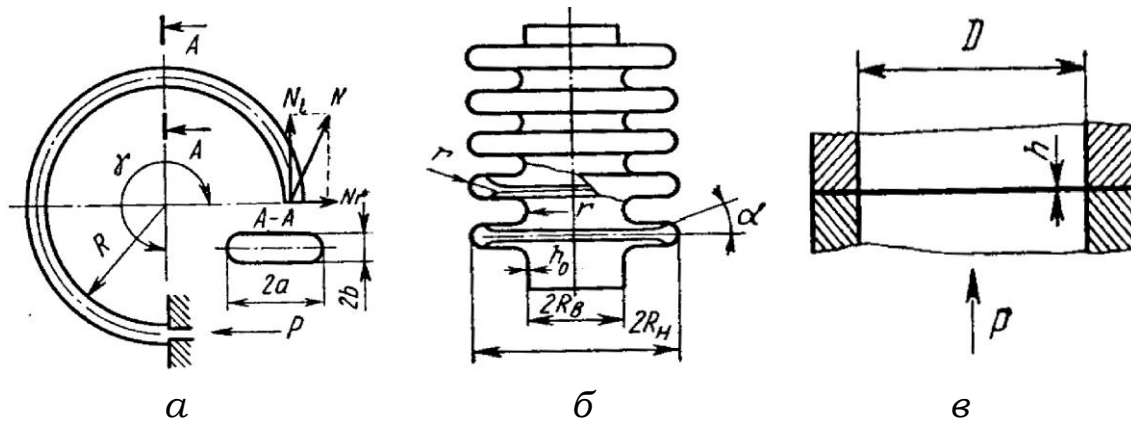


Рис. 7.1 – Чутливі елементи засобів вимірювання тиску:
а – пружина; б – сільфон; в – мембрана

Сільфон (рис. 7.1,б) – тонкостінна циліндрична оболонка з поперечними гофрами, яка переміщується під дією тиску або сили.

Приклад: сільфонне реле тиску, серія РМ1, фірма AVENTICS, GERMANY, тиск включення від 0,09 МПа до 1,6 МПа.

Пружна мембрана – гнучка округла, плоска або гофрована пластина (рис. 7.1,в), яка прогинається під дією тиску. Статична характеристика плоских мембран нелінійна, як робочу ділянку використовують невелику частину можливого ходу.

Приклади:

- Тягоміри ТмМП-52-М2, напороміри НМП-52-М2, тягонапороміри ТНМП-52-М2 мембранні показучі.

- Манометри мембранні, серія 1516, фірма Orange Research, США. Діапазон вимірюваного диференціального тиску від 0 МПа до 0,33 МПа, вихідний сигнал 4-20 мА.

- Мембранні датчики тиску ДМ5007, ДМ5007а, ДМ5007ЕХ, ДМ5007АЕХ, "Манотом". Призначені для перетворення абсолютного тиску (ДА) в діапазоні від 600 кПа до 16 МПа, надлишкового тиску (ДИ) в діапазоні від 10 кПа до 250 МПа, розрідження (ДВ) в діапазоні від 10 до 100 кПа, різниці тисків

(ДД) в діапазоні від 0,25 кПа до 2,5 МПа, надлишкового тиску та розрідження (ДВИ) в діапазоні від 100 кПа до 2,4 МПа в уніфікований сигнал постійного струму 0-5 мА і 4-20 мА.

- *Манометри* показуючі сигналізуючі *ДМ2010С2*, "Манотом", діапазон вимірювання від 0 до 1600 кгс/см², пружина виготовлена з мідного або залізонікелевого сплаву.

- *Диференціальний* вимірювальний перетворювач тиску *DELTA-trans*, *тип 891.34.2189*, *фірма WIKA*, *Німеччина*, чутливий елемент – гумово-тканинна мембрана. Діапазон вимірюваних тисків: 0-250 мбар; 0-25 бар. Містить вбудований LCD індикатор, вихідний сигнал 4-20 мА.

7.3 Вимірювальні перетворювачі тиску розрізняються способом перетворення деформації чутливого елемента в сигнал вимірювальної інформації:

- індуктивні;
- магнітні;
- ємнісні;
- тензорезисторні;
- п'єзоелектричні;
- волоконно-оптичні.

У магнітних перетворювачах (наприклад, в перетворювачі тиску *DELTA-trans*, *тип 891.34.2189*, *фірма WIKA*) постійний магніт закріплено на мембрані, а сенсором служить датчик Холла.

У ємнісних перетворювачах (рис. 7.2,а) тиск *P* сприймається металевою мембраною 3, що є рухливим електродом ємнісного елемента. Мембрана і нерухомі пластини 2 утворюють частину вимірювального ємнісного мосту. Електроди встановлено в корпусі 1, робочий простір перетворювача заповнено інертною робочою рідиною 5, яка передає тиск. Від вимірюваного середовища робочу рідину відділяють розділові мембрани 4. Ємнісні перетворювачі використовують для вимірювання тисків, що швидко змінюються.

Приклад: перетворювач тиску вимірювальний *Rosemount 3051S* з ємнісним датчиком, діапазон вимірюваних тисків 0-0,025 кПа; 0-68,9 МПа. Вихідні сигнали: 4-20 мА/HART, Foundation Fieldbus, реалізує функції самодіагностики. Розділові

мембрани виконано з нержавіючої сталі 316L (X18H10T), сплав С-276 (Хастелой), тантал. Можливе застосування виносних сенсорів. Вимірювані середовища: рідини (у т.ч. нафтопродукти), пара, газ, газові суміші.

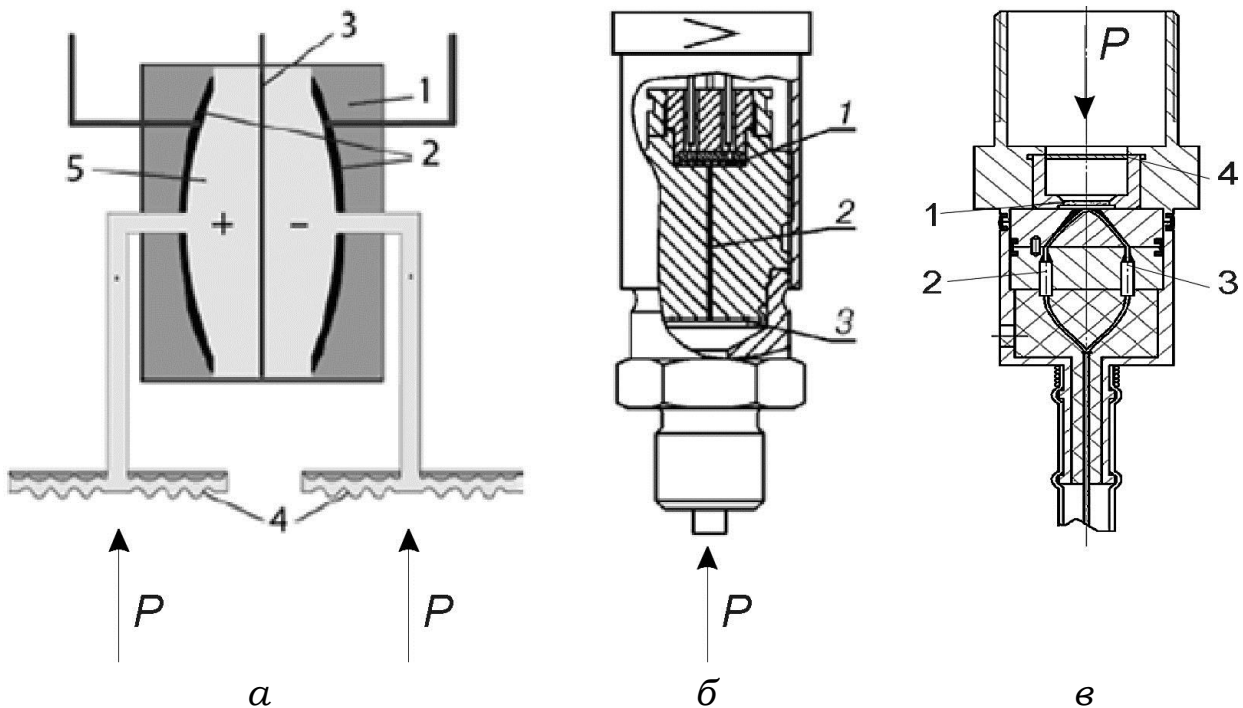


Рис. 7.2 – Вимірювальні перетворювачі тиску:

- а – ємнісний (1 – корпус перетворювача; 2 – нерухомі пластини конденсатора; 3 – мембрана, електрод; 4 – розділові мембрани; 5 – робоча рідина);
- б – тензорезисторний (1 – вимірювальна мембрана з напиленими тензодатчиками; 2 – робоча рідина; 3 – розділова мембрана);
- в – оптичний (1 – мембрана; 2, 3 – оптичні волокна, що підводять і відводять світло)

В *тензорезисторних перетворювачах* (рис. 7.2,б) у якості ЧЕ використовується кремнієва мембрана 1, на яку напилено напівпровідникові тензорезистори. Тиск P через розділову мембрану 3 передається робочій рідині, що заповнює канал 2, і далі на вимірювальну мембрану 1.

Деформація мембрани призводить до зміни опору напівпровідникових тензорезисторів. Тензодатчики включені в мостову вимірювальну схему. Вбудований мікропроцесор перетворює зміну опору тензомосту в уніфікований струмовий вихідний сигнал (0-5, 0-20, 4-20 мА).

Приклад: перетворювач тиску вимірювальний *Rosemount 3051T*, тензорезисторний сенсор, межі вимірювання від 2,07 до 68950 кПа. Вихідні сигнали: 4-20 мА, HART. Сенсорний модуль містить вбудований термометр для корекції результатів вимірювання. Вимірювані середовища: газ; рідина (в т.ч. нафтопродукти), пара.

Застосування *розділових мембран* дозволяє уникнути контакту між вимірюваним середовищем і вимірювальною системою приладу. Вимірювальну частину приладу заповнюють інертною робочою рідиною (диметилсилоксан DC200, фторований вуглеводень 3M Fluorinert FC77), яка передає зовнішній тиск. Застосовують вбудовані мембрани і виносні мембрани, які сполучені з приладом капілярними трубками. Розділові мембрани використовують, якщо:

- температура процесу виходить за межі робочого діапазону датчика тиску;
- робоче середовище агресивне;
- робоче середовище містить завислі частинки або має підвищену в'язкість, що може викликати закупорення датчика;
- робоче середовище може замерзати або тверднути усередині датчика.

Приклад: виносні *розділові мембрани Rosemount 1199*, тиск вимірюваного середовища до 68 МПа; температура вимірюваного середовища від -75°C до 415°C; робоча рідина кремнійорганічна Silicone 704. Мембрана сполучена з вимірювальною частиною капіляром. Матеріал мембран – нержавіюча сталь 316L (X18H10T), Хастелой С-276, тантал, титан.

Волоконнооптичні датчики тиску (рис. 7.2,в) містять оптичні волокна, що підводять (2) і відводять (3) світло, які встановлено на фіксованій відстані від світловідбивної поверхні полірованої кварцової мембрани 1. Зовнішнє середовище відокремлене від вимірювальної системи розділовою мембраною 4. Тиск P передається мембрані через робочу рідину. При деформації мембрани змінюється інтенсивність відбитого світлового потоку. При використанні інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі 0,85 мкм проміжок між волокнами і мембраною складає 1 мкм і прогин мембрани не

повинен перевищувати цього значення. Відбитий оптичний сигнал за допомогою електронно-оптичного перетворювача перетворюється на уніфікований вихідний сигнал.

Інтелектуальні датчики тиску Метран 150 (виконання АС), вимірювані середовища – газ, рідина, пара. Температура середовища – 40...80°C, вихідний сигнал 4-20 мА, HART. Датчики *Метран-150 АС (CD, CG)* містять ємнісний вимірювальний перетворювач, *Метран-150 АС (TG, TA)* – тензорезистивний модуль на кремнієвій підкладці. Можливе програмування характеристики вихідного сигналу: лінійна, яка зростає чи спадає, квадратична. В процесі вимірювання виконується усереднення (демпфування) результатів, час демпфування встановлюється в діапазоні від 0,045 до 40 с.

7.4 Контури контролю і управління тиском наведено на рис. 7.3.

Контур 1 призначений для локального контролю тиску в апараті. Містить показуючий пружинний манометр *Модель 232.35, Wika, Німеччина (поз. 1)*.

Контур 2 застосовують для контролю перепаду тисків між двома апаратами. До складу контуру входить перетворювач тиску вимірювальний *Rosemount 3051S*, що дозволяє вимірювати перепад тисків (*поз. 2а*), сигнал якого передається на контролер *Ремиконт Р-130ISa* і додатковий вторинний показуючий прилад *Мікрол ИТМ-22 (поз. 2б)*.

Контур 3 дозволяє здійснювати регулювання тиску в трубопроводі зміною числа обертів робочого валу насоса. До складу контуру входять датчик надлишкового тиску *Метран 150CGR (поз. 3а)*, уніфікований сигнал якого надходить на вхід контролера. Контролер *Ремиконт Р-130ISa* виробляє електричний сигнал, який надходить на перетворювач частоти *Micromaster-440 (поз. 3в)*, що призначений для плавного регулювання обертів двигуна змінного струму. Ручне управління здійснюється за допомогою блоку *БРУ-7 (поз. 3б)*.

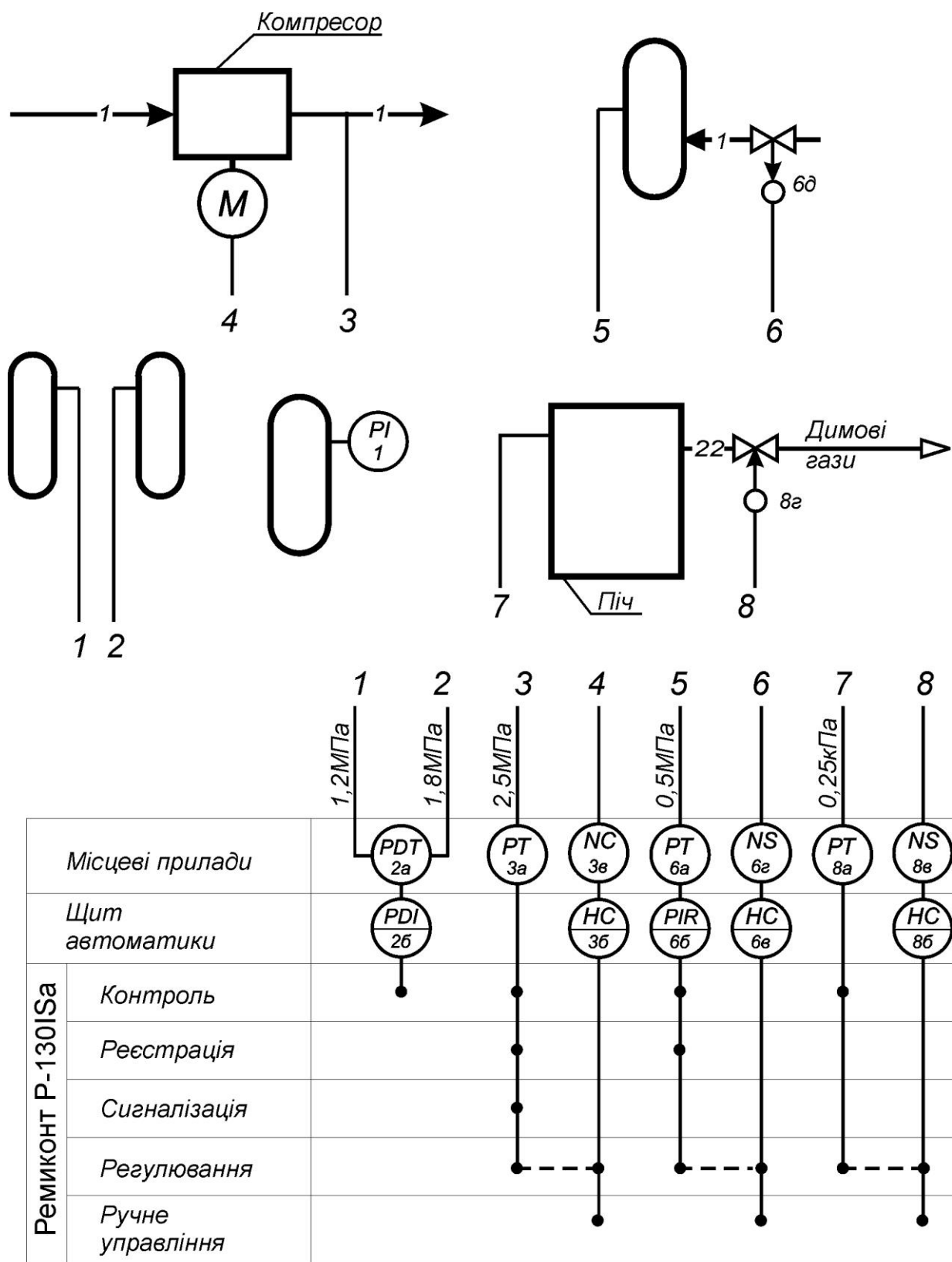


Рис. 7.3 – Контури контролю і регулювання тиску

Контур 6 призначений для регулювання тиску в апараті зміною витрати компонента. До складу контуру входять датчик надлишкового тиску *Метран 150CGR* (поз. 6а), уніфікований

сигнал якого надходить на вхід контролера. Контролер *Ремиконт Р-130ISa* виробляє електричний сигнал. Положення регулюючого органу змінює виконавчий механізм електричний однооборотний *МЭО 6,3-99* (поз. 6д) з управлінням через пускач безконтактний реверсивний *ПБР-3А* (поз. 6г). Для ручного управління виконавчим механізмом призначено блок ручного дистанційного керування *БРУ-42* (поз. 6в). Для зручності роботи персоналу в контур контролю включено показуючий, реєструючий прилад *Диск-250* (поз. 6б), який встановлено на щиті.

Контур 8 регулює тиск в печі шляхом зміни положення шибера. До складу контуру входить тягонапоромір *ПД-1ТН "Armakipservice, ltd"* (поз. 8а), уніфікований сигнал якого надходить на вхід контролера. Положення регулюючого органу змінює виконавчий механізм електричний прямоходний *Electrak-PPA-AC115, модель 18B65* (поз. 8г) з управлінням через пускач безконтактний реверсивний *ПБР-3А* (поз. 8в). Для ручного управління виконавчим механізмом призначено блок ручного дистанційного керування *БРУ-22* (поз. 8б).

8 КОНТРОЛЬ І РЕГУЛЮВАННЯ ВИТРАТИ І КІЛЬКОСТІ РЕЧОВИНИ

8.1 Кількість речовини вимірюється в молях, а також в одиницях маси (кг, т) або об'єму (м^3 , л).

Лічильники – засоби вимірювання, що здійснюють підрахунок загальної кількості речовини, яку використано за певний проміжок часу (доба, місяць). Кількість речовини визначається як різниця показань лічильника і на початку N_1 і наприкінці N_2 обраного проміжку часу

$$V = q_v(N_2 - N_1), \quad (8.1)$$

де q_v – стала лічильника; визначає кількість речовини, що припадає на одиницю показань лічильника.

Витрата речовини – кількість речовини, що проходить через поперечний переріз потоку за одиницю часу. Вирізняють об'ємну ($\text{м}^3/\text{с}$, л/с), масову (кг/с, т/год) і мольну (моль/с) витрати.

Засоби вимірювання витрати носять назву *витратомірів*. Багато витратомірів містять інтегрувальні пристрої і дозволяють вимірювати як витрату, так і кількість речовини (*лічильники-витратоміри*).

8.2 Схему лічильника з овальними шестернями наведено на рис. 8.1. Усередині корпусу 3 розміщено дві овальні шестерні 1 і 2, що знаходяться в зачепленні. Потік рідини створює перепад тиску між входом P_1 і виходом P_2 лічильника, в результаті на шестернях виникає обертальний момент.

При обертанні шестерень відбувається почергове заповнення рідиною об'єму між корпусом і шестернею, відсікання об'єму, переміщення об'єму до виходу з лічильника. За один оберт через лічильник проходять чотири мірні об'єми рідини V_1 . Результат вимірювання кількості речовини не залежить від в'язкості середовища. До недоліків можливо віднести необхідність фільтрації вимірюваного середовища від механічних домішок, високий рівень акустичного шуму.

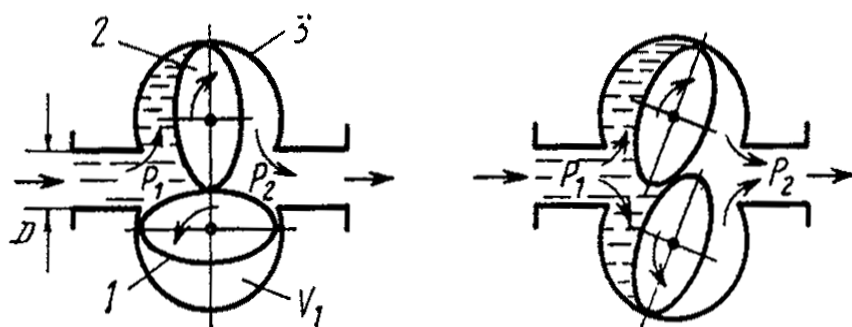


Рис. 8.1 – Схема лічильника з овальними шестернями

Приклади:

- мікровитратоміри *ОМ004-ОМ008* (діаметр вхідного отвору 4-8 мм), витрата 0,5-550 л/год, вихідний сигнал формується герконом; *ЕМ006-ЕМ008*, вихідний сигнал формується датчиком Холла;
- витратоміри середнього діапазону *ОМ015-050* (діаметр вхідного отвору 15-50 мм), витрата 1-35 л/хв;
- великі витратоміри *ОМ080-100* (діаметр вхідного отвору 80-100 мм), витрата 35-150 л/хв.

8.3 Для вимірювання газових потоків застосовують ротаційні лічильники (рис. 8.2).

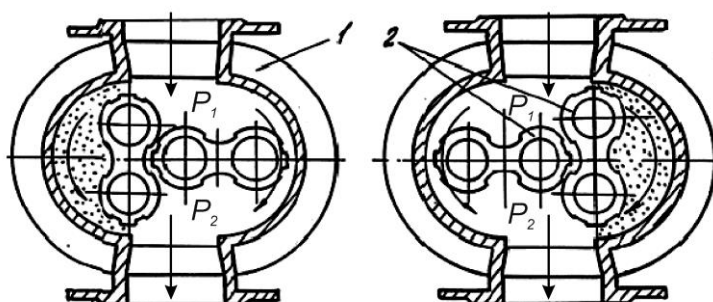


Рис. 8.2 – Схема ротаційного лічильника газу

Об'єм лічильника складає простір між внутрішньою поверхнею корпусу 1 і роторами 2. Тиск газу P_1 на вході лічильника перевищує тиск на виході P_2 . Різниця тисків створює обертальний момент роторів у напрямі, який вказано стрілками. За кожний оберт через лічильник проходять 4 мірні об'єми газу.

Рахунковий механізм показує об'єм газу, що пройшов через лічильник.

Приклад: лічильник газу ротаційний *РГК-Ех*, типорозміри *G25, G40, G65, G100, G250, G400, G650, G1000* (діаметр вхідного отвору 50-200 мм), діапазон вимірювання витрат 2-1000 м³/год, виробник "Промприбор", м. Івано-Франківськ.

8.4 Лопатевий лічильник (рис. 8.3) має циліндричний корпус 2, рухливий барабан 3, усередині якого розташовано нерухомий кулачок 5. На кулачок через ролики 6 спираються лопаті 1, 4, 7, 8. Рідина, що надходить в простір між внутрішньою поверхнею корпусу 2 і поверхнею барабана 3, тисне на лопаті і обертає барабан.

Лопать 1, яка розташована біля входу лічильника, "втоплена" в барабан. При його обертанні, в результаті обкатки роликом поверхні кулачка, лопать 1 висувається з барабана і відсікає об'єм рідини між лопаттю 1 і лопаттю 4. Об'єм переміщується у робочому просторі. На виході лічильника лопать 8 "втоплюється" в барабан, що дозволяє лопаті 7 витіснити об'єм рідини з лічильника. За один оберт барабана через лічильник проходять чотири мірні об'єми рідини. Перетіканню рідини з входу на вихід перешкоджає вкладка 9.

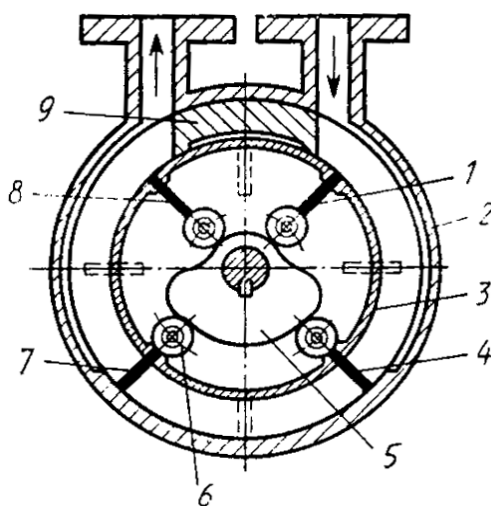


Рис. 8.3 – Схема лопатевого лічильника

Приклади:

– Лопатеві витратоміри *Dualpulse* фірми *Darkont Ltd* мають корпус із нержавіючої сталі, тефлонові підшипники, ротор з

карбіду вольфраму. Вихідний сигнал витратомірів *Dualpulse* дискретний: 0-30 В, 0-200 мА або 5-24 В, 4-20 мА. Діапазон вимірюваних швидкостей потоку 0,3-10 м/сек.

– Лічильники рідини лопатеві МКА фірми "Alfons Haar" (Німеччина) застосовуються для вимірювання витрат від 3 до 180 м³/год.

8.5 Діафрагмові (мембранні, камерні) лічильники газу

складаються з корпусу, механізму для вимірювання, кривошипно-важільного механізму, що з'єднує рухливі частини діафрагм (мембран) з клапанами газорозподільного пристрою, і механізму для відліку.

Схему роботи чотирикамерного діафрагмового лічильника наведено на рис. 8.4. Потік газу через вхідний патрубок і відкритий клапан надходить в камеру 2 (рис. 8.4,а). Збільшення об'єму газу в камері 2 викликає переміщення діафрагми і витіснення газу з камери 1 на вихід з лічильника. Після наближення важеля діафрагми до стінки камери 1 відбувається перемикання клапанних груп. Камери 1 і 2 відключаються від входу лічильника.

На другому етапі (рис. 8.4,б) відкривається вхід газу в камеру 3, її наповнення викликає переміщення діафрагми і витіснення газу з камери 4 у вихідний патрубок лічильника. Після наближення важеля діафрагми до стінки камери 4 відбувається перемикання клапанних груп. Камери 3 і 4 відключаються від входу лічильника.

Далі відкривається вхід газу в камеру 1 (рис. 8.4,в). Збільшення об'єму газу в камері 1 викликає переміщення діафрагми і витіснення газу з камери 2 на вихід з лічильника. Після наближення важеля діафрагми до стінки камери 2 відбувається перемикання клапанних груп, камери 1 і 2 відключаються від входу лічильника.

На останньому етапі (рис. 8.4,г) відкривається вхід газу в камеру 4, її заповнення викликає переміщення діафрагми і витіснення газу з камери 3 на вихід лічильника. Після наближення важеля діафрагми до стінки камери 3 відбувається перемикання клапанних груп. Камери 3 і 4 відключаються від входу лічильника.

За кожен цикл витісняється об'єм газу, який дорівнює сумі об'ємів камер 1, 2, 3, 4.

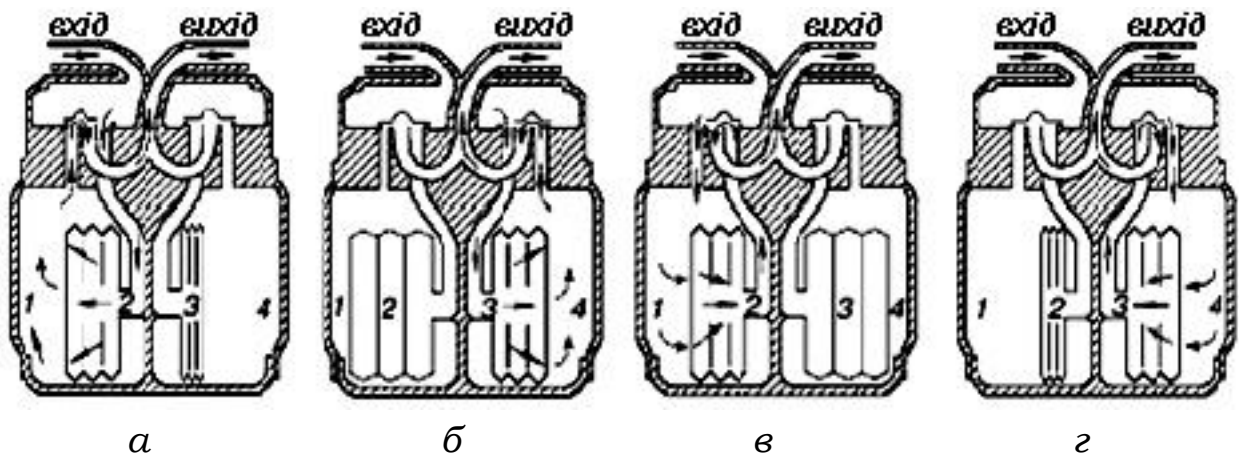


Рис. 8.4 – Схема роботи діафрагмового чотирикамерного лічильника газу

Діафрагмові лічильники застосовують для обліку газу низького тиску (0,05 МПа) з витратою до 160 м³/год. Лічильники мають високу точність роботи в широкому діапазоні числа Рейнольдса потоку газу. Не вимагають високої міри очищення газу. Міжповірочний інтервал може складати до 10 років. Похибки вимірювання збільшуються при низьких температурах, тому необхідна температурна компенсація.

Приклад: діафрагмові лічильники газу *ВК G40, G65, G100* з верхньою межею вимірювання витрати газу до 160 м³/год.

8.6 У швидкісних лічильниках кількість речовини, що пройшла через лічильник, визначають за результатами вимірювання швидкості обертання турбіни. Чутливий елемент швидкісних лічильників – *аксіальна* або *тангенціальна* турбіна, що приводиться в обертання потоком рідини, яка протікає через лічильник (рис. 8.5).

Число обертів турбіни за одиницю часу n пропорційно швидкості потоку

$$n = k \cdot W, \quad (8.2)$$

де k – коефіцієнт пропорційності; W – швидкість потоку в перерізі F лічильника.

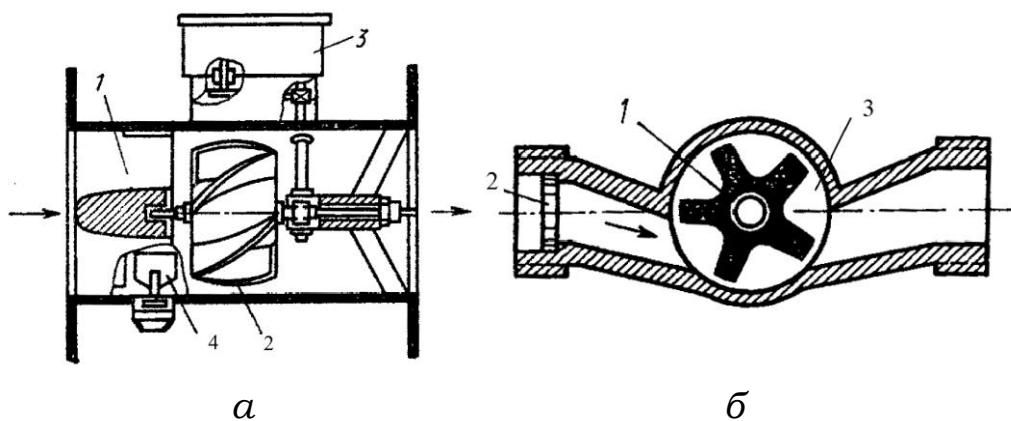


Рис. 8.5 – Схеми швидкісних лічильників:

- а – з аксіальною турбіною (1 – апарат, що спрямовує; 2 – турбіна;
3 – пристрій для відліку; 4 – пристрій для налаштування);
б – з тангенціальною турбіною (1 – турбіна; 2 – фільтр; 3 – корпус)

Об'ємна витрата через лічильник визначається залежністю

$$Q = F \cdot W = F \frac{n}{k}. \quad (8.3)$$

У лічильниках з аксіальною турбіною (рис. 8.5,а) на вході встановлено апарат 1, що згладжує збурення потоку середовища. Обертання турбіни 2 передається пристроєм для відліку 3. При калібруванні лічильника швидкість обертання турбіни налаштовують пристроєм 4.

Приклади:

- Лічильники газу "TZ/Fluxi" G65 G6500, фірма Actaris, Німеччина, діапазон вимірювання витрати 100-10000 м³/год.
- Лічильники газу TRZ G65 G4000 "Эльстер Газелектроника", Словаччина, діапазон вимірювання витрати 100-6500 м³/год.

Лічильники з тангенціальними турбінами (рис. 8.5,б) застосовують для вимірювання кількості рідини при малих витратах. Турбіну 1 з прямолінійними або криволінійними лопатями встановлено в корпусі 3. На вході в лічильник встановлено фільтр 2.

Приклади. Турбінні витратоміри Турбопульс складаються із спіралевидного ротору з феритної нержавіючої сталі, який встановлено в двох підшипниках з карбіду вольфраму. Корпус

виконано з аустенітної немагнітної сталі. У роторі встановлено постійний магніт, обертання ротора генерує імпульси напруги в котушці датчика. Частота імпульсів пропорційна швидкості обертання ротора n і об'ємній витраті Q . Вихід: частотний або сигнал 4-20 мА.

Перетворювачі вимірювальні *ИПХ* для холодної і *ИПГ* для гарячої води з аксіальною турбіною, *ИПХ 50/65*, *ИПХ 80/125*, *ИПХ 150*, вимірювана витрата до 500 м³/год, "Водоприлад".

8.7 У витратомірах змінного перепаду тиску витрату середовища визначають за перепадом тиску на звужувальному пристрої.

У трубопроводі встановлюють звужувальний пристрій (діафрагму) (рис. 8.6). При протіканні потоку через отвір пристрою його швидкість збільшується, а тиск зменшується. На пристрої виникає перепад тиску, який вимірюється дифманометром.

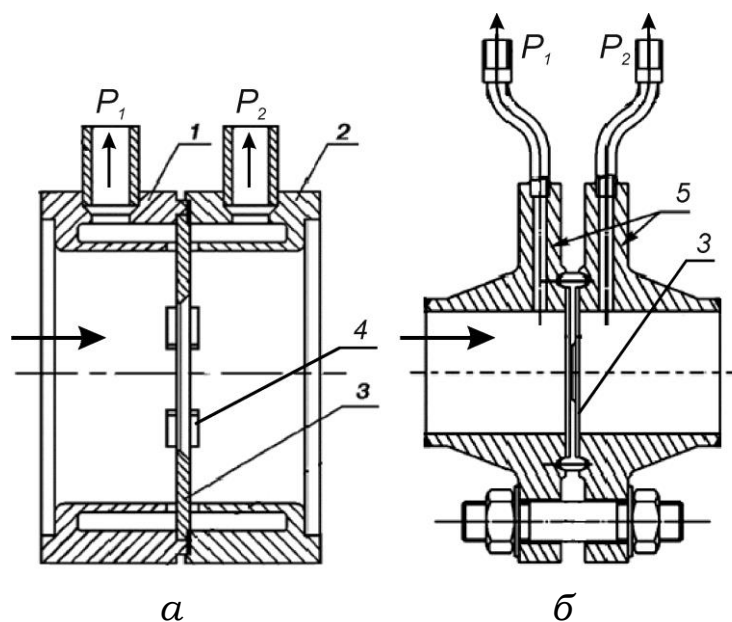


Рис. 8.6 – Діафрагми витратомірні:

а – камерна стандартна (ДКС); б – фланцева стандартна (ДФС)

1,2 – корпус кільцевої камери; 3 – діафрагма; 4 – щілина; 5 – фланець

У камерній стандартній діафрагмі (ДКС) (рис. 8.6,а) відбір тиску середовища виконують через щілину в корпусах кільцевих

камер. Діафрагми виготовляють номінальним діаметром $D_u=50-500$ мм.

Приклад позначення діафрагми:

– $D_u=50$ мм на тиск P_u до 0,6 МПа: ДКС-0,6-50;

– $D_u=50$ мм на тиск P_u до 10 МПа: ДКС-10-50.

Діафрагма з фланцевим відбором перепаду тиску (ДФС) (рис. 8.6,б) встановлюється у фланцях, умовний тиск (P_u) до 10 МПа з умовним проходом (D_u) 50-400 мм.

Приклад позначення діафрагми: $D_u=50$ мм, $P_u=10$ МПа: ДФС-10-50.

У трубопроводі зі встановленою діафрагмою 2, площа отвору якої F_0 , виокремлюють три перерізи (рис. 8.7):

а) А-А – перед діафрагмою (де немає впливу діафрагми на потік), площа F_1 ;

б) В-В – найбільше звуження струменя, площа F_2 ;

в) С-С – після діафрагми (де відновлюються швидкість і тиск).

При проходженні через переріз А-А потік стискається. Стискання досягає найбільшого значення в перерізі В-В після діафрагми. Зменшення перерізу струменя призводить до збільшення швидкості потоку від W_1 в перерізі А-А до W_2 в перерізі В-В.

Тиск потоку, який складає P_1' в перерізі А-А, починає знижуватися перед діафрагмою і досягає мінімального значення P_2' в перерізі В-В. Тиск P_3' в перерізі С-С не відновлюється до P_1' через втрати тиску $\delta P = P_1' - P_3'$, що викликані втратами енергії потоку на вихроутворення в мертвих зонах і на тертя.

Відбір тиску виконують у стінки труби біля діафрагми. Тиск у стінки труби перед діафрагмою P_1 перевищує P_1' за рахунок зменшення швидкості потоку в мертвій зоні перед діафрагмою. Тиск у стінки труби безпосередньо після діафрагми P_2 також перевищує мінімум тиску P_2' в перерізі В-В. Ці особливості враховують при визначенні характеристик звужувального пристрою.

Характеристики звужувального пристрою:

– модуль звужувального пристрою (конструктивна характеристика), $m = F_0/F_1 = d_2/D_2$;

– коефіцієнт звуження струменя (не визначається розрахунковим шляхом), $\mu = F_2/F_0$, де F_0 і d – площа і діаметр отвору звужувального пристрою, D – діаметр трубопроводу;

– коефіцієнт ψ , який відображає співвідношення між перепадами тисків $\Delta P'$ і ΔP

$$\psi = \frac{\sqrt{P'_1 - P'_2}}{\sqrt{P_1 - P_2}}, \quad (8.4)$$

– коефіцієнт гідравлічних втрат енергії ξ на тертя на ділянці A-A – B-B.

Коефіцієнти μ , ψ , ξ неможливо визначити незалежно один від одного. Їх об'єднують в один комплексний коефіцієнт витрати α :

$$\alpha = \frac{\psi\mu}{\sqrt{\xi - m^2\mu^2}}. \quad (8.5)$$

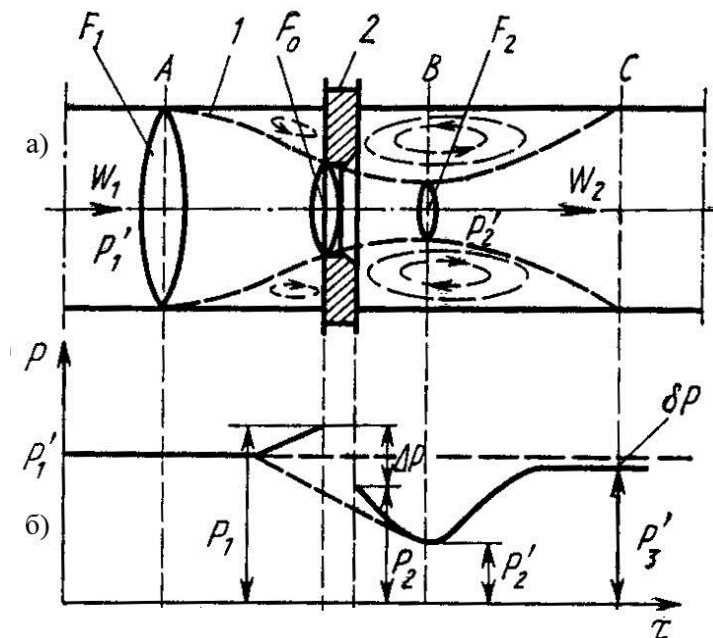


Рис. 8.7 – Характер течії середовища через діафрагму і зміни тиску потоку

Два звужувальні пристрої однакової конфігурації мають однакові коефіцієнти витрати, якщо:

– подібні їх геометричні форми;

- рівні модулі m ;
- потоки, що протікають через звужувальні пристрої, гідродинамічно подібні і мають рівні числа Рейнольдса Re .

Коефіцієнт витрати α при певному модулі m зростає із зменшенням Re (рис. 8.8). Із зростанням Re коефіцієнт α зменшується. При $Re > Re_{\text{граничне}}$ (для певного m) коефіцієнт витрати α постійний, потік набуває *автомодельного характеру*. Звужувальні пристрої, що працюють в автомодельній області і не вимагають індивідуального градування, мають назву *стандартних звужувальних пристроїв* і використовуються для трубопроводів $D \geq 50$ мм.

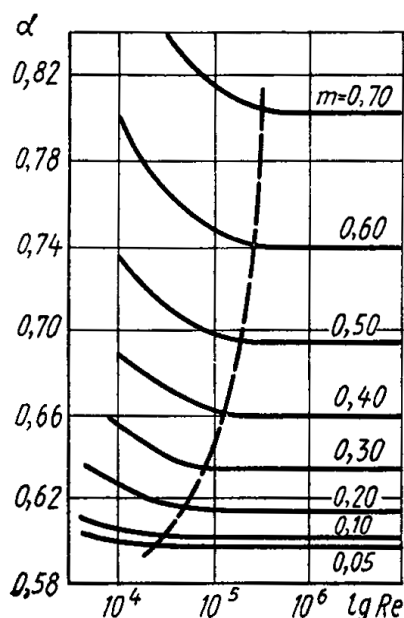


Рис. 8.8 – Залежність коефіцієнта витрати α від числа Рейнольдса Re для стандартних діафрагм

Приклади:

- Вимірювальні діафрагми ДКС, ДБС, ДФК, *Rosemount* серія 405. Спеціальне виконання: ДКС, ДФК з конічним входом; ДКС, ДБС, ДФК стійкі до зношування.

- Витратоміри змінного перепаду тиску інтегральної конструкції *Rosemount 3051SFC*, $D_y=15-300$ мм (рис. 8.9). Діафрагми: *Rosemount 405P* з одним отвором (рис. 8.9,б), $D_y=15-300$ мм; *Rosemount 405C* (забезпечує стабілізування) з чотирма отворами, $D_y=50-300$ мм (рис. 8.9,а,в).

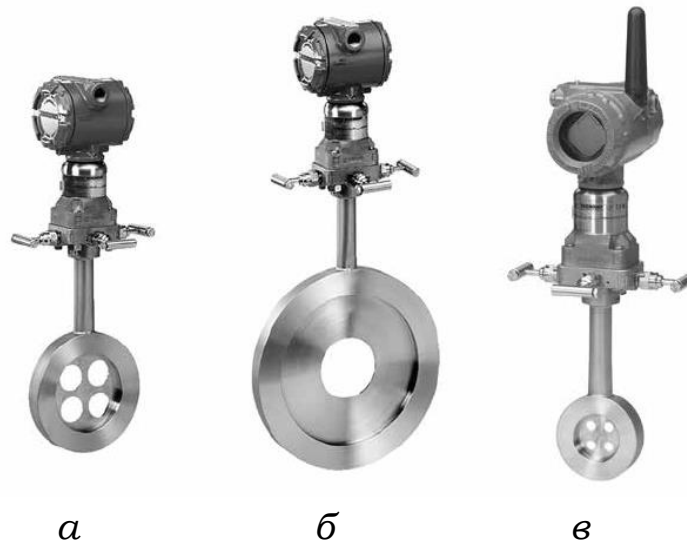


Рис. 8.9 – Витратоміри Rosemount 3051SFC:

а, в – з діафрагмою Rosemount 405C; б – з діафрагмою Rosemount 405P

До складу витратомірів *Метран 350SFA*, *Rosemount 3051SFC*, *Rosemount 3051SFA* входять датчики тиску *Rosemount 3051S*.

Температура середовища: 40-232°C (інтегральний монтаж датчика); 100-454°C (віддалений монтаж датчика імпульсними лініями). Тиск в трубопроводі до 10 МПа. Основна відносна похибка вимірювань витрати – до 0,7%. Вихідний сигнал: 4-20 мА/HART та бездротовий WirelessHART.

8.8 Принцип дії електромагнітних витратомірів засновано на законі електромагнітної індукції Фарадея. У провіднику, що перетинає силові лінії магнітного поля, індукується ЕРС, яка пропорційна швидкості руху провідника. Провідником є *потік електропровідної рідини*. Схему електромагнітного витратоміру наведено на рис. 8.10.

Між полюсами магніту *N* і *S* перпендикулярно напрямку магнітних силових ліній розташовується відрізок металевої немагнітної труби *3* з потоком електропровідної рідини. Внутрішня поверхня труби покрита електроізоляційним матеріалом. У стінці труби в площині, що перпендикулярна магнітним силовим лініям, встановлено два електроди *1* і *2*, які підключено до вимірювального приладу *4*. Шляхом вимірювання

наведеної в рідині ЕРС визначають швидкість потоку і об'ємну витрату рідини.

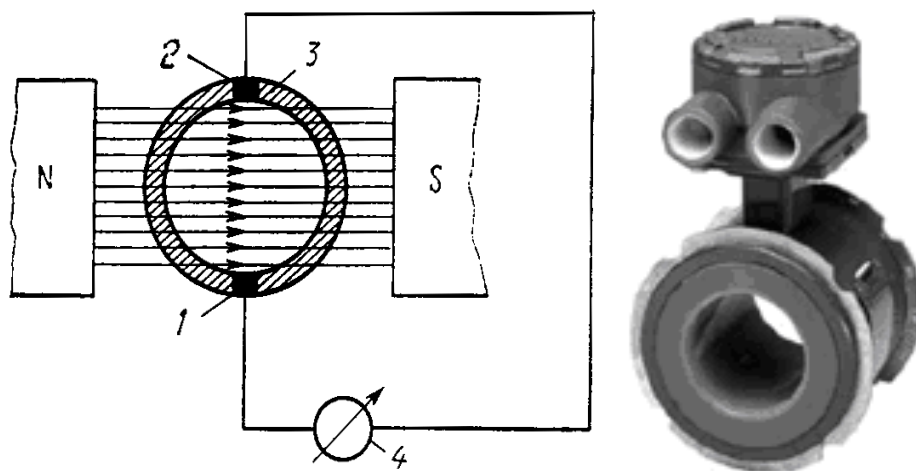


Рис. 8.10 – Схема електромагнітного витратоміру:
N, S – постійний магніт; 1, 2 – електроди; 3 – труба ізолятор;
4 – вимірювальний прилад

На результати вимірювання витратомірів не впливають завислі в рідині частинки і бульбашки газу; вимірювання проводять без втрати тиску. Можливе вимірювання витрат в стерильних об'єктах.

Приклади:

– Витратомір електромагнітний *Rosemount 8750W*. Вимірює об'ємну витрату: рідин з електропровідністю більше 5 мкСм/см, пульпи, суспензій, бурових розчинів, питної води, харчових продуктів.

Умовний прохід Ду (DN) 4-900 мм. Межі основної відносної похибки 0,25% (стандартне виконання); 0,15% (високоточне калібрування). Тиск середовища до 40 МПа. Вихідні сигнали 4-20 мА/HART. Витратомір складається з сенсора витрати і перетворювача. Сенсор встановлюють в трубопровід. У корпусі перетворювача встановлено електронний блок і локальний інтерфейс оператора.

– Витратомір електромагнітний *Метран-370*, вимірювані середовища – рідини з електропровідністю не менше 5 мкСм/см. Умовний прохід Ду (DN) 15-200 мм. Межі основної відносної похибки вимірювання витрати – 0,5%. Тиск

вимірюваного середовища до 4 МПа. Вихідні сигнали 4-20 мА/HART і частотно-імпульсний.

8.9 Витратомір Коріоліса (багатопараметричний)

складається з сенсора і перетворювача. Сенсор (рис. 8.11,а) складається з сенсорних трубок IV, котушки III, яка збуджує коливання сенсорних трубок, і котушок датчиків, які встановлено на вході I і виході II сенсорних трубок.

Сенсор вимірює витрату, густину середовища, температуру сенсорних трубок. Перетворювач перетворює сигнали сенсора в уніфіковані вихідні сигнали.

Датчики, які встановлено на сенсорних трубках, складаються з постійних магнітів 1 і котушок 2. Котушки змонтовано на одній трубці, магніти на іншій. Котушки, у випадку руху відносно постійних магнітів, генерують напругу синусоїдальної форми. Якщо витрата середовища в трубопроводі відсутня, сигнали датчиків знаходяться в одній фазі.

Під час поступального руху середовища в сенсорних трубках, які коливаються, виникає *Коріолісове прискорення*, що викликає Коріолісову силу. Коріолісова сила протилежно діє на коливання вхідної і вихідної сторін сенсорних трубок. В результаті виникає запізнювання сигналу вхідного датчика відносно до сигналу вихідного датчика (рис. 8.11, б). Часовий зсув сигналів ΔT (мікросекунди) прямо пропорційний масовій витраті (чим більше ΔT , тим більша витрата).

Вимірювання густини у витратомірах Коріоліса засновано на взаємозв'язку між масою і частотою власних коливань сенсорної трубки. При збільшенні густини (маси) середовища власна частота коливань трубки зменшується (період коливань збільшується). Частота коливань (Гц) вимірюється вихідним датчиком II. На рис. 8.11,в показано збільшення періоду коливань сигналу вихідного детектора від T_{p1} до T_{p2} при збільшенні густини середовища від ρ_1 до ρ_2 . При зменшенні густини середовища власна частота коливань трубок збільшується.

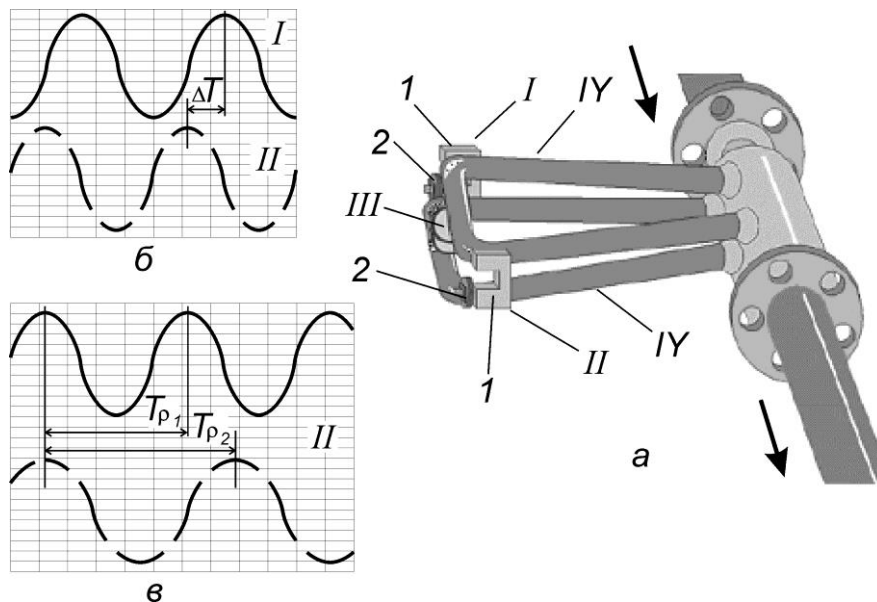


Рис. 8.11 – Витратомір Коріоліса

а – схема витратоміру (I – датчик вхідний; II – датчик вихідний;

III – котушка; IV – сенсорні трубки;

1 – постійний магніт; 2 – котушка датчика);

б – часовий зсув ΔT сигналів вхідного I і вихідного II датчиків за наявності витрати середовища;

в – зміна періодів коливань сигналу вихідного датчика II при зміні густини ρ середовища ($\rho_2 > \rho_1$)

Приклад: масові витратоміри-густиноміри Micro Motion з сенсорами *CMFS010*, *F 025B*, *T050*, *DL200*, перетворювач модель 2200 з живленням за струмовою петлею. Багатопараметричні вимірювання: масова витрата, об'ємна витрата, густина, температура; контроль двох з вказаних параметрів; оцінка вмісту твердих частинок. Вихідний сигнал 4-20 мА/HART. Перетворювачі вибухобезпечного виконання: моделі 2500, 2700.

8.10 Принцип дії вихрових витратомірів засновано на ефекті утворення вихорів по сторонам від тіла, яке розташовано в потоці рідини або газу. Витратомір складається з датчика і перетворювача сигналів (рис. 8.12).

Датчик складається з корпусу 1, в проточній частині якого встановлено тіло обтікання 2. При протіканні потоку середовища за тілом утворюється вихрова доріжка (доріжки Кармана) 7, частота вихорів пропорційна швидкості потоку. Вихроутворення викликає пульсації тиску середовища за тілом

обтікання. Частота пульсацій тиску відповідає частоті вихроутворення і є мірою витрати.

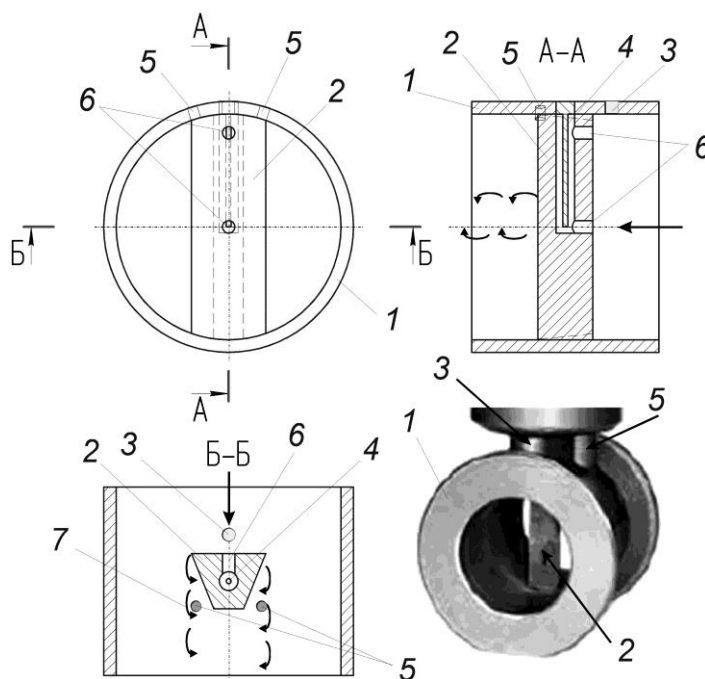


Рис. 8.12 – Схема датчика вихрового витратоміру:

- 1 – корпус; 2 – тіло обтікання;
- 3 – тензорезисторний датчик надлишкового тиску;
- 4 – термоперетворювач опору; 5 – п'єзодатчик пульсацій тиску;
- 6 – отвори; 7 – вихрова доріжка

Пульсації тиску сприймають п'єзоелектричні перетворювачі 5, які встановлено симетрично за тілом обтікання в зоні вихроутворення. Надлишковий тиск середовища сприймає тензорезистивний перетворювач 3, який розміщено перед тілом обтікання. Температуру середовища вимірює термоперетворювач опору 4, який розміщено усередині тіла обтікання. Для забезпечення контакту термодатчика з вимірюваним середовищем в тілі обтікання виконано отвори 6.

Блок перетворювача здійснює обробку сигналів, що надходять від датчиків температури, надлишкового тиску і пульсацій тиску. Відділяє (методами спектрального і кореляційного аналізу) сигнали пульсації тиску від сигналів, що викликані нестабільністю потоку середовища, змінами надлишкового тиску середовища, вібраціями трубопроводу.

Виконує розрахунок об'ємної витрати, об'єму робочого середовища за робочих умов і формує вихідний сигнал.

Приклади:

– Вихровий витратомір *Rosemount 8800D*, вимірювані середовища: газ, пара, рідина. Умовний прохід D_y (DN) 15-300 мм, надлишковий тиск середовища до 25 МПа. Вихідні сигнали: уніфікований 4-20 мА/HART і частотно-імпульсний. Межі відносної похибки вимірювання витрати: для рідини 0,65%; для пари, газу 1%.

– Лічильник газу вихровий *Метран-331*. Містить датчик багатопараметричний *Метран-335* і обчислювач *Метран-333*, виконує вимірювання витрати, тиску, температури. Умовний прохід D_y (DN) 32, 50, 80, 100, 150 мм. Межі вимірювання об'ємної витрати 5-5200 м³/год. Основна відносна похибка вимірювання об'єму 1,5%. Інтерфейси RS232, RS485.

– Лічильник пари вихровий *Метран-332*. Містить датчик багатопараметричний *Метран-336* і обчислювач *Метран-334*, виконує вимірювання витрати, тиску, температури. Вимірюване середовище – насичена пара з мірою сухості 0,7-1, перегріта пара. Надлишковий тиск середовища до 1,6 МПа. Умовний прохід D_y (DN) 32, 50, 80, 100, 150 мм. Межі вимірювання об'ємної витрати 5-5200 м³/год. Межі основної відносної похибки вимірювання об'єму пари 1,5%; вимірювання маси і теплової енергії пари 2,5%. Інтерфейси RS232, RS485.

8.11 Принцип дії вихроакустичних перетворювачів витрати засновано на вимірюванні швидкості потоку середовища за частотою утворення вихорів за тілом обтікання, яке встановлено в проточній частині датчика. Визначення частоти вихроутворення виконується ультразвуковим методом.

Датчик (рис. 8.13) складається з корпусу 1, в проточній частині якого встановлено тіло обтікання 2. При протіканні потоку середовища за тілом обтікання утворюється вихрова доріжка 7, частота вихорів пропорційна швидкості потоку. За тілом обтікання діаметрально протилежно встановлено ультразвукові п'єзовипромінювач 5 і п'єзоприймач 6.

Генератор 3 збуджує ультразвукові коливання п'єзовипромінювача частотою 1 МГц. Ультразвукові коливання

при проходженні через потік середовища взаємодіють з вихорами, виникає фазова модуляція коливань. П'єзоприймач перетворює модульовані ультразвукові коливання в напругу, що надходить на вхід детектора 4. На виході детектора формується сигнал, частота якого відповідає частоті проходження вихорів (міра витрати середовища). Сигнал подається в електронний блок, який виконує фільтрацію завад, температурну корекцію результатів вимірювання, формує уніфікований вихідний сигнал. Для температурної корекції в корпусі проточної частини встановлено термодатчик 8.

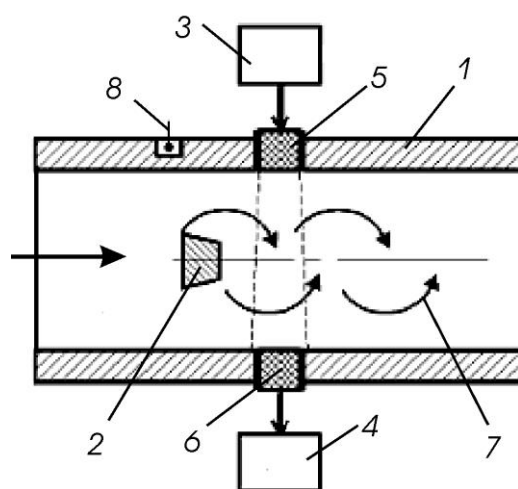


Рис. 8.13 – Схема датчика вихроакустичного перетворювача витрати:

- 1 – корпус; 2 – тіло обтікання; 3 – генератор; 4 – фазовий детектор;
- 5 – п'єзовипромінювач; 6 – п'єзоприймач; 7 – вихрова доріжка;
- 8 – термодатчик

Приклад: перетворювач витрати вихроакустичний *Метран-300ПР*, вимірювані середовища: вода, водні розчини (окрім абразивних) в'язкістю до 2 сСт, температури середовища 1-150°C. Надлишковий тиск середовища до 1,6 МПа. Умовний прохід Ду (DN) 25-300 мм. Межі вимірювання витрати 0,18-2000 м³/год. Межі відносної похибки вимірювання 1,0%. Вихідні сигнали: струмовий 4-20 мА/HART, RS485.

8.12 У витратомірах з осереднювальною напірною трубкою визначення витрати середовища здійснюють за результатами вимірювання змінного перепаду тиску на фронтальній і тильній сторонах напірної трубки.

Застосовують осереднювальні напірні трубки (ОНТ) *Annubar*, *Torbar*, *НІІОГАЗ*. Витратомір (рис. 8.14) складається з ОНТ 8 і перетворювача 9. ОНТ *Annubar-485* занурюваної конструкції, профіль Т-подібної форми, встановлена фронтальною частиною назустріч потоку і перетинає його за діаметром. На фронтальній поверхні профілю 1 відбувається гальмування потоку, утворюється зона підвищеного тиску. Тиск через щілини 3 передається в камеру 5, у верхній частині якої встановлено датчик тиску P_1 .

З тильного боку ОНТ утворюються вихори, виникає область зниженого тиску 2. Тиск через отвори 4 передається в камеру 6, у верхній частині якої встановлено датчик тиску P_2 . Перепад тисків $\Delta P = P_1 - P_2$ пропорційний витраті середовища.

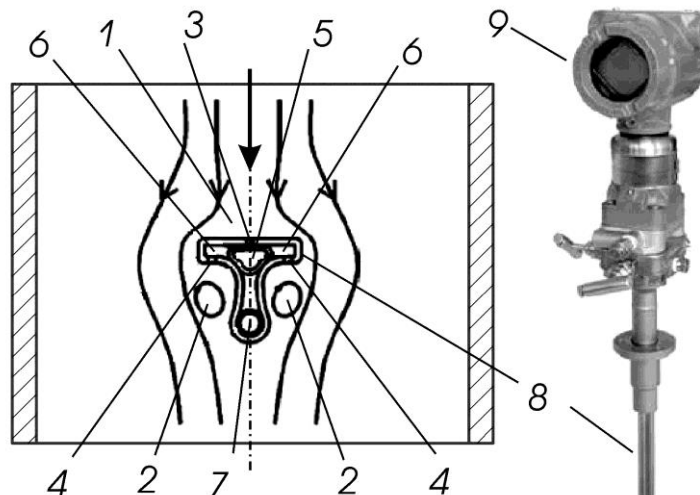


Рис. 8.14 – Витратомір на базі осереднювальної напірної трубки *Annubar-485*:

- 1 – фронтальна поверхня трубки (зона підвищеного тиску);
- 2 – тильна сторона (області зниженого тиску); 3 – щілини; 4 – отвори;
- 5 – камера підвищеного тиску; 6 – камера зниженого тиску;
- 7 – гільза термоперетворювача опору; 8 – ОНТ;
- 9 – вимірювальний перетворювач

Для вимірювання температури середовища в корпусі осереднювальної напірної трубки *Annubar 485* встановлена гільза з термоперетворювачем опору *ТСП Pt 100*. Перетворювач 9 виконує розрахунок масової витрати рідини, пари, газу, об'ємної витрати газу.

Приклад: витратомір *Метран 350*, перетворювач *Rosemount 3051SMV*, *ОНТ Annubar-485*, вимірювані середовища: рідина, газ, пара. Температура середовища -40...400°C (інтегральний монтаж датчика); -184...677°C (віддалений монтаж датчика). Надлишковий тиск в трубопроводі до 25 МПа. Умовний прохід Ду (DN) 50-2400 мм. Межі основної відносної похибки вимірювання витрати 0,8%. Вихідний сигнал 4-20 мА/HART, Foundation Fielbus, WirelessHART. Перетворювач *Rosemount 3051SMV* вимірює абсолютний/надлишковий тиск, перепад тиску, температуру середовища. Розраховує масову витрату, об'ємну витрату в робочих умовах, об'ємну витрату газу, що приведена до стандартних умов, сумарну витрату, витрату і кількість теплової енергії.

8.13 Акустичні (ультразвукові) витратоміри визначають швидкість потоку середовища (витрату) за результатами вимірювання часу проходження акустичних коливань через потік рідини або газу. П'єзокристалічні сенсори здійснюють випромінювання та приймання ультразвукових коливань.

Прямий п'єзоефект виникає при стискуванні і розтягуванні п'єзокристалів у певних кристалографічних напрямках, коли на їх поверхнях утворюються електричні заряди. *Зворотним п'єзоефектом* називають зміни розмірів п'єзоелементів при прикладенні до їх поверхонь різниці потенціалів. Характер змін залежить від знаку напруги.

Прямий п'єзоефект використовують у випромінювачах, зворотний – в приймачах ультразвукових хвиль.

Схема первинного ультразвукового перетворювача витрати наведена на рис. 8.15.

При випромінюванні ультразвукового сигналу у напрямі руху потоку середовища швидкість поширення ультразвукових хвиль збільшується. Час проходження ультразвукового сигналу між випромінювачем *A* і приймачем *B*

$$T_{A \rightarrow B} = \frac{L}{C + V \cdot \cos \alpha}, \quad (8.6)$$

де L – шлях сигналу, V – швидкість потоку, C – швидкість звуку в середовищі, α – кут розташування акустичної системи по відношенню до осі потоку.

При випромінюванні сигналу в напрямі протилежному до руху потоку швидкість поширення ультразвукових хвиль зменшується. Час проходження сигналу між випромінювачем В і приймачем А

$$T_{A \rightarrow B} = \frac{L}{C - V \cdot \cos \alpha}. \quad (8.7)$$

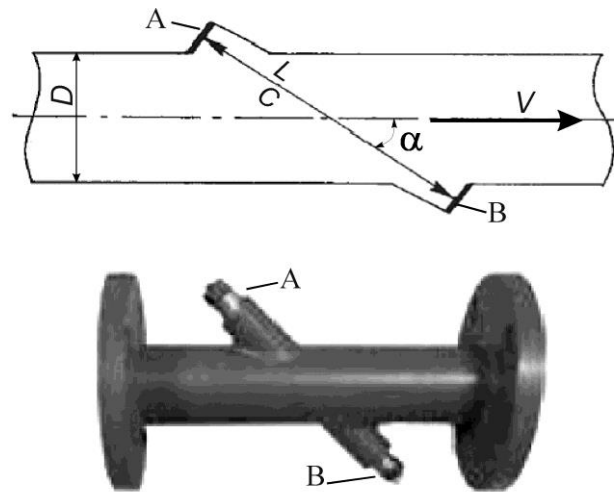


Рис. 8.15 – Схема первинного ультразвукового перетворювача витрати:
 А, В – ультразвукові сенсори; C – швидкість звуку в середовищі;
 D – діаметр труби; L – шлях сигналу; V – швидкість потоку;
 α – кут розташування акустичної системи відносно осі потоку

При вимірюванні середньої швидкості потоку V_{cp} за результатами часу проходження сигналу в обох напрямках підвищується точність вимірювання витрати, знижуються вплив температури і швидкості звуку на результати вимірів

$$V_{cp} = \frac{L}{2 \cos \alpha} \cdot \frac{T_{B \rightarrow A} - T_{A \rightarrow B}}{T_{B \rightarrow A} \cdot T_{A \rightarrow B}} \quad (8.8)$$

Приклади:

– Ультразвуковий витратомір UFM 3030 "КРОНІ Інжиніринг". Трьохпроменева вимірювальна система компенсує вплив форми потоку на результати вимірювання, умовний прохід Ду (DN) 25-3000 мм. Температура середовища: -50...+140°C (компактне виконання), -50...+180°C (роздільне), тиск середовища до 100 кгс/см², швидкість потоку 0,5-20 м/с, в'язкість до 100 сСт. Основна похибка ±0,5%. Виконує обчислення маси продукту і об'ємної витрати, що перетворена до стандартних умов. Вихідний сигнал 4-20 мА/HART, PROFIBUS PA.

– Ультразвукові витратоміри-лічильники рідини US800 ТД, призначені для вимірювання середньої об'ємної витрати і об'єму гарячої та холодної питної води, промислових і побутових стоків, агресивних рідин (кислот, лугів), мазуту, масел, рідких харчових продуктів, окрім газованих напоїв. Використовуються автономно або як первинні перетворювачі витрати в системах АСКТП. Ду=15-2000 мм, максимальна швидкість потоку 12 м/с, температура середовища -40...+150°C. Вихідний сигнал 0-5, 4-20, 0-20 мА; частотно/імпульсний $U_{\max}$ 5 В DC, $f_{\max}$ 1 кГц; RS-485 і RS-232.

– Високотемпературний ультразвуковий витратомір UFM 530 HT (рис. 8.16), Ду (DN) 50-80 мм одноканальний; Ду (DN) 100-300 мм двоканальний. Температура середовища -50...+440°C. Вихідний сигнал 4-20 мА/HART і частотно-імпульсний. Основна похибка ±1%.



Рис. 8.16 – Ультразвуковий витратомір UFM 530 HT

8.14 Приклади контурів контролю і регулювання витрати наведено на рис. 8.17.

Контур 4 здійснює управління витратою середовища в трубопроводі 29. Сигнал від датчика витрати *OHT Annubar-485* (поз. 4а) через перетворювач *Rosemount 3051SMV* (поз. 4б) надходить до контролера *Ремиконт Р-130-ISa*. Сигнал контролера надходить до електропневматичного аналогового перетворювача *ПЕП-11* (поз. 4в). Від перетворювача пневматичний сигнал надходить до пневматичного виконавчого механізму *ММ 250-112-153-031* (поз. 4д), який змінює положення регулюючого органу. Для ручного управління пневматичним виконавчим механізмом призначено панель пневматичного керування *ПП12.2* (поз. 4г).

Контур 5 забезпечує регулювання витрати води. Сигнал датчика витрати – *діафрагми ДКС* (поз. 5а) – надходить до перетворювача різниці тисків *Метран-100-ДД* (поз. 5б), де перетворюється в уніфікований сигнал. Блок визначення кореня *Метран 611* (поз. 5в) виконує лінеаризацію характеристики первинного перетворювача. Далі сигнал надходить до контролера *Ремиконт Р-130ISa*. Положення регулюючого органу змінюється виконавчим механізмом електричним однооборотним *МЭО 6,3-99* (поз. 5е) з управлінням через пускач безконтактний реверсивний *ПБР-3А* (поз. 5д). Для ручного управління виконавчим механізмом призначено блок ручного дистанційного керування *БРУ-42* (поз. 5г).

У контурі 6 для регулювання витрати в трубопроводі 32 застосовано багатофункціональний масовий *витратомір-густиномір Micro Motion*. Сенсор серії *T* (поз. 6а) вимірює витрату, густину середовища і температуру сенсорних трубок. Перетворювач моделі *2000* (поз. 6б) перетворює сигнал, що надходить від сенсора, в стандартний вихідний сигнал 4-20 мА, який подається до контролера *Ремиконт Р-130ISa*. Положення регулюючого органу змінює виконавчий механізм електричний однооборотний *МЭО 6,3-99* (поз. 5е) з управлінням через пускач безконтактний реверсивний *ПБР-3А* (поз. 5д). Для ручного управління виконавчим механізмом призначено блок ручного дистанційного керування *БРУ-42* (поз. 5г).

У контурі 7 (регулювання витрати води) застосовано ультразвуковий витратомір-лічильник рідини US800. Сигнал первинного перетворювача US800 (поз. 7а) надходить до входу електронного блоку лічильника (поз. 7б). Уніфікований сигнал 4-20 мА з виходу електронного блоку US800 надходить до контролера Ремиконт Р-130ІСа. Положення регулюючого органу змінює виконавчий механізм електричний однооборотний МЭО 6,3-99 (поз. 7д) з управлінням через пускач безконтактний реверсивний ПБР-3А (поз. 7г). Для ручного управління виконавчим механізмом призначено блок ручного дистанційного керування БРУ-22 (поз. 7в).

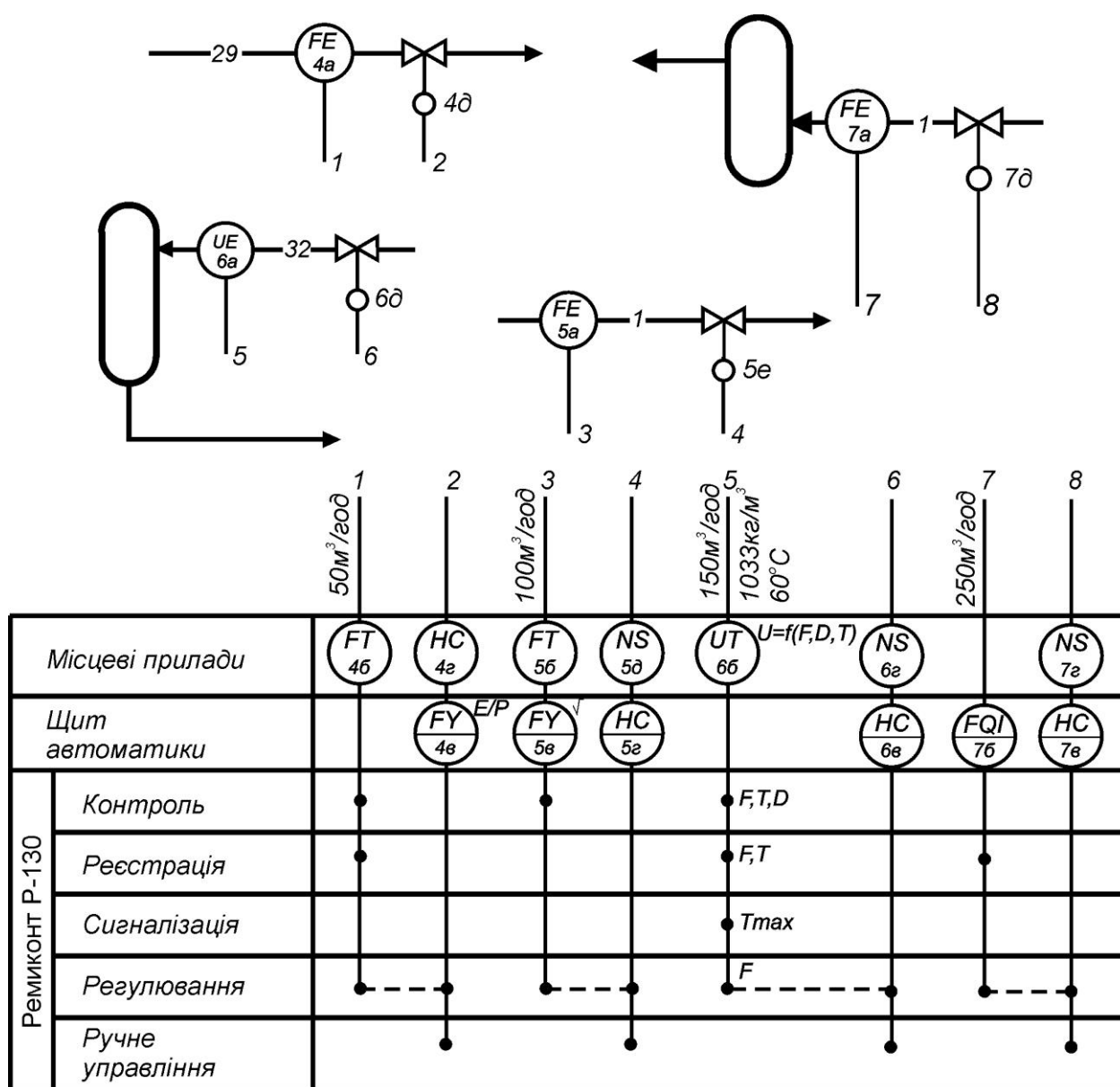


Рис. 8.17 – Контури контролю і регулювання витрати

9 КОНТРОЛЬ І РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ

За характером роботи відрізняють рівнеміри безперервної і періодичної дії. Рівнеміри періодичної дії (реле і датчики граничного рівня) спрацьовують при досягненні середовищем заданого рівня.

9.1 Поплавкові датчики визначають рівень за положенням поплавка, який плаває в рідині. Для вимірювання рівня поділу шарів рідин застосовують поплавки, матеріал яких має певну густину відносно густин середовищ.

Приклади.

Поплавкові датчики рівня *ПДУ-И (Овен)* застосовують для контролю рівня стічних вод, агресивних рідин, харчових продуктів, в'язких рідин. Наявність піни і газових бульбашок не впливає на результати вимірювань. Непридатні для контролю рівня липких рідин, рідин з механічними включеннями і рідин, що засихають чи замерзають.

Рівнемір складається з датчика і перетворювача. До складу *датчика* входить вимірювальний стержень і поплавков з магнітом. Усередині стержня з кроком 10 мм встановлено геркони. До герконів підключено опори, номінал яких визначається рівнем розташування геркона в стержні. При зміні положення поплавка змінюється опір датчика, який підключено до *перетворювача*. Перетворювач формує уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА, що пропорційний рівню рідини. Напруга живлення 10-36 В (DC). Діапазон вимірювання рівня: від 0 до 250...2000 мм (*ПДУ-И.250 – ПДУ-И.2000*). Похибка вимірювання рівня: $\pm(10+0,01L)$ мм, де L – діапазон вимірювання рівня.

Поплавкові рівнеміри ДУУ4МА (Альбатрос) призначено для вимірювання рівня рідин, рівнів (до 4-х) поділу рідких продуктів, які не змішуються, температури датчика, тиску в резервуарі, розрахунку об'єму, густини і маси середовища. Рівнемір складається з датчика і блоку сполучення *БСД-4* (рис. 9.1).

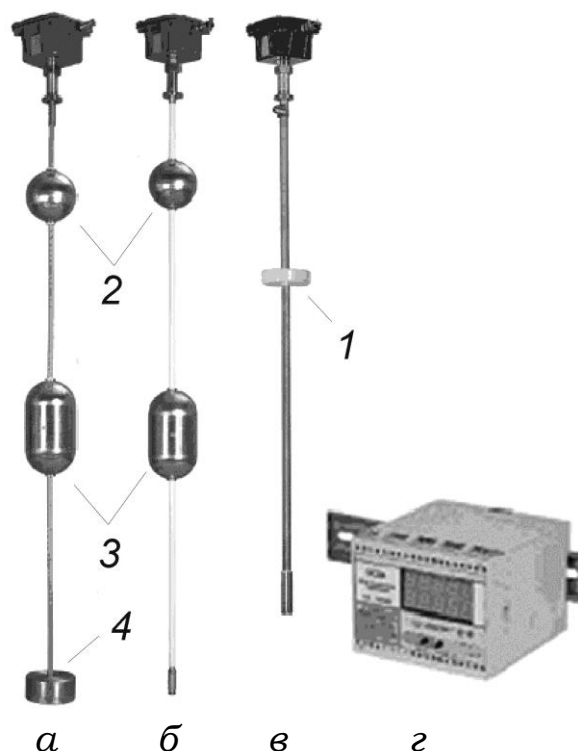


Рис. 9.1 – Рівнемір поплавковий ДУУ4МА:
 1 – поплавок тип І; 2 – тип ІІ; 3 – тип ІІІ; 4 – вантаж
 а – датчик ДУУ2М-10; б – ДУУ2М-04; в – ДУУ2М-02;
 г – блок сполучення з датчиком БСД4

Датчик рівня складається з чутливого елементу, поплавка і п'єзoeлемента, який закріплено на верхньому торці чутливого елементу. Поплавок сполучено з постійним магнітом.

Чутливий елемент – сталевий дріт у фторопластовій трубці, на яку намотано котушку збудження. Розміщується в корпусі діаметром 14 мм з нержавіючої сталі (парамагнетик).

Визначення рівня рідини здійснюється шляхом вимірювання часу поширення в сталевому дроті імпульсів (хвиль) повздовжньої пружної деформації.

На ділянці чутливого елементу, біля якої зупинився поплавок, поле постійного магніту поплавок орієнтує магнітні домени в дроті перпендикулярно до його осі. Генератор збуджує в котушці імпульсне магнітне поле. Дія імпульсу магнітного поля котушки на дріт призводить до розвороту доменів і викликає пружну деформацію вказаної ділянки дроту в результаті ефекту магнітострикції. Виникають хвилі (імпульси) пружної деформації, які поширюються по дроту в обидві сторони від місця розташування поплавка. Один імпульс поширюється вгору

і фіксується п'єзодатчиком, який закріплено на торці дроту. Інший імпульс рухається вниз, відбивається від нижнього торця дроту і також повертається до п'єзодатчика із запізнюванням відносно першого імпульсу.

Місце розташування поплавка і рівень середовища в ємності визначають шляхом вимірювання інтервалів часу між моментом формування імпульсу в котушці збудження і моментами прийому п'єзодатчиком прямого і відбитого імпульсів пружної деформації.

Для вимірювання температури датчика застосовують цифрові інтегральні термометри (*Maxim Integrated Products, Inc*). Для вимірювання тиску в резервуарі застосовують засоби вимірювальної техніки фірми *M.K.Juchheim GmbH & Co*.

Блок БСД-4 сполучення з датчиком (рис. 9.1,г) здійснює генерацію імпульсів збудження, фільтрацію, посилення і детектування сигналів п'єзодатчика. Також виконує зчитування сигналів інтегрального термометра і датчика тиску, формує вихідні сигнали, виконує функції вторинного приладу.

Датчики ДУУ2М-02 мають жорсткий чутливий елемент і 1 поплавок, ДУУ2М-04 – 2 поплавок, ДУУ2М-16 – 4 поплавок і гнучкий чутливий елемент (рис. 9.1, а-в).

Довжина чутливого елемента датчика ДУУ2М-01 складає 1,5-4 м, ДУУ2М-10 – 4-25 м. Робочий надлишковий тиск: ДУУ2М-01 $\leq 2,0$ МПа, ДУУ2М-10 $\leq 0,15$ МПа. Робоча температура ДУУ2М-01 від -45 до $+65^{\circ}\text{C}$, ДУУ2М-02Т від -45 до $+120^{\circ}\text{C}$. Густина рідини 600-1500 кг/м³.

Тип поплавка і густину його матеріалу обирають зважаючи на властивості середовища. Поплавки тип І: густина матеріалу 380-580 кг/м³; тип ІІ: густина 450 ± 40 кг/м³; тип ІІІ призначено для визначення рівня поділу середовищ, густина поплавка регулюється від 870 до 1060 кг/м³ (встановлюється близькою до середньої густини шарів, які контактують); тип ІV: густина матеріалу 550-650 кг/м³.

Матеріали деталей, що контактують з середовищем: сталь 12Х18Н10Т, фторопласт, сферопластик ЭДС-7АП.

Живлення 24 В $\pm 10\%$ (DC). Вихідний сигнал: 0-20; 0-5; 4-20 мА. Інтерфейс RS-485, протокол Modbus RTU. Для управління зовнішніми пристроями призначено два ізольовані

ключі (сухий контакт), комутована напруга постійного або змінного струму ≤ 250 В; струм ≤ 1 А.

Абсолютна основна похибка вимірювання рівня датчиками ДУУ2М з поплавком *тип I* складає $\pm 1...3$ мм і залежить від виконання датчика; з поплавками *типів II, III, IV* ± 5 мм. Абсолютна основна похибка вимірювання температури $\pm 0,5^\circ\text{C}$, відносна основна похибка вимірювання густини в робочих умовах для різних типів датчиків і контрольованих середовищ $\pm 0,3...2,5\%$.

9.2 Принцип роботи буйкових засобів вимірювання рівня засновано на законі Архімеда. При цьому вимірюють силу виштовхування, що діє на буйок, який занурено в рідину. Величина даної сили залежить від глибини занурення буйка.

Приклади.

Датчики рівня буйкові цифрові ЦДУ-01 (ліцензія фірми DRESSER, США) призначено для вимірювання рівня рідини в системах автоматичного контролю, регулювання і управління технологічними процесами в хімічній, нафтохімічній, нафтопереробній, целюлозно-паперовій, мікробіологічній і інших галузях промисловості.

Буйковий датчик рівня ЦДУ-01 (рис. 9.2) встановлюють горизонтально або вертикально на фланцях резервуару. За наявності в резервуарі турбулентних потоків рідини буйок 2 розміщують усередині амортизаційної буйкової камери 1. Можлива установка датчиків у виносній камері (рис. 9.2,г). Буйок закріплено на кінці важеля 3, який встановлено на торсіонній трубці 4. З торсіонної трубки виходить вал 5. На його кінці встановлено важіль 6 з постійним магнітом. У полі постійного магніту розташовано безконтактний датчик Холла 7.

Зміна рівня рідини впливає на силу виштовхування, яка діє на буйок. Змінюється навантаження, що через важіль 3 діє на торсіонну трубку 4. При цьому змінюється кут "закручування" трубки і кут повороту валу 5. Відбувається переміщення важеля 6 з постійним магнітом відносно датчика Холла і змінюється магнітне поле датчика. Вбудований мікроконтролер перетворює аналоговий сигнал датчика Холла в цифровий і формує

вихідний уніфікований струмовий сигнал, який пропорційний рівню середовища в резервуарі.

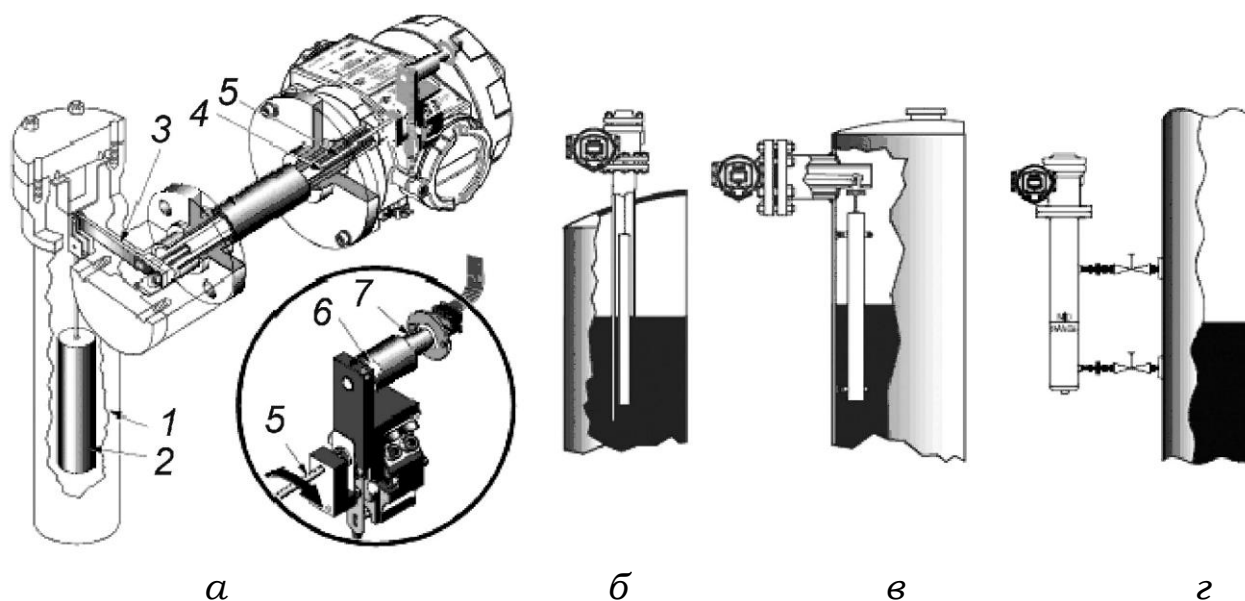


Рис. 9.2 – Буйковий датчик рівня ЦДУ-01:

- а – схема перетворювача (1 – буйкова камера; 2 – буйок; 3 – важіль; 4 – торсіонна трубка; 5 – передавальний вал; 6 – важіль з магнітами; 7 – датчик Холла);
 б – прилад з буйковою камерою; в – без буйкової камери;
 г – прилад з виносною камерою

Межі вимірювання рівня рідини 356-3048 мм. Межі допустимої основної приведені похибки $\pm 0,5\%$. Діапазон температур робочого середовища $-100...+450^{\circ}\text{C}$. Тиск середовища до 10 МПа. Густина середовища 0,1-1,4 г/см³. Напруга живлення 24-30 В постійного струму. Потужність до 5 ВА. Об'єм буйка 907 см³, маса буйка 1362 г.

Прилад працює в наступних режимах:

- датчик: вихідний сигнал 4-20 мА/HART або дискретний (безконтактне реле).
- датчик/регулятор: реалізує ПІД-закон регулювання рівня рідини в резервуарі відносно завдання, вихідний сигнал 4-20 мА.

Буйкові вимірювальні перетворювачі рівня САПФИР-22ДУ, САПФИР-22ДУ-Вн, САПФИР-22ДУ-Ех (ВАТ "Теплоприбор") призначено для вимірювання рівня рідини і меж поділу рідких фаз нейтральних і агресивних середовищ. Перетворювач

складається з вимірювального блоку і електронного перетворювача.

Конструкція вимірювального механізму схожа з датчиком ЦДУ-01 (рис. 9.2,а), проте замість датчика Холла застосовано тензорезистивний перетворювач. Навантаження, що діє на буйок, через важіль передається на тензоперетворювач, який розміщено у вимірювальному блоці. Електронний перетворювач перетворює зміну опору тензорезисторів у вихідний уніфікований струмовий сигнал. Верхня межа вимірювання 1600 мм. Межі допустимої основної приведенної похибки $\pm 0,5\%$. Діапазон температур рідини $-50...+120^{\circ}\text{C}$. Густина середовища 450-1000 кг/м³. Граничний робочий надлишковий тиск 2,5 МПа. Вихідний сигнал 0-5, 4-20 мА. Напруга живлення 24-36 В постійного струму. Споживана потужність не більше 1,2 ВА.

Буйкові рівнеміри BW25 (KHRONE) призначено для вимірювання рівня і меж поділу рідких фаз. Робочі середовища: вода, водні розчини, кислоти, луги, органічні і неорганічні розчинники.

Буйок підвішено на пружині. Довжина пружини пропорційна силі виштовхування, яка діє на буйок. Магнітна вимірювальна система перетворює зміну довжини пружини в аналоговий сигнал, який надходить на індикатор зі стрілкою і на вхід електронного модуля ESK2A, що формує уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА. Діапазон вимірювання рівня 0,3-6 м. Межі допустимої приведенної похибки $\pm 1,5\%$. Густина середовища 0,45-1,7 кг/л, температура – до 400°C , тиск – до 70 МПа.

9.3 В радарних рівнемірах використовують метод лінійно-частотної модуляції *FMCW*, *Frequency Modulated Continuous Wave* (безперервне частотно-модульоване випромінювання). При цьому генерується високочастотний сигнал з частотою, що лінійно зростає у часі. В момент випромінювання сигналу його частота дорівнює f_1 (рис. 9.3,а). Сигнал досягає поверхні середовища, відбивається від неї і з часовою затримкою t повертається до приймача. За цей час частота генератора зростає до f_2 (рис. 9.3,б).

За швидкістю зміни частоти генератора і за різницею частот сигналів ($\Delta f = f_2 - f_1$), які випромінено і відбито, визначають час затримки сигналу Δt . Відстань d від випромінювача до поверхні середовища в резервуарі визначають згідно з залежністю $\Delta t = 2d/c$, де c – швидкість світла в газовій фазі над поверхнею продукту в резервуарі (рис. 9.3,а).

Рівень середовища h в резервуарі розраховують як різницю між відстанню H від випромінювача до дна резервуару і відстанню d від випромінювача до поверхні середовища: $h = H - d$ (рис. 9.3,б).

Для усунення помилкових відображень радарного імпульсу, завад, що пов'язані з хвилюванням поверхні продукту і забрудненнями антени рівнеміра, застосовують математичні методи спектрального аналізу сигналів (перетворення Фур'є – FFT). Для цього визначають спектр відбитого сигналу і порівнюють його з фоновими спектрами відображень від стінок і днища порожнього резервуару, встановлених в резервуарі конструкцій, спокійної поверхні середовищ різного складу, якими може бути заповнено резервуар.

Діапазон вимірювання залежить від діелектричної сталої середовища, стану поверхні середовища і типу антени.

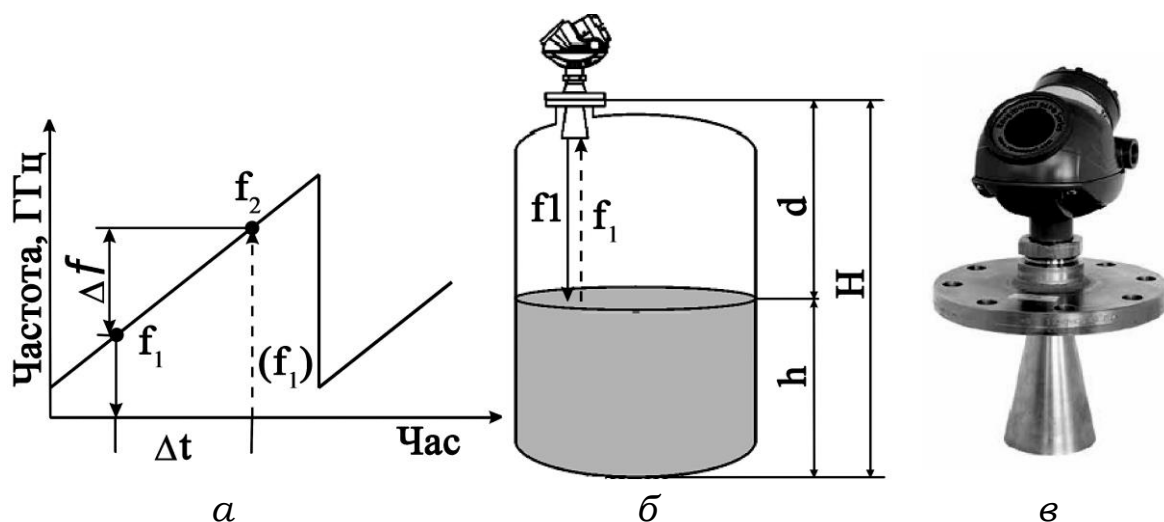


Рис. 9.3 – Радарні рівнеміри:
а – метод FMCW; б – схема визначення рівня;
в – радарний рівнемір Rosemount 5400

Приклади.

Радарний рівнемір *Rosemount 5600* (рис. 9.4,а) з робочою частотою 10 ГГц застосовують для вимірювання рівнів нафтопродуктів, лугів, кислот, розчинників, глини, паперової пульпи, гранульованих матеріалів від руди до пластикових гранул, дрібнодисперсних порошків, цементу. Діапазон вимірювання 0-50 м, вихідні сигнали: 4-20 мА/HART або Modbus.

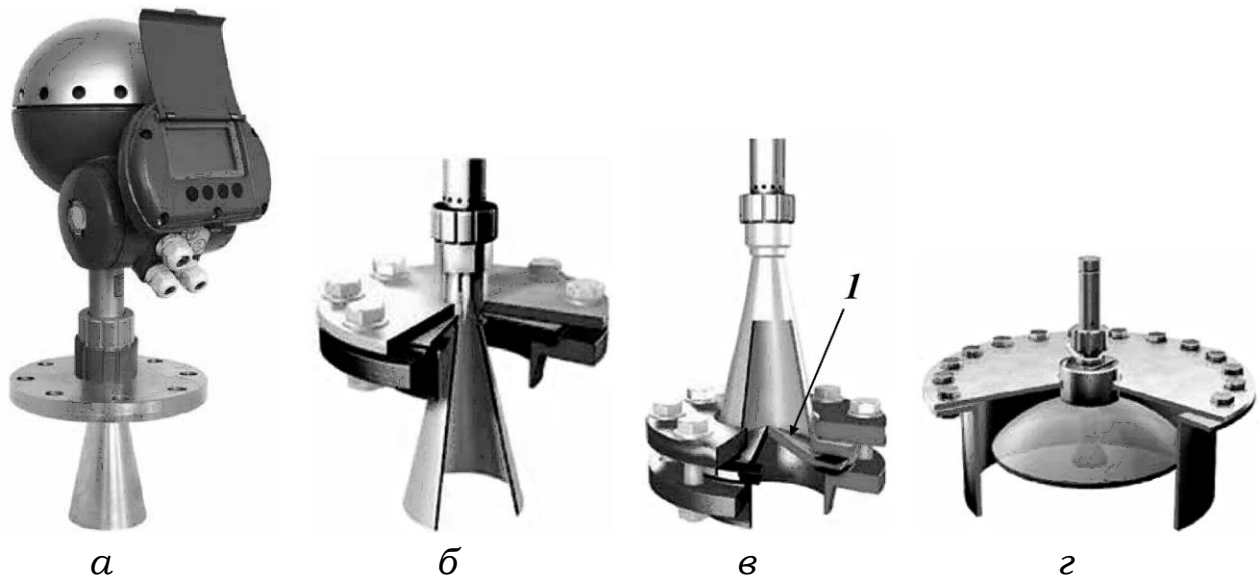


Рис. 9.4 – Радарний рівнемір Rosemount 5600 (а) і антени (б-г):
1 – ізолююча лінза

Конічна антена (рис. 9.4,б) використовується для монтажу на резервуарах з вільним поширенням сигналу (без конструкцій в резервуарі), монтажу в заспокійливих і байпасних пристроях.

Антену з ізолюючою тефлоновою або керамічною лінзою 1 (рис. 9.4,в) призначено для резервуарів, що містять агресивні середовища. Зовнішня частина антени виконана з корозійно- або кислотостійкого матеріалу.

Параболічну антену (рис. 9.4,г) призначено для вимірювання рівня рідин, сипких речовин. При роботі в бункерах з цементом антену захищають еластичним тефлоновим кожухом.

Радарний рівнемір *OPTIWAVE 5200 C/F (KHRONE)* призначено для вимірювання рівня, маси, об'єму і коефіцієнта відображення рідин, паст і суспензій в хімічній, харчовій,

металургійній, гірничорудній галузях промисловості. При вимірюванні рівня агресивних і в'язких продуктів використовують антени з пропілену або PTFE. Максимальний діапазон вимірювання до 20 м. Роздільна здатність 1 мм. Відносна похибка вимірювання при відстані до поверхні середовища менше 10 м становить $\pm 0,1\%$; при відстані більше 10 м $\pm 0,05\%$. Вихідний сигнал 4-20 мА/HART, напруга живлення 16-36 В постійного струму (DC).

9.4 В хвиеводних (рефлекс-радарних) рівнемірах реалізується *TDR (Time Domain Reflectometry*, рефлектومتрія з часовим розділенням) принцип вимірювання (рис. 9.5).

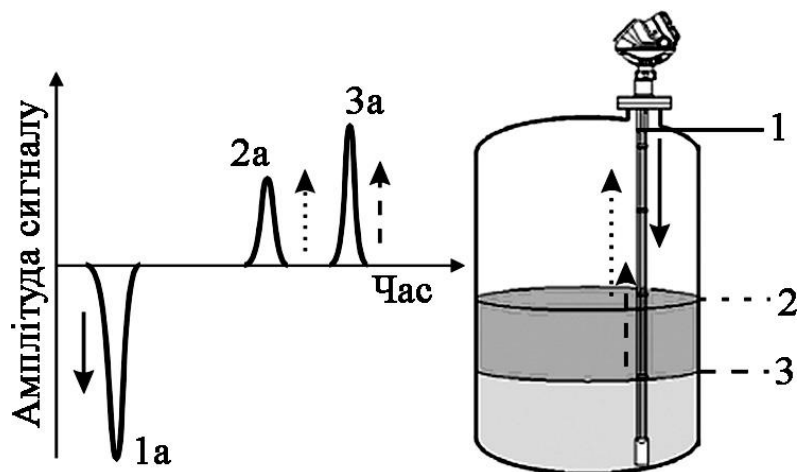


Рис. 9.5 – TDR-принцип вимірювання рівня:

- 1 – випромінювач; 1a – опорний імпульс; 2 – поверхня середовища;
- 2a – відображення від поверхні середовища; 3 – межа поділу середовищ;
- 3a – відображення від межі поділу середовищ

Мікрохвильові радарні імпульси малої потужності *1a*, тривалість яких становить наносекунди, спрямовують за зондом, що занурений в технологічне середовище. Імпульс при досягненні середовища 2 з іншим коефіцієнтом діелектричної проникності відбивається у зворотному напрямі з втратою частини енергії. Різниця у часі між моментом випромінювання радарного імпульсу і моментом прийому ехо-сигналу пропорційна відстані від випромінювача до поверхні середовища. Інтенсивність відбитого ехо-сигналу (*2a*, *3a*) зростає із збільшенням діелектричної проникності середовища, що

дозволяє визначати межі розділу середовищ 3. Наприклад, інтенсивність сигналу, який відбито від поверхні води, досягає 80% від початкового рівня.

Мікрохвильові імпульси поширюються за зондом, що дозволяє використовувати хвильоводні рівнеміри в малих і вузьких резервуарах, в резервуарах з внутрішніми конструкціями.

Приклади.

Хвильоводні радарні рівнеміри *Rosemount 5300* призначено для вимірювання рівня середовищ і рівня межі поділу середовищ в системах АСКТП. Контрольовані середовища: рідкі (нафта, нафтопродукти, вода, зріджені гази, кислоти), сипкі (гранули пластика, зольний пил, цемент, пісок, цукор, злаки). Діапазон вимірювання 0,1-50 м. Вихідні сигнали 4-20 мА/HART, Foundation Fieldbus і Modbus. Рівнеміри складаються із зонду і блоку електроніки. Модель *Rosemount 5301* застосовують для вимірювання рівня рідин або рівня межі поділу двох середовищ; *Rosemount 5302* – для одночасного вимірювання рівня рідин і рівня межі поділу двох середовищ; *Rosemount 5303* для вимірювання рівня твердих сипких середовищ з розміром часток до 20 мм. Зовнішній вигляд зондів наведено на рис. 9.6.

Коаксіальний зонд (рис. 9.6,а) застосовують для вимірювання рівня рідин (до 6 м) і межі рівня поділу середовищ з низькою діелектричною проникністю (розчинники, спирти, водні розчини, зріджені гази) в умовах турбулентності, у присутності піни і потоків пари поблизу зонду. Не рекомендується для середовищ, що схильні до кристалізації або налипання, а також для порошків.

Подвійний жорсткий (рис. 9.6,в; до 3 м) або *подвійний гнучкий* (рис. 9.6,д; до 50 м) зонди застосовують для вимірювання рівня і рівня поділу в'язких рідин. Не застосовують для липких продуктів через утворення перемичок між стержнями або дротами зонду.

Одинарний жорсткий (рис. 9.6,б; до 4,5 м) або *одинарний гнучкий* (рис. 9.6,г; до 50 м) зонди не чутливі до налипання середовища і утворення наростів. Застосовують для вимірювання рівня в'язких рідин (сироп, мед), суспензій, для

вимірювання рівня твердих часток, гранул, порошків (зерно, пісок, сажа).

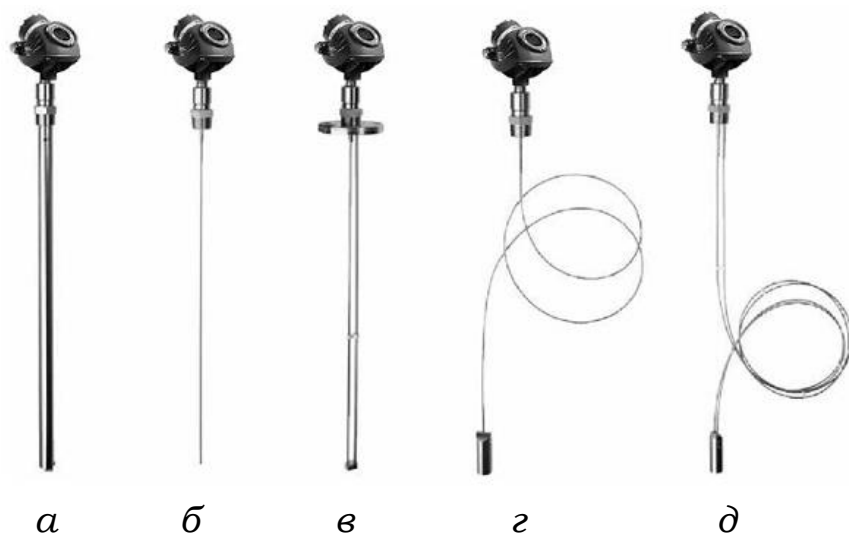


Рис. 9.6 – Типи зондів рівнемірів Rosemount 5300:

а – коаксіальний; б – одинарний жорсткий; в – подвійний жорсткий;
г – одинарний гнучкий; д – подвійний гнучкий

При вимірюванні рівня агресивних середовищ застосовують зонди із сплавів Hastelloy (Cu, Ni, Mo), Monel (Cu, Ni), з покриттям із PTFE (фторопласт).

Рефлекс-радарний двопровідний рівнемір *Optiflex 1100C (KHRONE)* загальнопромислового застосування, максимальна довжина зонду 20 м. Температура контролюваного середовища $-50...+100^{\circ}\text{C}$, тиск середовища 0,1-1,6 МПа. Вихідний сигнал 4-20 мА/HART.

9.5 В акустичних засобах вимірювання рівня
ультразвукові імпульси 1 випромінюються рівнеміром, поширюються в напрямку рідини, відбиваються від її поверхні 2 і повертаються до приймача випромінювання з часовою затримкою Δt (рис. 9.7,а). За часом затримки надходження ехо-сигналу розраховують відстань d від випромінювача до поверхні середовища в резервуарі згідно з залежністю: $\Delta t = 2d/c$, де c – швидкість звуку в газовій фазі над поверхнею продукту в резервуарі.

Рівень середовища в резервуарі h розраховують як різницю між відстанню H від випромінювача до дна резервуару і

відстанню d від випромінювача до поверхні середовища:
 $h = H - d$ (рис. 9.7,б).

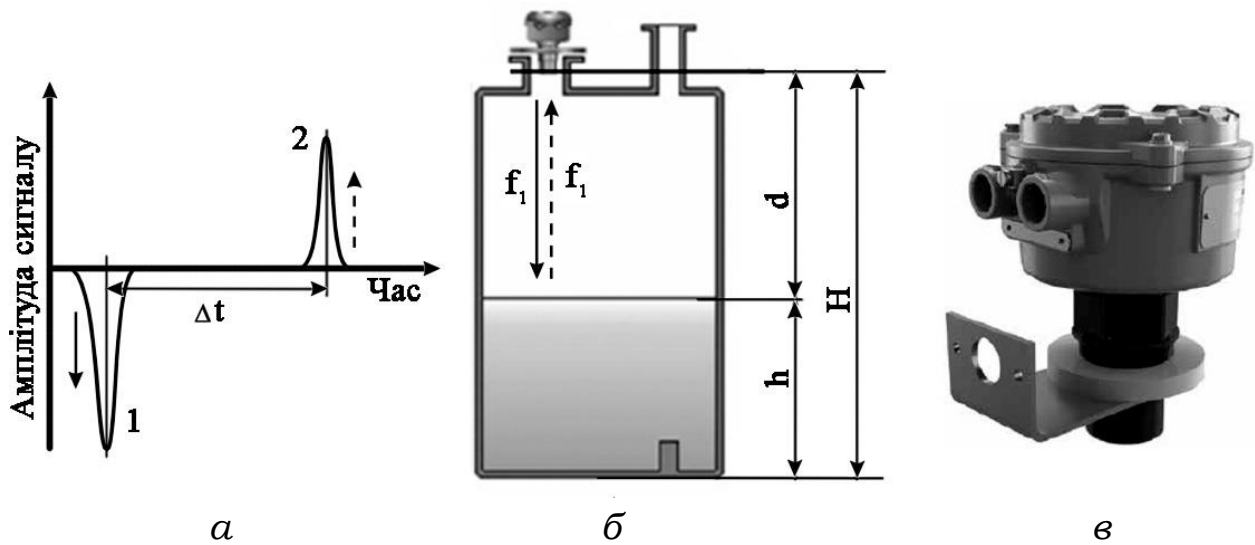


Рис. 9.7 – Ультразвукові рівнеміри:

а – схема визначення часу проходження сигналу

(1 – опорний імпульс; 2 – відображення від межі поділу середовищ);

б – схема визначення рівня; в – ультразвуковий рівнемір Rosemount 3100

Приклади.

Рівнемір *Rosemount 3100* (рис. 9.7,в) призначено для вимірювання рівня рідких середовищ: нафти, нафтопродуктів, води, кислот, лугів, розчинників, алкогольних напоїв. Діапазон вимірювання 0,3-11 м. Зона нечутливості рівнеміра 0,31 м. Вихідні сигнали: 4-20 мА (модель 3101); 4-20 мА/HART (моделі 3102 і 3105). Моделі 3102 і 3105 дозволяють розраховувати об'єм і витрату у відкритих каналах. Модель 3105 виготовляється у вибухозахищеному виконанні. Вбудований датчик температури дозволяє вводити поправки в розрахунки швидкості звуку в повітрі, для компенсації впливу температури на результати вимірювання. Рівень рідини розраховується як різниця опорної висоти і відстані до поверхні середовища.

Моделі 3102 і 3105 виконують розрахунок об'єму рідини за бібліотеками стандартних конфігурацій ємностей, що записано в пам'ять мікропроцесора. Рівнеміри *Rosemount 3100* виконують процедуру самонавчання шляхом сканування порожньої ємності і автоматичного запам'ятовування параметрів до 4-х об'єктів,

що є джерелами помилкових ехо-сигналів. Можливе ручне налаштування рівнеміра на ігнорування цих сигналів.

Рівнемір акустичний ЭХО-5Н (Старорусприбор) призначено для вимірювання рівня рідких середовищ, сипких і кускових матеріалів. З перетворювачами АП-31 (для суспензій, в'язких, неоднорідних, пінистих середовищ, а також середовищ, що перемішуються) і АП-91 (для агресивних і високоагресивних середовищ) діапазон вимірювання складає 0-10 м; з перетворювачем АП-41 – 0-30 м. Тиск робочого середовища до 4 МПа. Виконується температурна компенсація результатів вимірювання рівня. Уніфікований вихідний сигнал 0-5, 4-20 мА; RS-485.

9.6 В гідростатичних засобах рівень визначається за результатами вимірювання гідростатичного тиску P , що створюється стовпом рідини h з постійною густиною ρ : $P = \rho \cdot g \cdot h$.

В резервуарах, які *працюють під атмосферним тиском*, вимірювання виконують манометром надлишкового тиску, який підключено на висоті нижнього граничного рівня (рис. 9.8,а).

Для вимірювання рівня рідини в технологічних *апаратах, що знаходяться під тиском*, застосовують диференціальний манометр, який підключено до резервуару на висоті нижнього граничного рівня і до газового простору над рідиною (рис. 9.8,в).

Приклади.

Високоточні датчики гідростатичного тиску (рівня) *Rosemount 3051L* (рис. 9.8,б) призначено для вимірювання рівня рідин, у тому числі агресивних. Діапазон вимірювання тиску 0,41-62 кПа, 13,79-2068 кПа, основна приведена похибка $\pm 0,075\%$. Вихідні сигнали: 4-20 мА/HART; Foundation Fieldbus; Profibus; бездротовий WirelessHART.

Високоточні інтелектуальні датчики гідростатичного тиску (рівня) *Rosemount 3051S ERS* (рис. 9.8,в) призначено для вимірювання рівня рідин, у тому числі агресивних, в закритих і відкритих резервуарах. Діапазони вимірювання 0-0,025 кПа, 0-68,9 МПа. Діапазон температур вимірюваного середовища від -75°C до 205°C ; для *Rosemount 1199* з виносними розділовими мембранами – від -75°C до 370°C . Вихідні сигнали:

4-20 мА/HART, Foundation Fieldbus. Основна приведена похибка $\pm 0,025\%$.

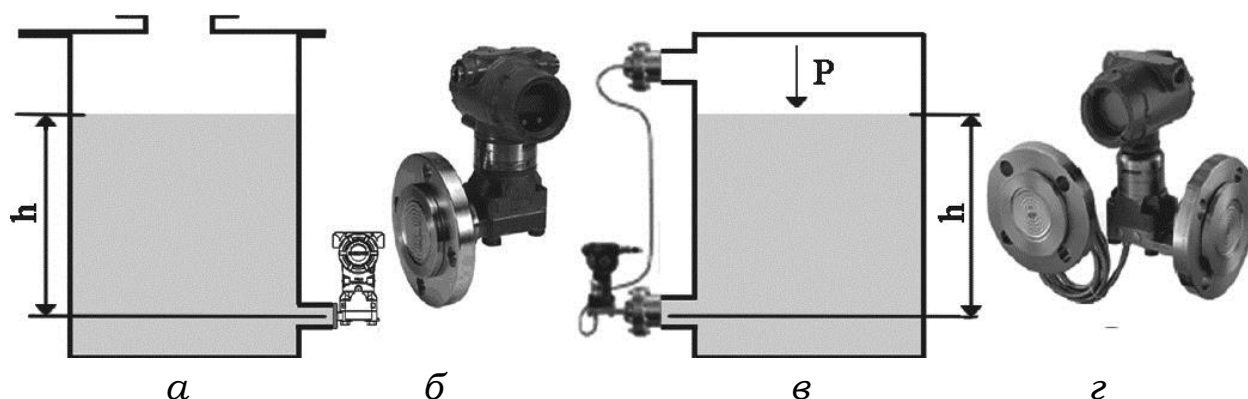


Рис. 9.8 – Схема гідростатичного методу вимірювання рівня:

- а – в резервуарі, що працює при атмосферному тиску;
- б – датчик гідростатичного тиску (рівня) Rosemount 3051L;
- в – в резервуарі, що знаходиться під надлишковим тиском;
- г – датчик гідростатичного тиску (рівня) Rosemount 3051S

9.7 В ємнісних рівнемірах використано залежність електричної ємності конденсатора від рівня рідини. Для неелектропровідних рідин з питомою електропровідністю, що менша від 10^{-6} См/м, застосовують датчики з неізольованими електродами. Конденсатор датчика утворюють два електроди (рис. 9.9,в), другим електродом може бути корпус резервуару (рис. 9.9,а).

Для електропровідних рідин з питомою провідністю, що більша за 10^{-4} См/м, електроди (рис. 9.9,в) або один з електродів конденсатора (рис. 9.9,б) покривають ізолюючим матеріалом.

Приклади.

Рівнеміри ємнісні VEGACAL (VEGA Grieshaber KG Німеччина) застосовують для вимірювання рівня сипких продуктів і рідин. Датчик і резервуар утворюють два електроди конденсатора. Зміна рівня продукту призводить до зміни ємності конденсатора, який підключено до перетворювача, що формує уніфікований вихідний сигнал. Зонди мають тросове або стержневе виконання. Вихідний сигнал: 4-20 мА/HART, Profibus PA, Foundation Fieldbus.

Рівнемір *VEGACAL 65* з частково ізольованим тросовим зондом (рис. 9.9,а) призначено для вимірювання рівня (до 32 м) сипких продуктів і непровідних рідин.

Рівнемір *VEGACAL 63* з ізольованим стержневим зондом (рис. 9.9,б) призначено для вимірювання рівня (до 6 м) електропровідних рідин. Ізоляційний матеріал *PE, PTFE*.

Рівнемір *VEGACAL 69* з подвійним стержневим ізольованим зондом (рис. 9.9,в) призначено для вимірювання рівня (до 4 м) корозійних рідин. Температура середовища $-50...+100^{\circ}\text{C}$, тиск середовища $-100...+200$ кПа. Ізоляційний матеріал *PTFE, PP, FEP*.

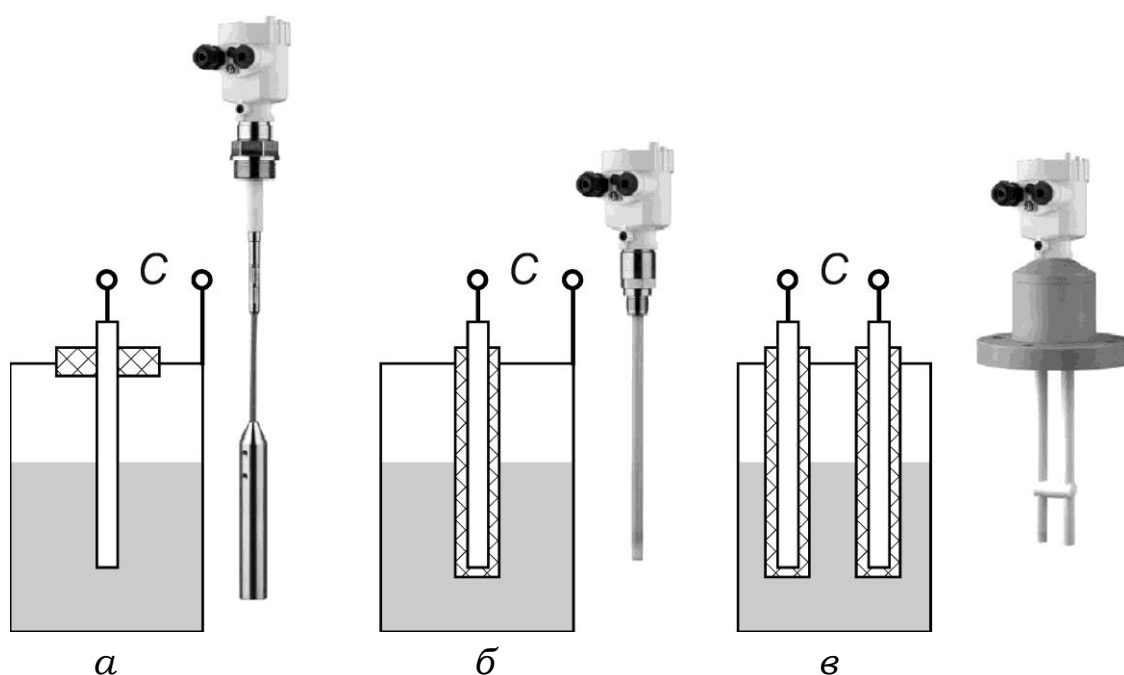


Рис. 9.9 – Ємнісні рівнеміри
 а – Vegacal 65 для непровідних рідин;
 б – Vegacal 63 для електропровідних рідин;
 в – Vegacal 69 для агресивних рідин

Ємнісні датчики рівня *ДУЕ-1 (Старорусприбор)* призначено для вимірювання, сигналізації рівня електропровідних і неелектропровідних однорідних рідин, у тому числі агресивних і вибухонебезпечних, що зберігають свої агрегатні стани в інтервалі робочих температур і тисків. Застосовуються в системах контролю, регулювання і управління виробничими процесами в хімічній, нафтопереробній, електротехнічній, нафтовій і інших галузях промисловості.

До складу датчиків входять первинний перетворювач (ПП) і перетворювач вимірювальний (ПВ), які сполучені між собою кабелем завдовжки до 1000 метрів. Виконання: ДУЕ-1 – звичайне, ДУЕ-1В – вибухозахищене. Тип первинного перетворювача обирається в залежності від властивостей середовища. Верхня межа вимірювання рівня гасу, бензину, масла (ПП111-КНД), води, спирту, ацетону (ПП111-ПСФ) 0,4-4,0 м. Верхня межа вимірювання рівня води, спирту, ацетону (ПП111-ВТФ), розчинів солей, кислот, лугів (ПП111-ПОФ) 1,6-25,0 м. Вихідний сигнал: 4-20 мА, RS-485. Напруга живлення 220 В, 50 Гц.

9.8 Лазерні датчики рівня 1D 3D використовують в харчовій промисловості. Лазерний 1D датчик O1D300/O1DLF3KG – безконтактний датчик рівня непрозорих рідин і сипких речовин. Межі вимірювання 0,2-10 м. Вимірювання в діапазоні до 2000 мм характеризується максимальною абсолютною похибкою 25 мм. Джерело випромінювання – червоний лазер (клас 2) із діаметром світлової плями 6 мм. Вихідний сигнал 4-20 мА аналоговий або дискретний. Рівень відображується на вбудованому дисплеї в дюймах або міліметрах. Напруга живлення 18-30 В постійного струму.

Лазерний 3D датчик *efector pmd3d O3D-200* розраховує рівень середовища з будь-якою формою профілю поверхні відносно заднього фону в зоні пошуку. Режимми роботи:

- вимірювання рівня сипких матеріалів з нерівною поверхнею (гранульовані продукти, зерно, овочі);
- вимірювання рівня матеріалу з нерівною поверхнею довільного кольору (свіжозаморожені овочі);
- контроль заповнення конвеєрної стрічки;
- виявлення повного спорожнення або переповнювання резервуарів.

Характеристики датчика: апертурний кут (горизонталь х вертикаль) 30х40 градусів; частота дискретизації 20 Гц; температура середовища -10...+50°C.

9.9 Електромеханічні рівнеміри. Систему з мірною стрічкою, що не заплутується, серія DBOB (*Proximity*) призначено для вимірювання рівня сипких матеріалів в силосних вежах, резервуарах, бункерах (рис. 9.10,а). Електродвигун переміщує вантаж, який підвішений на стрічці з нержавіючої сталі, до рівня середовища. При дотику вантажу з матеріалом виконується реверсування обертання двигуна, вантаж переміщується у верхнє початкове положення. Конструкція вантажу (рис. 9.10,б-г) визначається видом матеріалу, рівень якого контролюється.

Відстань d , на яку перемістився вантаж, визначають за числом обертів барабана. Рівень h розраховують як різницю відстаней H (між місцем кріплення системи і дном бункера) і d :

$$h = H - d.$$

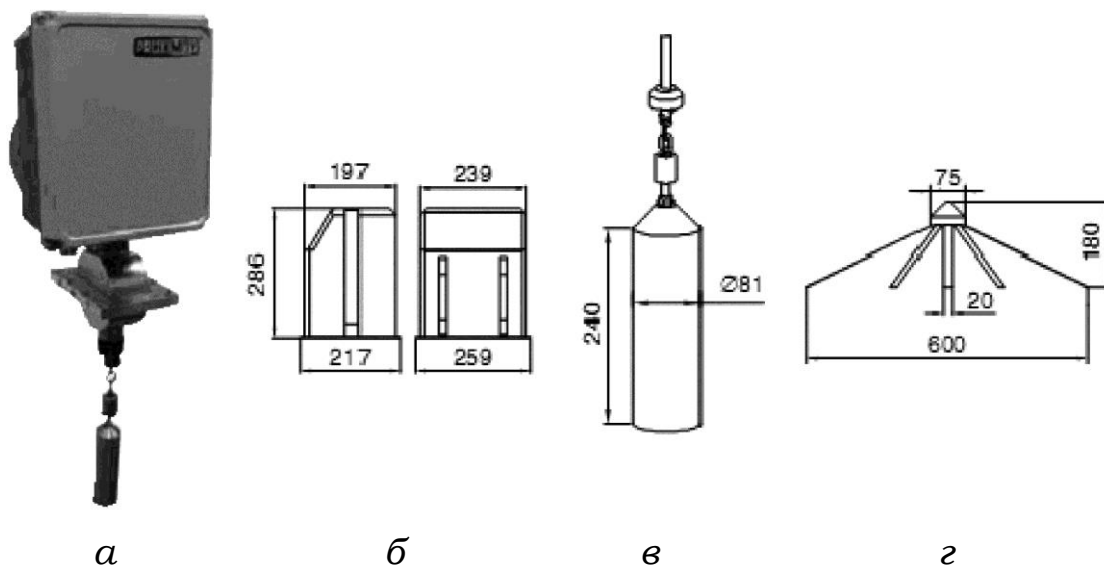


Рис. 9.10 – Рівнемір з мірною стрічкою, серія DBOB (а) і вантажі (б – г):
 б – вантаж DBOB-PC; в – DBOB-W1; г – DBOB-W5

Діапазон вимірювання до 30 м. Відносна похибка вимірювання 1%. Діапазон робочих температур $-40...+80^{\circ}\text{C}$. Відносна вологість: 0-100%. Діапазон зміни тиску $\pm 0,2$ бар. Вихідний сигнал 4-20 мА. Споживана потужність складає 150 ВА (для моделей на змінному струмі).

9.10 Сигналізатори і реле рівня – прилади періодичної дії, спрацьовують у випадку досягнення середовищем заданого рівня.

Приклади.

Роботу сигналізатора рівня ультразвукового *Rosemount 2100* (рис. 9.11,а) засновано на принципі дії камертона.

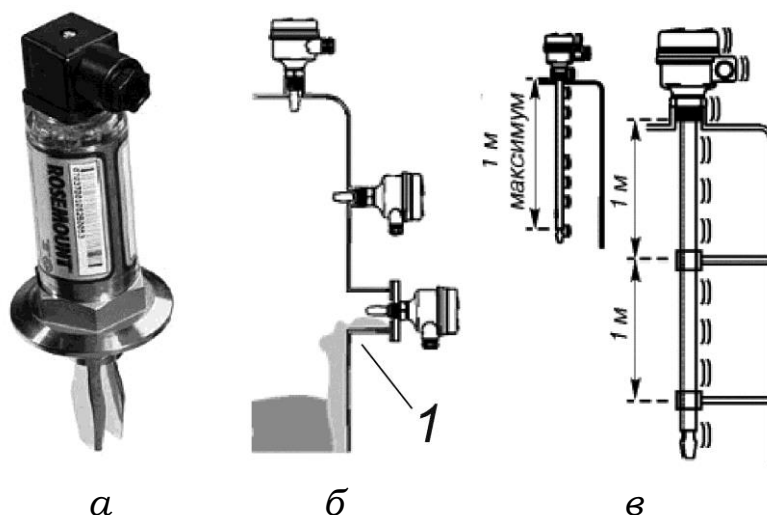


Рис. 9.11 – Сигналізатор рівня ультразвуковий:

а – Rosemount 2100; б – встановлення сигналізатора на стінці резервуару (1 – за наявності налипання); в – кріплення сигналізатора за наявності сильних навантажень, що згинають

П'єзоелектричний кристал збуджує механічні коливання вилки з власною частотою 1300 Гц, що дозволяє уникнути помилкових спрацьовувань під дією завад і вібрацій устаткування. Якщо пристрій працює в якості сигналізатора нижнього граничного рівня, то зміна власної частоти вилки відбувається, коли рідина в резервуарі опускається нижче за її рівень. Якщо пристрій використовується як сигналізатор верхнього граничного рівня, то зміна власної частоти вилки відбувається, коли рідина в резервуарі піднімається вище за її рівень. В обох випадках змінюється рівень вихідного сигналу. Максимальна довжина корпусу сигналізатора 4 м, мінімальна 94 мм. Варіанти встановлення сигналізатора наведено на рис. 9.11б,в. Середовища: рідини з густиною $\geq 500 \text{ кг/м}^3$,

в'язкістю 0,2-10000 сП; температура середовища $-70...+260^{\circ}\text{C}$, тиск 0,1-10 МПа.

Поплавкові реле рівня *Mobrey* містять два постійні магніти. Один встановлено на поплавку, другий знаходиться усередині перемикача або пневматичного клапана. Магніти повернуті один до одного однойменними полюсами і, при взаємодії через немагнітну перегородку, взаємно відштовхуються. Наближення поплавка до заданого рівня викликає переміщення магніту перемикача і спрацювання реле. Варіанти установки реле рівня *Mobrey* наведено на рис. 9.12. Середовища: рідини з густиною $\geq 400 \text{ кг/м}^3$; температура середовища $-100...+400^{\circ}\text{C}$, тиск 0,1-20 МПа. Прилади виконуються як у звичайному, так і у вибухозахищеному виконанні.

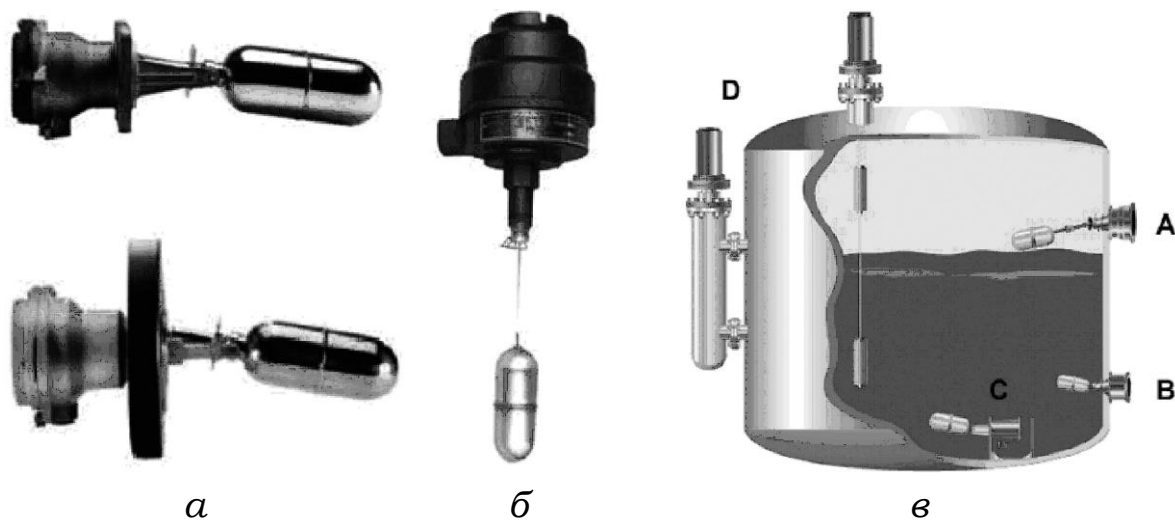


Рис. 9.12 – Поплавкові реле рівня *Mobrey*:

а, б – варіанти конструктивного виконання; в – варіанти встановлення реле рівня (А – горизонтальне поплавкове реле; В – горизонтальне компактне; С – горизонтальне, що занурюється; D – вертикальне)

9.11 Приклади контурів контролю і регулювання рівня наведено на рис. 9.13.

Контур 3 обмежує максимальний рівень рідини в резервуарі. Сигнал від поплавкового реле *Mobrey* (поз. 3а) надходить на вхід контролера. Контролер виконує сигналізацію граничного рівня в резервуарі (L_{max}) і виробляє електричний сигнал для фіксованого зменшення надходження середовища в резервуар. Положення регулюючого органу змінює виконавчий

механізм (поз. 3г) – електричний однооборотний МЭО 6,3-99. Управління виконавчим механізмом здійснюється пускачем безконтактним реверсивним ПБР-3А (поз. 3в). Для ручного управління виконавчим механізмом призначено блок ручного дистанційного керування БРУ-22 (поз. 3б).

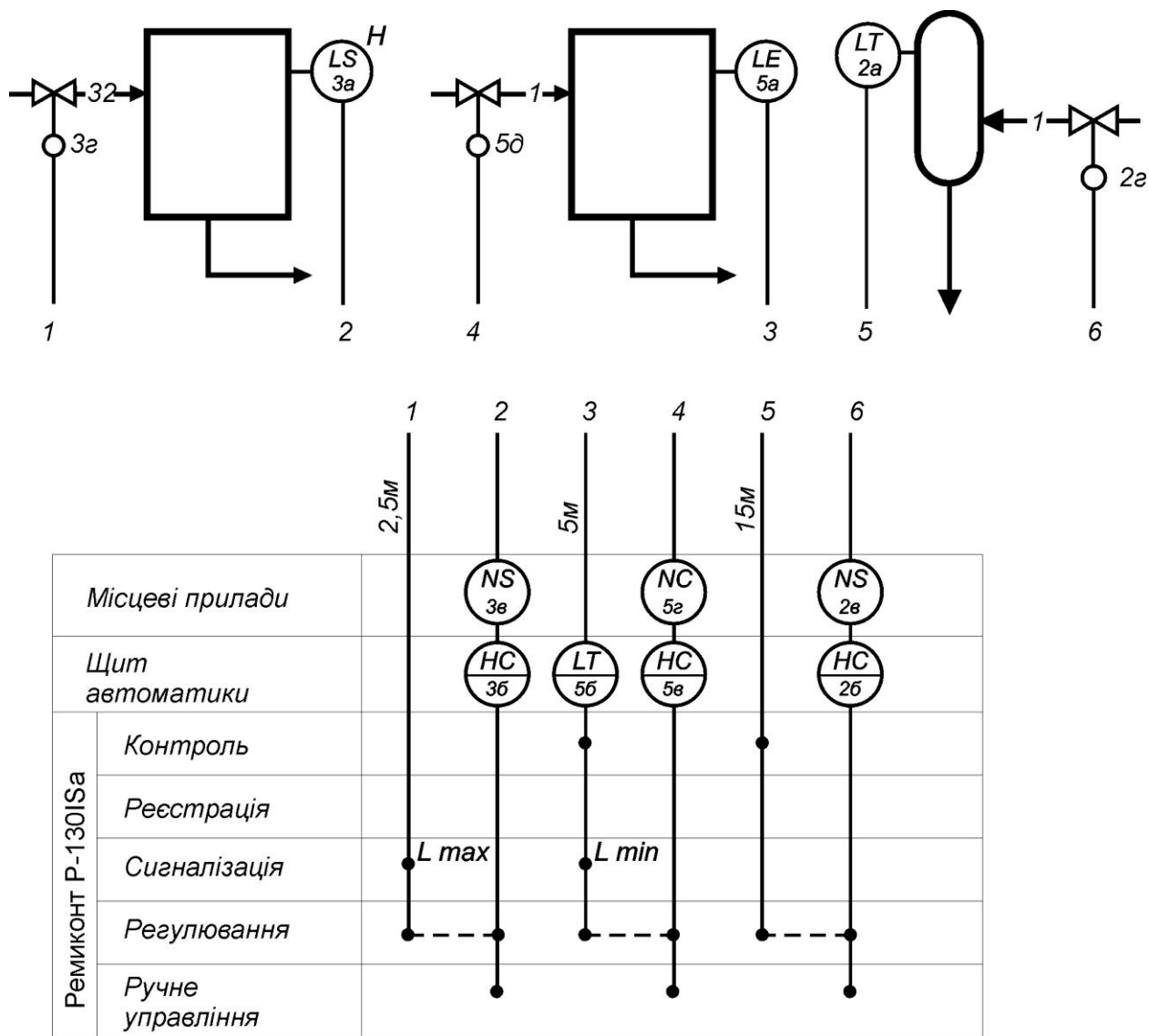


Рис. 9.13 – Контури контролю і регулювання рівня

Контур 5 здійснює регулювання рівня води в резервуарі. Сигнал первинного перетворювача ДУУ2М-10 поплавкового рівнеміра ДУУ4МА (поз. 5а) через блок сполучення з датчиком БСД-4 (поз. 5б) надходить в контролер Ремиконт Р-130ISa. Контролер виконує сигналізацію граничного рівня в резервуарі (L_{min}) і виробляє електричний сигнал керування. Положення регулюючого органу змінює виконавчий механізм електричний

однооборотний МЭО 6,3-99 (поз. 5д) з управлінням через пускач безконтактний реверсивний ПБР-3А (поз. 5г). Для ручного управління виконавчим механізмом призначено блок ручного дистанційного керування БРУ-42 (поз. 5в).

У контурі 2 для регулювання рівня води в резервуарі застосовано хвилеводний радарний рівнемір *Rosemount 5300* (поз. 2а), уніфікований сигнал якого надходить на вхід контролера. Контролер *Ремиконт Р-130ISa* виробляє електричний сигнал. Положення регулюючого органу змінює виконавчий механізм (поз. 2г) електричний однооборотний МЭО 6,3-99 з управлінням через пускач безконтактний реверсивний ПБР-3А (поз. 2в). Для ручного управління виконавчим механізмом призначено блок ручного дистанційного керування БРУ-42 (поз. 2б).

10 КОНТРОЛЬ І РЕГУЛЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

Класифікація датчиків вимірювання переміщень:

- потенціометричні;
- індуктивні;
- магніто-індуктивні;
- вихрострумові;
- магнітострикційні;
- ультразвукові;
- ємнісні;
- оптичні;
- магніторезистивні;
- датчики на основі ефекту Холла.

10.1 Потенціометричний датчик переміщення (рис. 10.1,а) містить змінний опір R . Лінійне переміщення об'єкту призводить до зміни величини опору резистора. При живленні датчика постійним струмом падіння напруги U_x пропорційно величині опору R_x і величині лінійного переміщення об'єкту d .

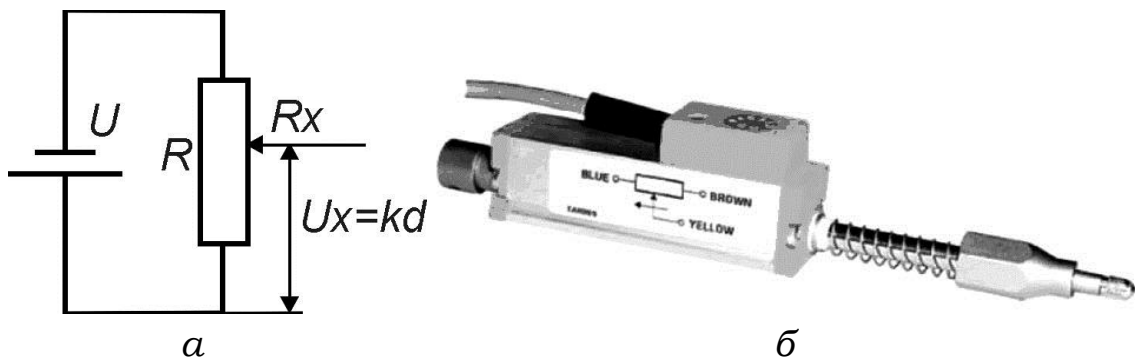


Рис. 10.1 – Потенціометричний датчик переміщення:

а – електрична схема;

б – загальний вигляд датчика переміщення Bruster, модель 8713

Приклади. Потенціометричний датчик лінійних переміщень серії ЛТР (виробник ЗАТ Сенсор, Системс) з діапазоном вимірювання: 0-10 мм (модель ЛТР-10), 0-150 мм (модель ЛТР-150). Технічні характеристики: межі допустимої основної приведенної похибки вимірювання від 0,8% до 1,2%,

уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА, напруга живлення 42 В постійного струму.

На рис. 10.1,б представлено потенціометричний датчик переміщення з поворотною пружиною, модель 8713 фірми *Bruster*. Технічні характеристики: діапазон вимірювання 0-150 мм, похибка $\pm 0,01$ мм, максимальна робоча напруга від 14 В (для діапазону вимірювання 10 мм) до 50 В (для діапазону вимірювання 50-150 мм).

Датчик лінійного і кутового переміщення *ИК-1-ТК-3* (виробник *Турбоконтроль*). Технічні характеристики: основна приведена похибка $\pm 2\%$, уніфікований вихідний сигнал 0-5, 0-20, 4-20 мА, інтерфейс RS-485, протокол Modbus (RTU), напруга живлення 24 ± 4 В постійного струму.

10.2 Індуктивний датчик переміщення складається з вимірювального трансформатора з рухливим осердям (рис. 10.2,а). Зміщення об'єкту викликає переміщення осердя 1 і зміну потокозчеплення між первинною 2 і вторинною 3 обмотками. Амплітуда сигналу у вторинній обмотці залежить від положення осердя і об'єкту вимірювання.

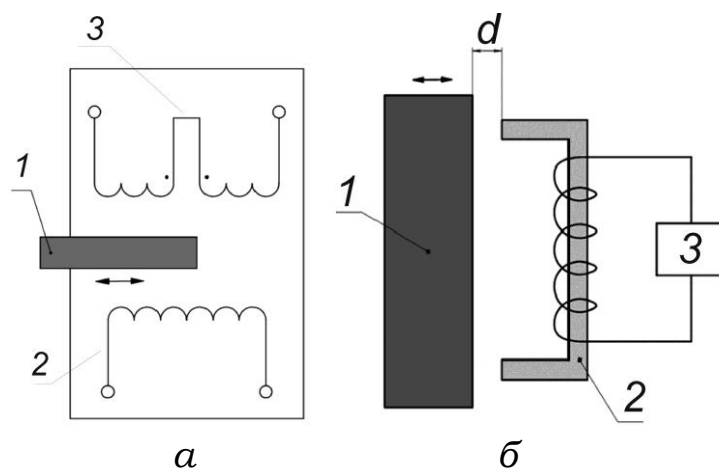


Рис. 10.2 – Індуктивні датчики переміщення:

- а – з диференціальним трансформатором (1 – осердя;
2 – обмотка живлення; 3 – диференціальна обмотка);
- б – з феромагнітним об'єктом вимірювання (1 – об'єкт; 2 – осердя;
3 – котушка; d – відстань від осердя до об'єкту)

У датчиках вимірювання вібрацій або малих переміщень (рис. 10.2,б) феромагнітний об'єкт є магнітопроводом, зміна

відстані d між об'єктом 1 і осердям 2 впливає на індуктивність котушки 3.

Приклади. Індуктивні датчики переміщень *MTS LVDT* фірми *MTS Systems Corporation* призначено для вимірювання лінійних переміщень штока гідравлічного циліндра. Складаються з первинної, двох вторинних обмоток диференціального трансформатора, що включені назустріч одна одній, і рухливого осердя. При середньому положенні осердя сигнал на виході дорівнює нулю. Зміщення осердя відносно центру викликає появу сигналу на виході. Величина сигналу пропорційна переміщенню осердя. Напрямок переміщення визначається кутом зсуву фаз вихідного сигналу відносно напруги живлення. Датчик встановлюють в корпус гідроциліндру. Діапазон вимірювання *MTS LVDT 201-25* складає $\pm 12,5$ мм, датчика *MTS LVDT 201-500* ± 250 мм, межі допустимої похибки $\pm 1\%$. Вихідний сигнал – уніфікований струмовий.

10.3 Принцип дії магніто-індуктивного датчика переміщення (рис. 10.3,а) засновано на залежності магнітної проникності ферромагнетика від зовнішнього магнітного поля.

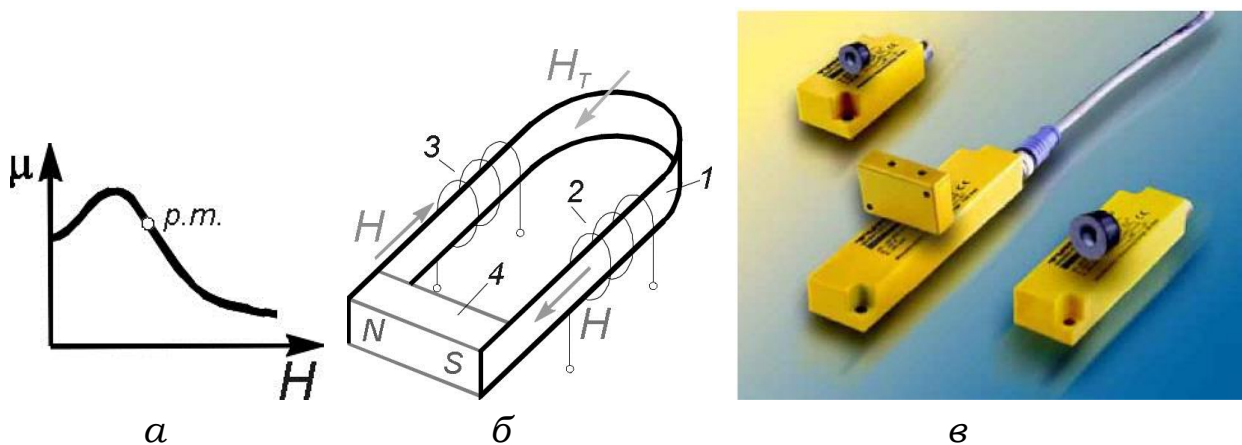


Рис. 10.3 – Магніто-індуктивний датчик переміщень:

а – залежність магнітної проникності μ матеріалу осердя від напруженості зовнішнього магнітного поля H (р. т. – робоча точка);

б – схема датчика (1 – магнітопровід; 2, 3 – котушки, 4 – постійний магніт);

в – зовнішній вигляд датчиків серії WIM Sensorlink

Датчик (рис. 10.3,б) складається з пари котушок 2, 3 із осердям 1 і постійного магніту 4. Одна котушка включена у

вимірювальне плече первинного перетворювача, інша – в опорне.

Постійний магніт здійснює підмагнічування магнітопроводу, проте не до насичення. Робочу точку і діапазон магнітних полів, які вимірюються, обирають так, щоб зміни магнітної проникності відбувалися на ділянці залежності $\mu(H)$, що близька до лінійної (рис. 10.3,а).

Зовнішнє поле H_T створює постійний магніт, який встановлено на об'єкті вимірювання. Напруженість поля і вихідний сигнал перетворювача залежать від відстані між датчиком і об'єктом вимірювання. Дія поля H_T змінює магнітну проникність матеріалу осердя і призводить до змін індуктивностей котушок (зміни індуктивностей в котушках мають протилежні знаки).

Приклади. Магніто-індуктивний датчик лінійних переміщень *WIM* фірми *Sensorlink* (рис. 10.3,в) має уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА або 0-10 В, який пропорційний відстані від об'єкту до датчика положення. Датчик нечутливий до поворотів магніту і малих бічних зміщень. Має похибку не більше 0,5%. Діапазони вимірюваних переміщень: 30, 70 і 110 мм. Датчики застосовують в машинобудуванні, в роботизованих системах, вантажопідйомних машинах і механізмах.

10.4 Вихрострумові датчики переміщення (рис. 10.4,а) містять генератор магнітного поля і реєстратор величини індукції вторинних магнітних полів. Генератор датчика 1 створює магнітне поле 3, яке пронизує матеріал об'єкту 2 і породжує в його об'ємі вихрові струми Фуко 4. Струми Фуко створюють вторинне магнітне поле 5. Чим об'єкт ближче до датчика, тим більший магнітний потік пронизує його об'єм, тим більші вихрові струми і індукція вторинного магнітного поля.

Приклади. Вихрострумові аналогові датчики переміщень *TURCK* фірми *Sensorlink*, *серія Q* (рис. 10.4,б) мають діапазон вимірювання до 20 мм. Вихідний сигнал датчика *TURCK* лінійно залежить від відстані до об'єкту. Похибка не більше 1%. Вихідні сигнали: 0-10 В, 2-10 В, 0-20 мА, 4-20 мА, частотний вихід

1-10 кГц. Живлення датчика *TURCK* проводиться постійною напругою 15-30 В.

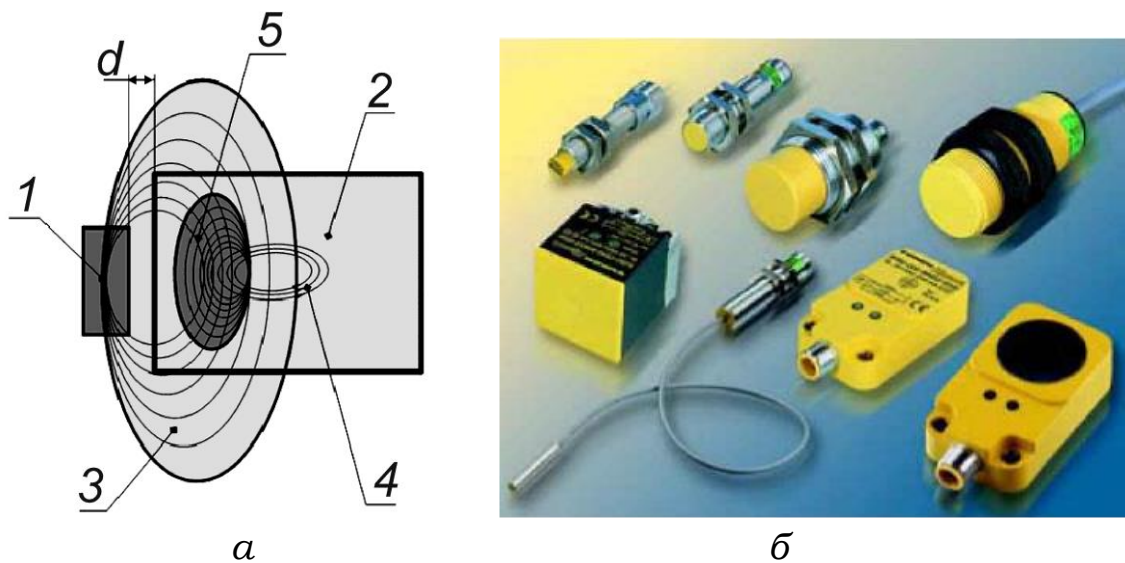


Рис. 10.4 – Вихроструміві датчики:

- а – схема роботи датчика (1 – датчик; 2 – об'єкт; 3 – магнітне поле датчика (початкове); 4 – вихрові струми; 5 – магнітне поле вторинне;
 d – відстань від датчика до поверхні об'єкту);
 б – датчики TURCK Sensorlink

Датчики *TURCK* застосовують в системах регулювання натягу дроту в процесі волочіння. Датчик контролює положення ролика, що контактує з дротом. Положення ролика залежить від величини натягнення. Інша сфера застосування – система контролю розміру рулону, в якій датчик визначає положення важеля, що контактує з поверхнею рулону.

10.5 Магнітострикційні датчики переміщень використовують два фізичні ефекти:

- *ефект Відемана* – виникнення деформації кручення у феромагнітному стержні, в якому тече електричний струм, при переміщенні стержня в поздовжньому магнітному полі.
- магнітопружний *ефект Віллари* – зміна намагніченості магнетика під дією механічних деформацій.

До складу магнітострикційного датчика переміщень, який наведено на рис. 10.5, входять:

- елемент вимірювання;
- позиційний магніт;

- демпфер;
- перетворювач торсіонного імпульсу;
- блок електроніки.

Усередині феромагнітного хвилеводу 1 знаходиться мідний провідник 2. Позиційний магніт 3, який пов'язаний з об'єктом вимірювання, створює зовнішнє магнітне поле. Блок електроніки формує короткий імпульс струму I_1 . Поширення цього імпульсу у мідному провіднику викликає виникнення навколо провідника і феромагнітного хвилеводу радіального магнітного поля 4. Його взаємодія з магнітним полем позиційного магніту 5 призводить до магнітострикційної деформації локальної ділянки хвилеводу 6. Утворюється торсіонна (крутильна) хвиля деформації 7, яка від місця виникнення поширюється до кінців хвилеводу. Швидкість поширення хвилі 2830 м/с, на неї не чинять вплив забруднення поверхні хвилеводу, температура, удари.

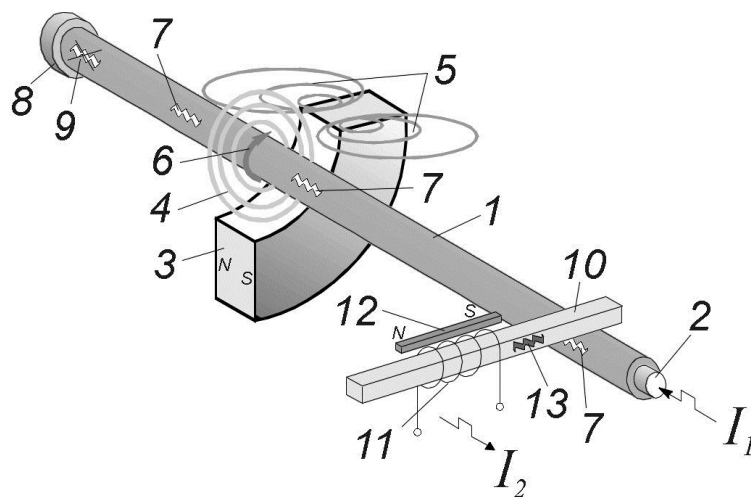


Рис. 10.5 – Магнітострикційний датчик переміщень:

- 1 – хвилевід; 2 – провідник; 3 – магніт позиційний; 4 – магнітне поле імпульсу струму; 5 – магнітне поле позиційного магніту;
 6 – магнітострикційна деформація; 7 – хвиля деформації в хвилеводі;
 8 – демпфер; 9 – гасіння хвилі демпфером; 10 – смуга (феромагнетик);
 11 – котушка; 12 – нерухомий магніт; 13 – хвиля деформації феромагнетика; I_1 , I_2 – імпульси струму

Демпфер 8, який встановлено в одному з кінців хвилеводу, гасить хвилю 9, захищає від завад і спотворення сигналу.

На іншому кінці хвилеводу встановлено перетворювач, який виконує детектування і обробку торсіонного імпульсу.

Перетворювач торсіонних імпульсів складається зі смуги з феромагнітного металу 10, яка розташована упоперек хвилеводу і жорстко пов'язана з ним, котушки 11 і нерухомого постійного магніту 12.

Торсіонна хвиля локальної деформації хвилеводу викликає деформацію 13 і відповідну зміну намагніченості феромагнітної смуги, що знаходиться в полі постійного магніту. Відбувається тимчасова зміна поля постійного магніту, в котушці індукується імпульс електричного струму I_2 , який надходить до блоку електроніки. Точну позицію магніту визначають за результатами вимірювання часу між стартом струмового імпульсу і виникненням імпульсу в котушці.

Приклади. Магнітострикційні датчики лінійних переміщень *TURCK серія LC* фірми *Sensorlink* призначено для вимірювання переміщень в діапазоні 100-4500 мм. Уніфікований струмовий вихідний сигнал 4-20 мА. Напруга живлення 24 В. Застосовують в системах позиціонування в метало- і деревообробних верстатах, в пресовому, формувальному, прокатному і ливарному устаткуванні, в термопластавтоматах.

Магнітострикційні датчики фірми *Japan Machinery Company, серія RH* (рис. 10.6). Застосовують для вимірювання переміщень від 25 до 7600 мм, похибка 0,5 мкм, вихідний сигнал 0-10 В або 4-20 мА. Датчик *серії EE* призначено для установки всередині циліндрів, має вимірюваний діапазон 50-2500 мм, похибку $\pm 0,005\%$, вихідний сигнал 4-20 мА.



Рис. 10.6 – Магнітострикційні датчики серії RH фірми Japan Machinery Company

Магнітострикційні датчики застосовують для роботи в умовах постійної вібрації, при ударних навантаженнях, високому тиску, низьких або високих температурах, високій вологості: в деревообробних верстатах, гідроциліндрах, рухливій техніці, термопластавтоматах, при різанні матеріалів, інжекційному литті.

10.6 Ультразвукові датчики переміщення (рис. 10.7) фіксують відбиті від об'єкту ультразвукові хвилі, що випромінюються генератором датчика 3. Відстань d до об'єкту 4 визначають за часом Δt між моментами випромінювання 1 і приймання 2 ультразвукових імпульсів.

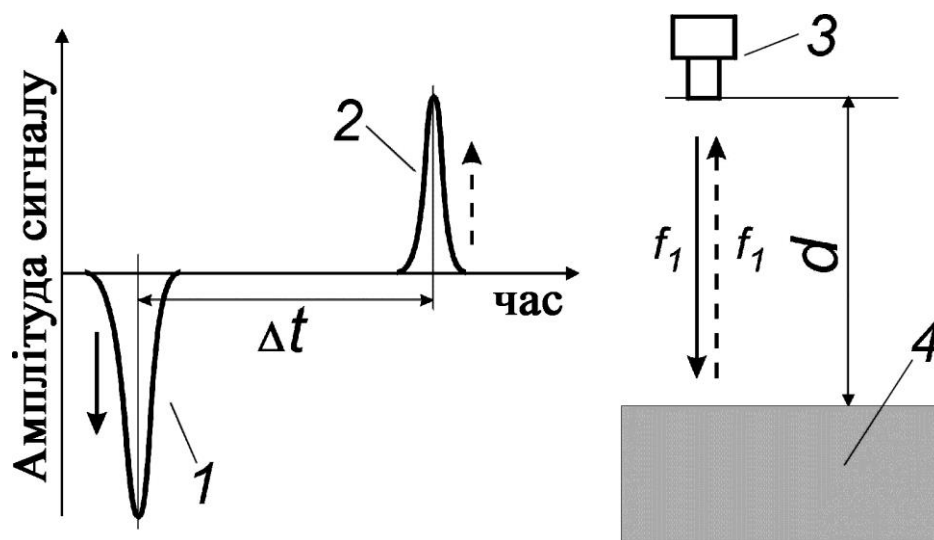


Рис. 10.7 – Ультразвуковий датчик переміщення:

1 – імпульс, що випромінюється; 2 – відбитий імпульс; 3 – датчик;
4 – об'єкт; d – відстань до об'єкту; Δt – інтервал часу між випромінюванням і прийманням відбитого імпульсу

Приклади.

Ультразвукові датчики переміщень і відстаней *TURCK* фірми *Sensorlink* з датчиком *Q30* мають кут конуса випромінювання 6° , забезпечують діапазон вимірювання до 6 м. Кут випромінювання датчиків *Q45U* і *T30* – $12-15^\circ$, датчики нечутливі до нерівностей. Датчики *Q45U* призначено для розміщення в обмеженому просторі, вони можуть мати звукоперетворювач в окремому компактному корпусі. Вихідний сигнал датчиків – уніфікований 4-20 мА або 0-10 В.

Ультразвукові датчики малого діапазону відстаней фірми *Sick*:

- датчики *OD Hi* застосовують для позиціонування приводів лінійного переміщення, захватів. Мають діапазон вимірювання 26-400 мм, похибку $\pm 4-75$ мкм, частоту вимірювання 1 кГц, вихідний сигнал 4-20 мА;
- датчики *OD Max* відстежують допуски на обробку колінчастих валів. Мають діапазон вимірювання 24-460 мм, похибку $\pm 0,1-50$ мкм, частоту вимірювання 10 кГц, вихідний сигнал 4-20 мА, інтерфейс RS-232;
- датчики *OD Precision* вимірюють площину дерев'яних поверхонь, поверхонь скла або кераміки. Діапазон вимірювання 24-700 мм, похибка датчика $\pm 0,02-10$ мкм, частота вимірювання 1 кГц, вихідний сигнал 0-10 В або 4-20 мА, інтерфейс RS-232 або USB-порт.

10.7 Принцип дії ємнісних датчиків переміщення засновано на залежності ємності конденсатора від відстані між пластинами. Ємність конденсатора змінюється обернено пропорційно до величини проміжку d між пластинами (рис. 10.8).

Поверхня об'єкту-провідника 1 використовується як одна з обкладинок конденсатора. Об'єкт-діелектрик 2 використовується як діелектричне середовище у конденсаторі.

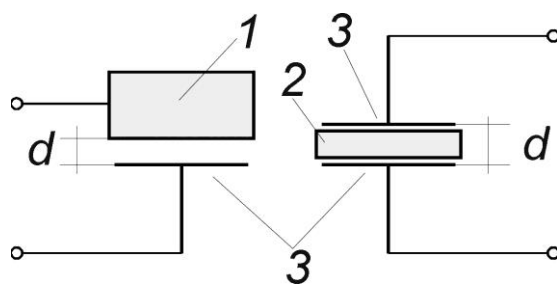


Рис. 10.8 – Схема ємнісних датчиків:

1 – об'єкт-провідник; 2 – об'єкт-діелектрик; 3 – пластини конденсатора;
 d – відстань між пластинами

Приклади.

Ємнісні датчики переміщень *CAPA NCDT 6100* фірм *Micro-epsilon messtechnik GmbH & CO.KG* призначено для вимірювання

вібрацій, зміщень, лінійних переміщень, розмірних допусків, відхилень форми поверхонь. Система складається із датчика і контролера. Конденсатор утворюють датчик і поверхня об'єкту, переміщення якого вимірюється. Діапазон вимірювання датчика S60-0.2 складає 0-0,2 мм, датчика SC10 – 0-10 мм, приведена похибка 0,015%. Вихідний сигнал 4-20 мА, живлення 15-24 В постійного струму.

10.8 Схема оптичного датчика переміщення із схемою оптичної тріангуляції наведена на рис. 10.9. Випромінювач 1 формує світловий промінь, який спрямовується на об'єкт 2. Світло відбивається від об'єкту і через оптичну систему 3 потрапляє на координатно-чутливу матрицю приймача 4. Відстань від об'єкту до приймача визначають за кутом α , під яким світло потрапляє на приймальний елемент. Вихідний сигнал формує мікропроцесор.

Приклади. В оптичних датчиках переміщень LG5/LG10, Q50 фірми Sensorlink використовується спосіб тріангуляції. У датчику Q50 як джерело світла застосовано світлодіод, що забезпечує вимірювальну відстань 50-400 мм. Далекомір LG5/LG10 має лазерний випромінювач, що забезпечує вимірювальну відстань 45-125 мм. Вихідний сигнал датчиків 4-20 мА або 0-10 В.

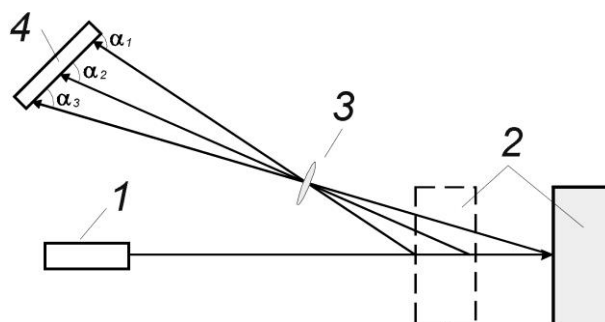


Рис. 10.9 – Оптичний датчик переміщення зі схемою оптичної тріангуляції:
1 – випромінювач; 2 – об'єкт; 3 – оптична система ;
4 –матриця приймача; α – кут падіння світла

Оптичні датчики переміщень, які вимірюють час проходження променя до об'єкту, за принципом роботи схожі з ультразвуковими датчиками переміщень (рис. 10.7). Відстань до

об'єкту d визначається інтервалом часу Δt між випромінюванням імпульсу 1 і поверненням імпульсу 2, який відбився від поверхні об'єкту 2, до приймача випромінювання 3.

Приклади. Оптичні лазерні датчики переміщень *LT3* фірми *Sensorlink*. Максимальна вимірювана відстань до 50 м.

Фірма *Omron* випускає ряд датчиків вимірювання зміщення, товщини і відстані:

- *ZG2* – лазерна система точного вимірювання форми, 2D/3D профілю об'єктів із складним рельєфом поверхні, з матеріалів, вимірювання яких викликає складнощі. Похибка $\pm 0,25$ -10 мкм. Швидкодія 16 мс. Вихідний сигнал 0-10 В; 4-20 мА, USB 2.0; RS-232; температура 0-50°C. Напруга живлення 24 В постійного струму;

- інтелектуальний лазерний мікрометр *ZX-GT* для вимірювання ширини, діаметру незалежно від матеріалу і типу поверхні виробу. Діапазон вимірювання 0-40 мм, 0-500 мм, точність вимірювання ± 10 мкм, швидкодія 0,5 мс. Вихідний сигнал 4-20 мА. Напруга живлення 24 В постійного струму;

- датчик відстані *DT50*, діапазон вимірювання 20-10000 мм, похибка ± 10 мм, вихідний сигнал 4-20 мА;

- лазерний датчик відстані *DL50Hi*, діапазон вимірювання 200-50000 мм, похибка ± 3 мм, вихідний сигнал цифровий відповідно до інтерфейсу RS-422;

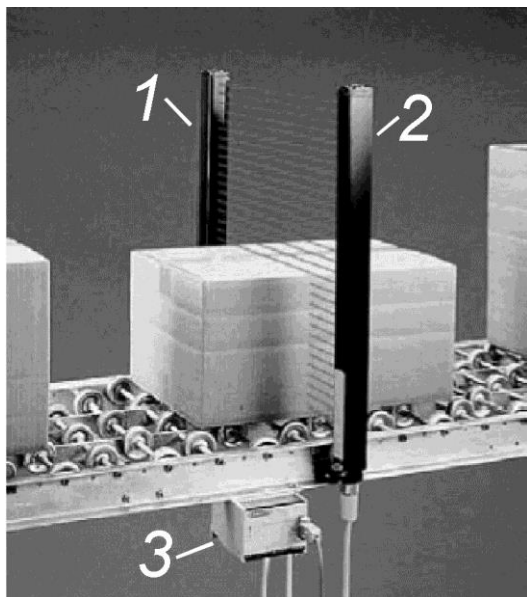
- датчик відстані *DME5000*, діапазон вимірювання 150-300 м, точність ± 2 -5 мм, вихідний сигнал цифровий PROFIBUS, RS-422, DeviceNet, HIPERFACE.

10.9 Вимірювальна світлова завіса (рис. 10.10,а) складається з випромінювача 1, приймача 2 і контролера 3, призначена для визначення розмірів об'єктів, координат їх країв і центру, контролю розмірів отворів, управління швидкостями руху об'єктів і простягання стрічок (рис. 10.10,б). Можливе налаштування розмірів об'єктів, які будуть пропускатись світловою завісою.

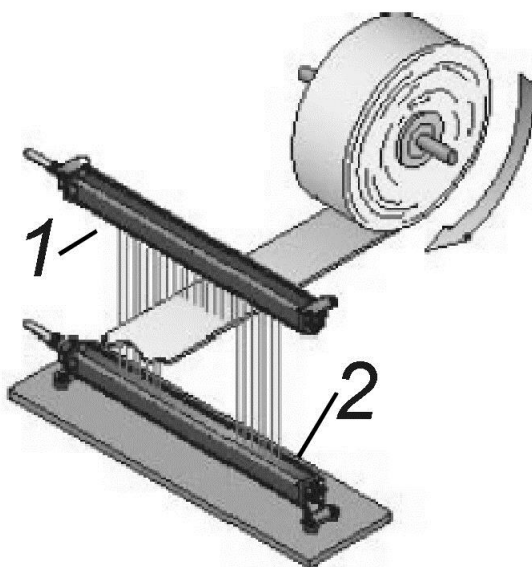
Приклади. Вимірювальна світлова завіса *MINI-ARRAY* фірми *Sensorlink* складається із випромінювача *BMEL* і приймача *BMRL16A*, висота контролю 143-1819 мм, максимальна дальність

0,9-17 м. Мінімальні розміри об'єкту 19х1 мм. Вихідний сигнал 4-20 мА або 0-10 В.

Вимірювальна світлова завіса з високою роздільною здатністю складається з випромінювача *МАНЕ* і приймача *МАНР*, висота контролю 163-1951 мм. Максимальна дальність 0,4-1,8 м, мінімальні розміри об'єкту 2х0,5 мм.



а



б

Рис. 10.10 – Вимірювальні світлові завіси:

а – MINI-ARRAY фірми Sensorlink

(1 – випромінювач, 2 – приймач, 3 – контролер);

б – схема контролю натягу стрічки (1 – випромінювач, 2 – приймач)

10.10 Багатопроменеві бар'єри безпеки призначено для захисту периметра ділянок із небезпечним устаткуванням від доступу персоналу, запобігання доступу людини, для захисту від проникнення в небезпечну зону рук або частин тіла.

Основу багатопроменевого бар'єру безпеки (рис. 10.11) складають оптоелектронні прилади: випромінювач 1, приймач 2, відбиваючі дзеркала 3, 4. Захищена зона складається з небезпечної зони А і мінімальної безпечної відстані S. Периметр, що захищається, утворюється між активним 1, 2 і пасивним 3, 4 елементами бар'єру безпеки і характеризується висотою H. Для захисту небезпечної зони з декількома сторонами доступу встановлюють кутові дзеркала 3, за допомогою яких світловий промінь від випромінювача прямує за сторонами периметру

доступу, що має довжину L і ширину B . Розміри периметра безпеки визначаються максимальними відстанями між активними і пасивними елементами. Якщо захищену зону не порушено, то вихідний сигнал багатопроменевого бар'єру безпеки видає постійну напругу. У випадку порушення світлового променя вихідний сигнал стає рівним нулю.

Приклади:

- Світлові бар'єри ОУ403S фірми *Ifm electronic*, 4-х променеві, забезпечують ширину захисної зони до 10 м при висоті зони 900 мм.
- Бар'єри безпеки ОУ901S, двопробеневі, забезпечують ширину захисної зони до 6 м, при висоті зони 50 мм.
- Бар'єр безпеки IP 69K призначено для застосування в процесах промивання.

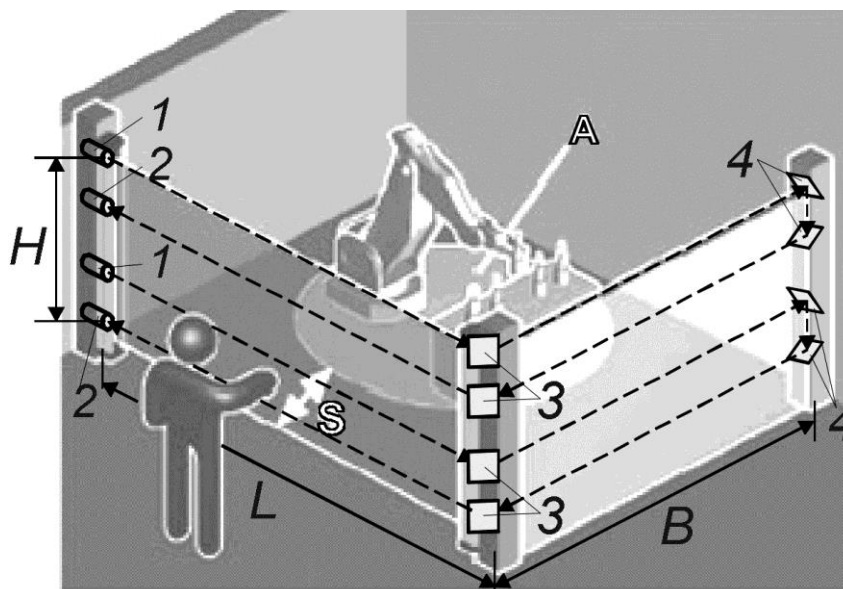


Рис. 10.11 – Бар'єри безпеки:

- 1 – випромінювач; 2 – приймач; 3, 4 – дзеркало; А – небезпечна зона;
 S – мінімальна безпечна відстань; L – довжина зони захисту;
 B – ширина зони захисту; H – висота зони захисту

10.11 Приклади контурів контролю і регулювання лінійних переміщень наведено на рис 10.12.

Контур 1 регулює положення заслінки камерної печі при термообробці виробів. Сигнал магнітострикційного датчика положення *TURCK* (поз. 1а) надходить на вхід контролера *Ремиконт Р-130ІСа* (ПЛК). Перед початком термообробки

заслінка має бути повністю закрыта. Якщо умова виконана, ПЛК подає сигнал блоку управління симісторами і тиристорами БУСТ (поз. 3в), який здійснює плавне регулювання потужності нагрівачів печі. Для ручного управління призначено блок ручного дистанційного керування БРУ-10 (поз. 3б). Температуру контролюють термодіодом (поз. 3а). Після закінчення термообробки нагрівачі відключають. Для прискореного охолодження виробів заслінку печі відкривають на задану величину. Положення заслінки змінює виконавчий механізм електричний багатооборотний МЭМ (поз. 1г) з управлінням через пускач безконтактний реверсивний ПБР-3А (поз. 1в). Для ручного управління виконавчим механізмом призначено блок ручного дистанційного керування БРУ-22 (поз. 1б).

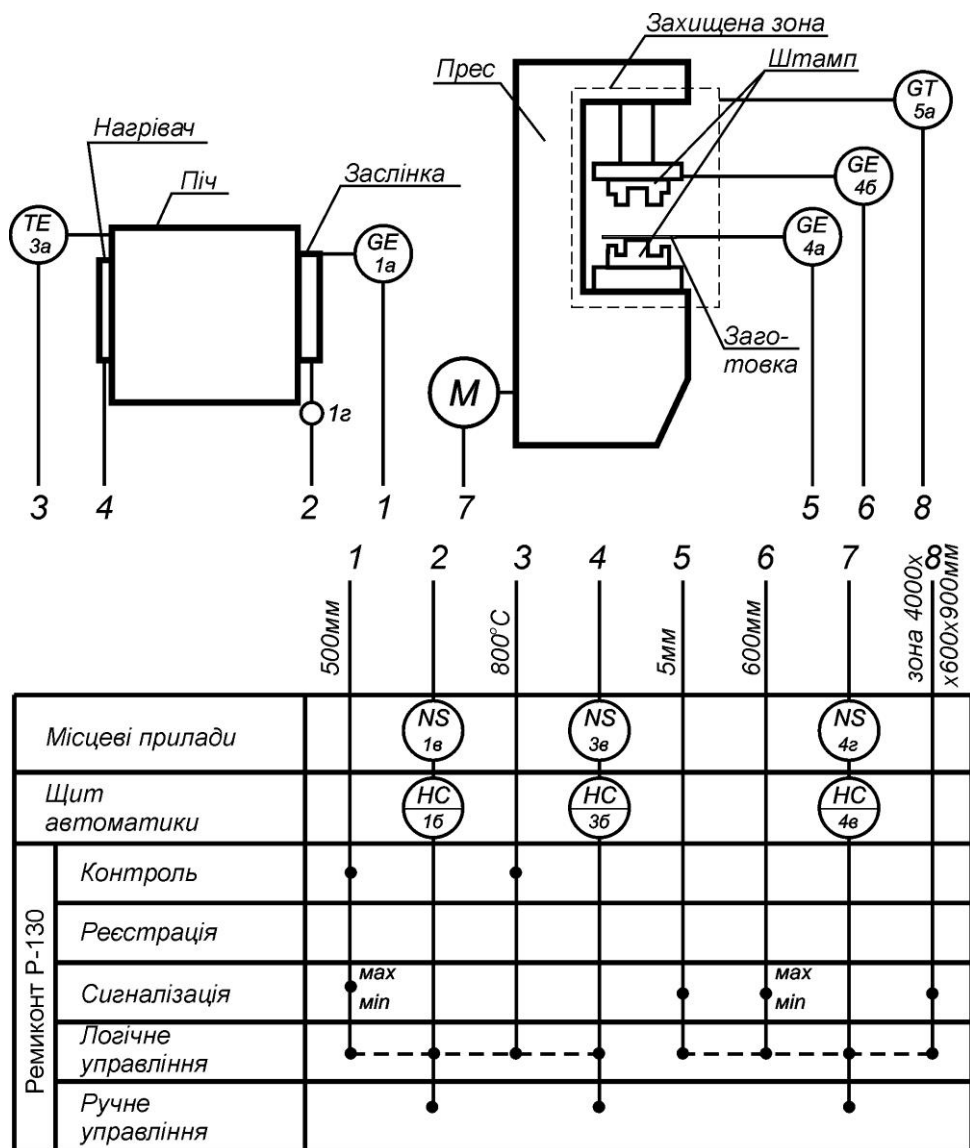


Рис. 10.12 – Контури контролю і регулювання лінійних переміщень

Контур 4 керує процесом деформації заготовок в штампі кривошипного пресу. Наявність заготовки в штампі і положення верхньої рухливої плити штампу визначають безконтактні індуктивні датчики *ВБ2.12М* (поз. 4а, 4б). Сигнали датчиків надходять на вхід контролера *Ремиконт Р-130ІСа*. Контролер через пускач *ПМА 3102* (поз. 4г) здійснює включення електродвигуна приводу пресу. Для ручного управління використовують пост управління *ПКЕ-112-1У3* з кнопками (поз. 4в). Багатопроменевий бар'єр безпеки *ОУ403S* (поз. 5а) здійснює блокування роботи пресу при попаданні частин тіла персоналу в зону, що захищається.

11 КОНТРОЛЬ І РЕГУЛЮВАННЯ КУТОВИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ І ВІБРАЦІЙ

11.1 Енкодер визначає лінійне або кутове положення об'єкту і формує на виході імпульсний сигнал. На базі енкодерів створюють:

- інкрементальні і абсолютні датчики обертання;
- інкрементальні і абсолютні датчики кутових переміщень;
- інкрементальні і абсолютні датчики лінійних переміщень.

В *інкрементальному енкодері* не зберігається абсолютне лінійне або кутове положення. При включенні енкодера відлік кута повороту або лінійної координати починається з нуля. Шкалу виконано з штрихів із однаковим періодом. Координату визначають шляхом *відліку штрихів* від нульової точки, що задана в будь-якому місці шкали. Для визначення абсолютного положення необхідна абсолютна точка відліку (*референтна мітка*), її наносять на окремій доріжці.

При використанні *абсолютного методу* вимірювання значення поточної координати доступне після включення датчика, при цьому не вимагається повернення об'єкту в початкове положення. Значення абсолютного положення визначається за *штрихами шкали*, що утворюють *послідовний код*. Можливе застосування декількох кодованих доріжок.

У *однооборотних датчиках* абсолютні значення положення повторюються при кожному оберті.

Багатооборотні датчики розрізняють кількість обертів. Абсолютне положення, яке задано референтною міткою, співпадає з одним з кроків вимірювання.

Енкодери застосовують в поліграфічній промисловості, металообробці, в ліфтах, автоматах для фасування, упаковки, розливу продуктів, у випробувальних стендах, промислових роботах, машинах з точним позиціонуванням рухомих частин.

Сельсини (англ. *self-synchronizing*, самосинхронізація) – електричні мікромашини змінного струму. Вимірювальну схему утворюють однакові сельсин-датчик і сельсин-приймач. У трансформаторному режимі роботи сельсин-датчик обертається на певний кут, на виході сельсин-приймача формується напруга, що є функцією кута розузгодження між їх роторами.

11.2 У оптичних лінійних енкодерах RG2, Renishaw (рис. 11.1) випромінювання інфрачервоного світлодіода 2 відбивається від похилих штрихів масштабної стрічки 1, проходить крізь прозору фазову дифракційну решітку 3 і потрапляє в голівку для зчитування 4. В площині детектора утворюються інтерференційні смуги. Оптична схема усереднює інтерференційну картину від 80-и масштабних штрихів, ігноруючи сигнали, що не відповідають відстані між штрихами. Забезпечується стабільність вихідного сигналу при ушкодженні або забрудненні масштабної стрічки. Масштабні штрихи нанесені з кроком 20 мкм (5), що забезпечує роздільну здатність до 10 нм. На позолочену лінійку RGS20 наносять захисне лакове покриття 6, яке оберігає її від ушкодження і спрощує обслуговування системи.

Масштабну лінійку необхідної довжини відрізають від стрічки, що поставляється рулоном. Стрічка має основу, що сама клеїться. Установка завершується наклеюванням контрольної мітки і кінцевих вимикачів.

Голівки для зчитування RGH22 виконують з розділовою здатністю 5, 1, 0,5, 0,1 мкм і 50 нм. Вихідні сигнали уніфіковані аналогові і цифрові. Габаритні розміри (висота, довжина, ширина) 16x44x27 мм.

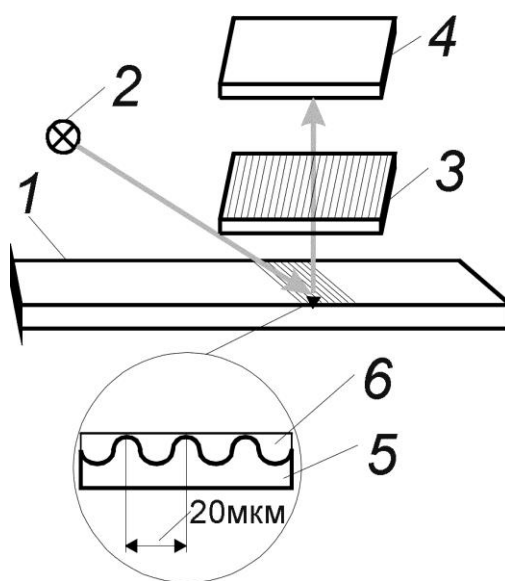


Рис. 11.1 – Схема оптичного енкодера:

- 1 – масштабна лінійка; 2 – світлодіод; 3 – дифракційна решітка;
- 4 – фотодетектор; 5 – поперечний переріз лінійки; 6 – захисне покриття

Кутові оптичні енкодери *RESR* характеризуються наступними параметрами: номінальні зовнішні діаметри кілець 50-413 мм, максимальна швидкість обертання 2938-370 об/хв, точність системи $\pm 5,6 \dots \pm 0,7$ кутових секунд. Кількість нанесених масштабних штрихів на кільці діаметром 52 мм – 4096; на кільці діаметром 413 мм – 64800. Голівка *RGH20* може мати розділову здатністю 5, 1, 0,5, 0,2, 0,1 мкм, 50, 20 і 10 нм. Вихідні сигнали уніфіковані аналогові і цифрові.

У оптичних енкодерах фірми *HEIDENHAIN* шкали виконують із скла або сталі, мікроскопічні поділки наносять методом фотолітографії:

- *AURODUR*: матові штрихи витравлено на позолоченій сталевій стрічці, період ділень 40 мкм;
- *METALLUR*: металеві штрихи на золоті, період 20 мкм, стійкі до забруднення;
- *DIADUR*: поділки з хрому (період 20 мкм) або тривимірної структури з хрому на склі (період 8 мкм), характеризуються високою зносостійкістю;
- *SUPRADUR*: фазові решітки оптично тривимірні, плоскої структури, період поділок ≤ 8 мкм, стійкі до забруднень;
- *OPTODUR*: фазові решітки оптично тривимірні, плоскої структури періодом ≤ 2 мкм.

Оптичні датчики обертання *ERN*, *ECN*, *EQN*, *ERO*, *ROD*, *RCN*, *RQN* працюють на проекційному методі вимірювання.

Проекційний метод вимірювання (рис. 11.2) полягає в тому, що шкала 4 і шаблон 3 з штрихами однакового або кратного періоду рухаються один відносно одного. Шаблон виконано з прозорого матеріалу, шкала може бути прозорою або металевою, з відображуваною поверхнею.

Після проходження паралельних променів світла через шаблон утворюється певна світлотіньова послідовність. У випадку співпадіння штрихів шаблону з штрихами на шкалі на виході з'являється світловий сигнал. Якщо штрихи накладаються на просвіти, світловий сигнал на виході відсутній. Фотоелементи 5 перетворюють світлові зміни в електричні сигнали, які за формою близькі до синусоїдальних. З урахуванням допусків на

установку датчиків використовують шкали з ціною поділок ≥ 10 мкм.

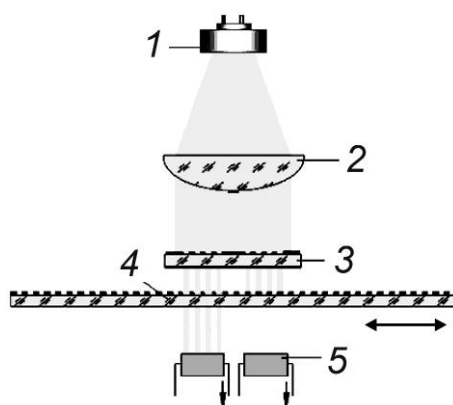


Рис. 11.2 – Проекційний метод вимірювання:
1 – світлодіод; 2 – оптична система; 3 – шаблон; 4 – шкала;
5 – фотоеlementи

В абсолютних датчиках обертання *ECN 1325* і *EQN 1337* замість набору фотоеlementів встановлено фотосенсор з великою поверхнею, структура його матриці відповідає параметрам штрихів на шкалі, що дозволяє відмовитися від шаблону.

ECN/EQN/ERN-1000 (рис. 11.3) – датчики обертання із вбудованими підшипниками і муфтою статора. Механічно допустима частота обертання 12000 об/хв; частота власних коливань муфти статора 1800 Гц. Інкрементальні сигнали: 512 періодів сигналу на оберт; абсолютні значення положення: 8192 позицій на оберт. Інтерфейс даних EnDat 2.2/01 (Encoder Data), напруга живлення 3,6-14 В постійного струму.

RCN-500 – датчики кута зі вбудованими підшипниками і муфтою статора. Механічно допустима частота обертання до 1500 об/хв; частота власних коливань муфти 1000 Гц, точність системи $\pm 5''$. Інкрементальні сигнали 16384 періодів сигналу на оберт. Абсолютні значення положення, 67108864 позицій на оберт. Інтерфейс даних EnDat 2.2/02, напруга живлення 3,6-14 В постійного струму.

Оптичний датчик швидкості обертання *DS-03 (Hydrotechnik)* дозволяє вимірювати швидкості обертання на відстані від 50 мм до 4 м. Джерело світла – світлодіод з видимим переривчастим червоним світлом. Вимірювана частота

обертання до 500 Гц. Вихідний сигнал: частотний або уніфікований 4-20 мА.

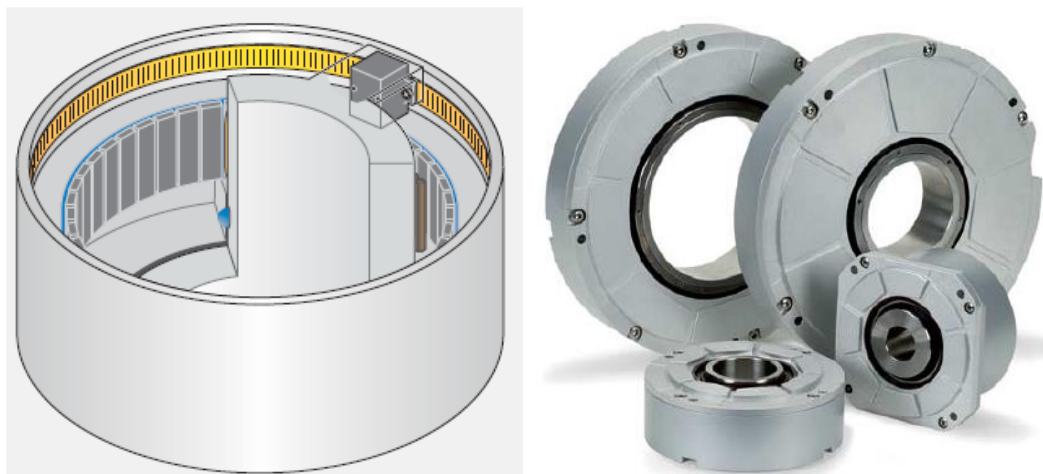


Рис. 11.3 – Датчики обертання ECN/EQN/ERN-1000 із вбудованими підшипниками і муфтою статора

11.3 В магнітних енкодерах фірми *HEIDENHAIN* шкалу виконано з магнітної сталі, поділки нанесено з періодом 400 мкм. Застосовують також шкали з міді, на які наносять магнітні поділки (полюси).

Індуктивні датчики обертання *ECI/EQI* визначають положення за результатами обробки сигналів, які отримуються із рівномірно розподілених за колом котушок-приймачів.

Відкриті магнітні датчики *лінійних переміщень* для лінійних приводів:

- *LIS-4000* (рис. 11.4), швидкість переміщення до 480 м/хв, прискорення у напрямі вимірювання 200 м/с², похибка вимірювання ± 5 мкм;

- *LIF 481*, вимірювана довжина 70-1020 мм, період інкрементальних сигналів 4 мкм, напруга живлення 5 В $\pm 5\%$ постійного струму, опорна доріжка, кінцеві вимикачі;

- *LIS 4015*, вимірювана довжина 140-27040 мм, абсолютні значення положення із роздільною здатністю 0,001 мкм, датчик формує цифровий вихідний сигнал для передачі за послідовним інтерфейсом даних EnDat2.2/22, напруга живлення 3,6-14 В постійного струму.

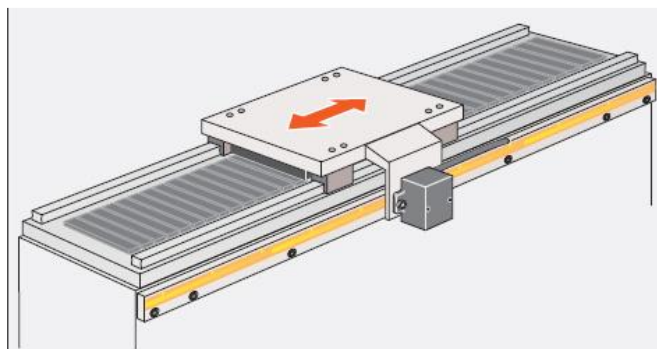


Рис. 11.4 – Відкриті датчики лінійних переміщень для лінійних приводів LIC-4000

Магнітні датчики *ERM* використовують магнітно-резистивні сенсори. Електричний опір магнітрезистивних пластин залежить від напрямку і величини індукції зовнішнього магнітного поля. Зовнішнє магнітне поле створюють магнітні штрихи (полюси), які нанесено на шкалу.

Магнітні енкодери *Magline (Siko)* призначено для лінійних і кутових вимірювань. У магнітних стрічках *MBA* гнучка магнітна основа стрічки намагнічується ділянками через певні відстані. Основа пов'язана із сталевією стрічкою, на нижню поверхню якої нанесено покриття, що само клеїться. Згори магнітна основа захищена від механічних ушкоджень стрічкою з парамагнітної нержавіючої сталі. Датчик вимірює величину залишкової намагніченості стрічки або кільця і перетворює її в електричні сигнали. Існують наступні серії датчиків:

- *BASIC*: інкрементальні і абсолютні вимірювання, роздільна здатність до 5 мкм, вимірювальна довжина до 90 м;
- *MICRO*: вимірювання в динамічних процесах, роздільна здатність до 1 мкм, вимірювальна довжина до 90 м;
- *MACRO*: вимірювання великих довжин, роздільна здатність до 0,1 мм, вимірювальна довжина до 163 м;
- *ROTO* здійснює кутові вимірювання при зовнішніх діях ударних вібрацій, роздільна здатність до 40000 імпульсів на 1 оберт.

Приклад: вимірювання лінійних розмірів до 5120 мм доцільно проводити із використанням стрічки типу *MBA*, тип магнітного датчика *MSA*, швидкість переміщення до 5 м/с,

роздільна здатність до 0,01 мм, інтерфейс RS-485 SSI, напруга живлення 24 В $\pm 20\%$ постійного струму. Вимірювальний перетворювач АЕА, інтерфейс RS-232/R, Profibus. Вимірювальний дисплей МА505, живлення 24 В $\pm 20\%$ постійного струму, інтерфейс RS-232.

Магнітні енкодери *TURCK (Сенсорлинк-логістика)* призначено для визначення кутового положення приводів обертання і двигунів. Випускають з порожнистим і суцільним валом, діаметр корпусу 24-102 мм. Датчики абсолютних кутів, роздільна здатність 14 біт; інкрементальні датчики – до 36000 імпульсів на оберт. Уніфіковані вихідні сигнали 4-20 мА або 0-10 В.

Енкодер в комплекті з тросиковим приводом вимірює довжини 1-40 м з похибкою $\pm 0,05$ мм. Його застосовують для визначення рівнів, позиціонування насосів в ємностях, контролю положення підйомних столів, орієнтації вантажопідйомних кранів.

Для вимірювання довжин при розмотуванні рулонів паперу або тканини застосовують енкодери в комплекті з вимірювальними дисками, які мають довжину кола 200-500 мм.

У вимірювачах лінійного і кутового переміщення *ИК-1-ТК-2 (Турбоконтроль, Харків)* в якості датчику використано сельсин, який оснащено блоком виносної індикації *БВИ-ТК*. Діапазон вимірювань кута повороту 0-354°, межі допустимої основної абсолютної похибки при вимірюванні кута повороту $\pm 2,5^\circ$, вихідний сигнал уніфікований струмовий 0-5, 0-20, 4-20 мА, інтерфейс RS-485, протокол MODBUS RTU.

Тахометр цифровий *ЦД9902 (Автоматика)* призначено для вимірювання кутової швидкості частин машин, що обертаються, механізмів і приладів. Також можливо застосування електромагнітного тахометричного датчика *ПД 2546.1*. Діапазон зміни вихідного сигналу 1-9999 об/хв, основна похибка вимірювання до 0,025% від діапазону перетворення. Вихідний сигнал 4-20 мА, інтерфейс RS-232, адаптер *ДУШ 2.260.000*, монтується на комп'ютер. Довжина лінії зв'язку

до 250 м, гальванічна розв'язка. Внутрішній блок живлення, споживана потужність 10 Вт.

Багатофункціональний тахометр *TX01 (ОВЕН)* призначено для вимірювання частоти обертання валу, лінійної швидкості переміщення конвеєра, часу напрацювання агрегатів. Датчик безконтактний, живлення вбудованим джерелом 24 В постійного струму. Діапазон вимірювання частоти 0,5-2500 Гц, діапазон вимірювання часу від 1 с до 9999 діб, вихідні сигнали 4-20 мА, 0-10 В. Прилад має релейні виходи для сигналізації виходу частоти обертання за допустимі межі або досягнення граничного часу напрацювання устаткування. Живлення 90-264 В змінного струму.

11.4 Контроль вібрацій. Для контролю роботи складного устаткування (парових і газових турбін, потужних насосів, компресорів) застосовують комплекси устаткування для одночасного контролю частоти обертання роторів, рівня вібрацій опор підшипників, викривлення валів, зміщення і теплового розширення деталей.

Апаратура і системи контролю енергетичного устаткування (*Вибробит*) дозволяє вимірювати:

- *вібрацію ротора*: діапазон вимірювання зміщення 0-2000 мкм, датчик *ДВТ10*, перетворювачі *ИП34, ИП37*;
- *частоту обертання ротора*: 0-4000 об/хв, датчики *ДВТ10, ДВТ30, ДХМ*, перетворювачі *К22, ИП36*;
- *вібрацію опори підшипника*: діапазон вимірювання миттєвої віброшвидкості 0-100 мм/с, датчики *ДПЭ22МВ, ДПЭ23МВ*;
- *викривлення (ексцентриситет) ротора*: діапазон вимірювання 0-1000 мкм, датчик *ДВТ10*, перетворювачі *ИП34, ИП37*;
- *зміщення деталей, абсолютне розширення циліндра, положення виконавчого органу* (діапазон вимірювання 0-360 мм) датчик *ДВТ50*, перетворювач *ИП-34*.

Датчик вимірювання *зміщень ДВТ-10*, безконтактний вихрострумний, діапазон вимірювання зміщень 0-2 мм, нелінійність амплітудної характеристики $\pm 2,5\%$.

Датчик вимірювання зміщень великої амплітуди вихрострумний ДВТ-50, діапазон вимірювання зміщення 0-360 мм, нелінійність амплітудної характеристики до $\pm 4\%$.

Датчик вимірювання обертів ротора ДХМ для роботи з контрольними поверхнями "паз", "шпонка", "шестерня". Твердотільний, на основі ефекту Холла із вбудованим магнітом і електронною схемою, вихідний сигнал: логічний "0" (якщо на виході сила струму 3,6-5,2 мА), логічна "1" (якщо на виході сила струму 18-22 мА). Максимальна частота спрацьовування 6000 Гц. Принцип роботи засновано на ефекті Холла: при проходженні струму через провідник, на який впливає поперечне зовнішнє магнітне поле, в поперечному перерізі провідника виникає різниця потенціалів. За наявності поряд з провідником феромагнітного об'єкту різниця потенціалів в поперечному перерізі провідника залежить від відстані між провідником і об'єктом.

Датчик вібрації ДПЭ22МВ перетворює величину абсолютної вібрації контрольної поверхні в струмний сигнал, який пропорційний миттєвій віброшвидкості. З п'єзодатчика заряд, що пропорційний віброприскоренню, надходить на вхід підсилювача заряду, а потім через фільтри, що обмежують робочий діапазон частот, на інтегратор. У інтеграторі сигнал миттєвого віброприскорення перетворюється в миттєву віброшвидкість. Сигнал миттєвої віброшвидкості надходить на вхід драйвера, що формує пропорційний струмний сигнал. Діапазон вимірювання миттєвої віброшвидкості 0,3-30 мм/с; діапазон вимірювання частот 2-1000 Гц; межа основної допустимої похибки на базовій частоті 80 Гц складає $\pm 2,5\%$.

Перетворювач універсальний ИПЗ4, межа допустимої основної приведеної похибки вимірювання $\pm 2,5\%$. Діапазон вимірювання зміщень 0-2 мм; діапазон вимірювання вібропереміщення 10-1000 мкм; діапазон вимірювання частот вібропереміщення 0,05-1500 Гц.

Перетворювач для вимірювання частоти обертання ротора ИПЗ6 має тахометричний вихід 1-5 мА для підключення до цифрових систем і уніфікований струмний вихід 4-20 мА. Діапазон вимірювання частоти обертання ротора 180-

10000 об/хв. Межа допустимої основної відносної похибки вимірювання $\pm 1,0\%$.

Перетворювач *вібропереміщення ИП37*, діапазон вимірювання зміщень 0-2 мм, діапазон вимірювання розмаху вібропереміщення 25-500 мкм, вібропереміщення 10-1000 мкм. Діапазон частот вимірювання розмаху вібропереміщення 0,05-500 Гц; вібропереміщення 0,05-1500 Гц. Вихід – уніфікований сигнал 4-20 мА, який пропорційний миттєвій відстані між датчиком і контрольною поверхнею.

Компаратор *K22* працює з контрольними поверхнями "паз", "шестерня" і призначений для формування тахометричних імпульсів у вигляді струмового сигналу:

- логічний "0" (відповідає силі струму 1,0-1,3 мА); логічна "1" (відповідає силі струму 4,7-5,0 мА);
- логічний "0" (відповідає силі струму 4-5 мА); логічна "1" (відповідає силі струму 19-21 мА).

Вимірювач переміщення *П-1117 (Спектр)* здійснює:

- вимірювання *осьового зміщення валу ротора* (датчики *П-1107, П-1107, М27*), межі допустимої основної приведеної похибки вимірювання $\pm 2\%$;
- вимірювання *теплого розширення корпусу турбіни*, діапазон вимірювання 0-360 мм (датчик *П-1116*), межі допустимої основної приведеної похибки вимірювання $\pm 2\%$;
- вимірювання *відносного розширення ротора*, діапазон вимірювання від -10 до +10 мм (датчик *П-1108*), межі допустимої основної приведеної похибки вимірювання: у проміжку 1,0-2,0 мм, $\pm 2\%$; 0,5-1,0 мм і 2,0...2,5 мм $\pm 5\%$.

Вимірювач переміщення *П-1117* має чотири незалежні вимірювальні канали, уніфікований вихідний сигнал 0-5 мА, 4-20 мА, попереджувальні і аварійні уставки, що налаштовуються, затримку спрацьовування сигналу аварійних уставок. Зв'язок з ПК проводиться через інтерфейс RS-485, протокол Modbus, період оновлення даних 100 мс.

Вимірювач лінійних переміщень двоканалний *ИЛП-2 (Технекон)* призначено для безконтактного вимірювання

параметрів відносних лінійних переміщень ротора в радіальному або осьовому напрямках:

- миттєвих значень відносного переміщення;
- відносного положення (проміжку, зрушення);
- відносного вібропереміщення;
- частоти обертання ротора.

Вимірювач складається з двох первинних вихрострумів перетворювачів, вимірювача переміщення (драйвера) *PMT* і перетворювача вібрації *VST*.

Драйвер *PMT* збуджує коливальний контур з котушкою індуктивності первинного вихрострумів перетворювача. Амплітуда сигналу коливального контуру залежить від відстані між первинним перетворювачем і об'єктом контролю. Драйвер має два виходи для підключення перетворювача вібрації *VST* і зовнішнього пристрою.

Перетворювач вібрації *VST* призначено для вимірювання сигналів, що надходять з виходу драйвера *PMT*, та виконання обчислень:

- відносного положення (проміжку, зрушення);
- розмаху, амплітудного значення і середнього квадратичного значення (СКЗ) відносного вібропереміщення;
- частоти обертання ротора.

Діапазон вимірювання відносного положення від -1,1 до +1,1 мм. Діапазон робочих частот 0-10 Гц. Межа основної допустимої приведеної похибки $\pm 3,5\%$.

Діапазони вимірювання параметрів відносного вібропереміщення: розмах 0,01-2 мм, амплітудне значення і середнє квадратичне значення 0,005-1 мм, діапазон робочих частот 2-4000 Гц. Межа допустимої основної приведеної похибки $\pm 5\%$.

Діапазон вимірювання частоти обертання 100-60000 об/хв, межі допустимої основної приведеної похибки $\pm 0,1\%$.

Перетворювач вібрацій *VST* випускається в одноканальному і двоканальному виконанні. Живлення вимірювача переміщення *PMT* і перетворювача вібрації *VST* здійснюється напругою 18-36 В постійної напруги.

Датчик контролю вібрацій *VKV021 (Ifm electronic)*, діапазон контролю середньоквадратичної швидкості вібрації нерухомої частини устаткування 0-25 мм/с. Вихід уніфікований 4-20 мА, дискретний. Живлення 18-32 В постійного струму.

Датчик вібрацій аналоговий *ДВА-301М (Спецэлектрохимвтоматика)* призначено для контролю вібрацій в системах блокування насосів, компресорів і іншого устаткування. Перетворює значення від одного до трьох параметрів вібрації (частота 10-1000 Гц; віброприскорення 0-100 м/с²; віброшвидкість 0-600 мм/с; вібропереміщення (подвійна амплітуда) 0-1,6 мм) в уніфіковані сигнали 4-20 мА.

Система контролю вібрацій *СКВ-301Д-2* здійснює контроль віброприскорень устаткування за двома каналами і формує релейний вихідний сигнал для систем сигналізації і захисту технологічного устаткування. Датчики вібрації перетворюють механічні коливання об'єкту у напрямі осі, яка співпадає з віссю монтажною шпильки датчика, в уніфіковані струмові сигнали 4-20 мА, що пропорційні середньоквадратичному значенню віброприскорення (СКЗ). Сигнали надходять на входи реле *РПИ-301М*, де порівнюються із заданими уставками. При перевищенні поточними параметрами уставок включаються (відключаються) виконавчі силові реле і світлодіодна індикація. Струм в ланцюзі датчика менше 1 мА вважається обривом ланцюга датчика, при цьому включається індикація "обрив".

Датчик вібрації цифровий *ДВЦ-301* перетворює параметри вібрації за двома взаємно перпендикулярними осями (частота 10-1000 Гц, віброприскорення 0,1-100 м/с², віброшвидкість 0-1000 мм/с, вібропереміщення, віброчастота (розмах) 0-20000 мкм) в цифрові сигнали, що передаються на спеціалізовані мікроконтролери *СМК-302-2-4Ц*, *СМК-302-2-8Ц*, *БУИР-301-16-ВЦ* або на комп'ютер за інтерфейсом RS-485 протоколом MODBUS RTU.

Систему контролю вібрації *СКВ-301-4Ц* призначено для контролю параметрів вібрацій устаткування за чотирма цифровими каналами і перетворення їх в релейний вихідний сигнал. Датчики перетворюють параметри механічних коливань об'єкту в пропорційні електричні сигнали. Сигнали надходять на

вхід мікроконтролера датчика, фільтруються, посилюються і виділяються як сигнали, що пропорційні прискоренню і віброчастоті за кожною з двох взаємо перпендикулярних осей. АЦП датчика перетворює аналогові сигнали в цифрові. Через послідовний інтерфейс RS-485, протокол MODBUS RTU цифрові сигнали передаються до контролера *СМК-302-2-4Ц* для обробки.

11.5 Приклади контурів контролю і регулювання кутових переміщень і вібрацій наведено на рис. 11.5.

Контур 6 регулює швидкість переміщення заготівель зміною числа обертів приводу рольганга. Сигнал електромагнітного тахометричного датчика *ПД 2546 (поз. 6а)* надходить на вхід тахометра *ЦД9902 (поз. 6б)*, з його виходу уніфікований сигнал надходить до контролера *Ремиконт Р-130ІСа*. Контролер виробляє сигнал управління перетворювачем частоти *Micromaster-440 (поз. 6г)*, який здійснює плавне регулювання обертів електродвигуна приводу рольганга. Ручне управління здійснюють за допомогою блоку *БРУ-10 (поз. 6в)*.

Контур 7 регулює рівень завантаження кульового млина шляхом зміни кількості матеріалу, що подається, з корекцією за рівнем вібрації корпусу млина. При оптимальному завантаженні рівень вібрацій мінімальний. Сигнал тензометричного ваговимірювального датчика *СА40Х (поз. 7а)* надходить на вхід вимірювального перетворювача *РАХАС (поз. 7б)*, з його виходу уніфікований сигнал надходить на вхід контролера *Ремиконт Р-130ІСа*. На вхід контролера також надходить уніфікований сигнал датчика вібрації *ДВА-301М (поз. 9а)*. Контролер виробляє сигнал включення електродвигуна приводу затвора бункера. Включення реалізується пускачем безконтактним реверсивним *ЛБР-ЗА (поз. 7в)*. Для ручного управління призначено блок ручного дистанційного керування *БРУ-42 (поз. 7г)*.

Контур 8 здійснює контроль довжини паперової стрічки при розмотуванні рулонів паперу. Застосовано магнітний енкодер *TURCK (поз. 8а)* в комплекті з вимірювальним диском (діаметр 200 мм), який обкатує поверхню рулону, що розмотується. Уніфікований сигнал з виходу енкодера надходить на вхід контролера *Ремиконт Р-130ІСа*. Контролер перетворює

число обертів диска в довжину паперової стрічки і вмикає сигналізацію при досягненні заданої довжини.

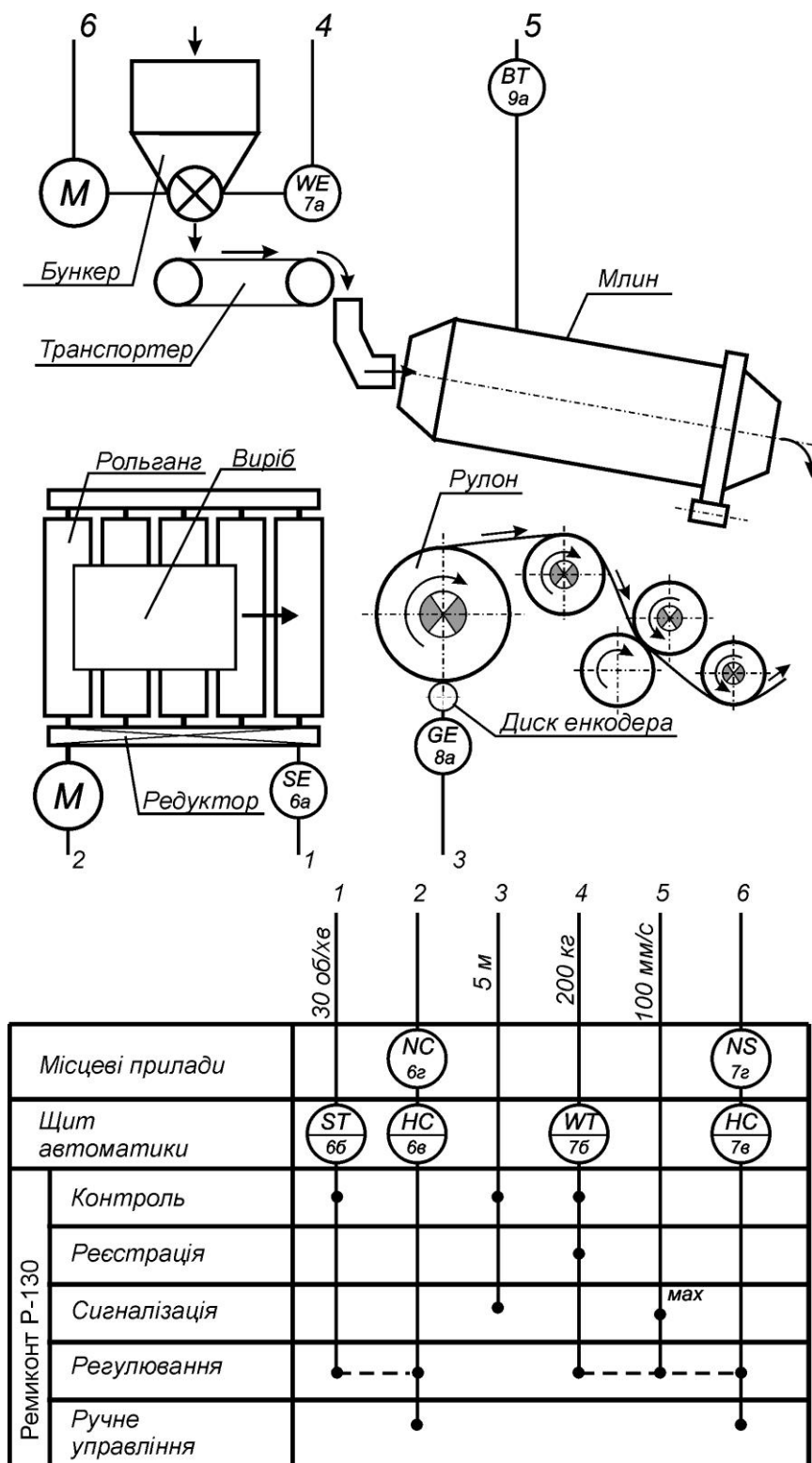


Рис. 11.5 – Контури контролю і регулювання кутових переміщень і вібрацій

12 ВИМІРЮВАННЯ ВАГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН

12.1 Для контролю маси матеріалів, ваги виробів, дозування компонентів найчастіше застосовують вимірювачі з тензометричними датчиками.

Тензоефект полягає в зміні електричного опору провідників і напівпровідників при їх пружній механічній деформації. Опір резистора визначається залежністю:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (12.1)$$

де ρ – питомий опір матеріалу; l – довжина провідника; S – площа його поперечного перерізу.

Під механічним навантаженням змінюється довжина і площа поперечного перерізу провідника. Відносна зміна опору при деформації резистора: $\varepsilon_R = \Delta R/R$. Повздовжня компонента пружної деформації твердого тіла: $\varepsilon_l = \Delta l/l$.

Коефіцієнт тензочутливості $K_T = \varepsilon_R/\varepsilon_l$ характеризує чутливість резистора при лінійному напруженому стані в зоні пружних деформацій. Для металів і сплавів $K_T = 0,9-3,6$.

Тензорезистор дрітаний складається із дроту, діаметром 0,02-0,05 мм, що зигзагоподібно укладений і наклеєний на тонку діелектричну підкладку (рис. 12.1). Застосовують тензодатчики з базою 0,6-1300 мм опором $R=30-5000$ Ом. Тензорезистори наклеюють на тензодатчик, розміри якого визначаються зусиллями, що вимірюються, і сполучають в мостові вимірювальні схеми з температурною компенсацією.

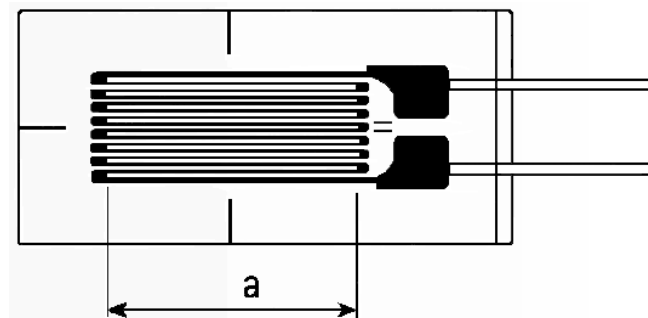


Рис. 12.1 – Схема тензорезистора:
а – база тензорезистора

Тензорезистори напівпровідникові напильють на кремнієву мембрану. Деформація мембрани призводить до зміни опору напівпровідникових тензорезисторів, що включені в мостову вимірювальну схему.

Вимірювачі ваги (фірма Scaime) дозволяють вимірювати вагу об'єктів від 1 г до 50 тонн. У комплект входять тензодатчики (рис. 12.2) і вимірювальні перетворювачі.

Датчики серії *BE* мають діапазон вимірювання від 1 до 10 кг із приведеною похибкою 0,05%; серії *F60X* – 5-5000 кг, похибка 0,033%; серії *CA40X* – 5-40 т, похибка 0,017%; серії *SK30X* – від 500 кг до 5 т, похибка 0,017%.

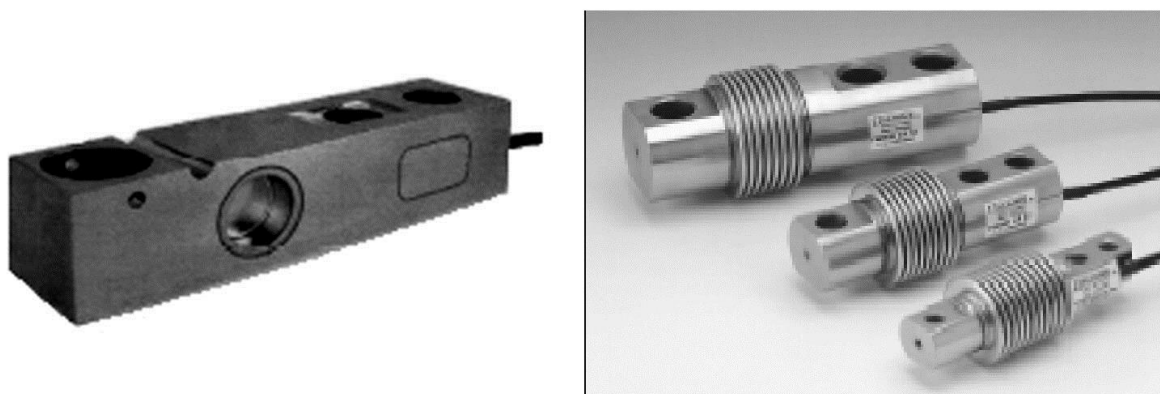


Рис. 12.2 – Тензодатчики фірми Scaime:
а – серія SK30X; б – серія F60X

Програмований вимірювальний перетворювач з цифровою індикацією *PAX S* допускає підключення до 6-и паралельно сполучених датчиків, точність вимірювання 0,03%, чутливість 1 мкВ, вихідний сигнал 0-10 В, 4-20 мА, RS-232, RS-485, має зовнішні ключі для управління дозатором.

Вимірювальний перетворювач *CMJ*, комбінована похибка 0,002%, вихід 0-10 В, 4-20 мА, напруга живлення постійним струмом 24 В.

Щитовий мікропроцесорний вимірювач ваги *2521W* (*ДанаТерм*) містить тензометричні датчики *Меродат-К* (*Уралвес*), напруга живлення 9-12 В. Вимірювана вага 1-2000 кг, швидкодія – до 1 вимірювання на секунду, на виході має 4 реле

керування. Зв'язок з комп'ютером за асинхронним послідовним інтерфейсом. Напруга живлення змінним струмом 220 В.

Контролер вагодозуючий *KB-001 (Дейтон)* призначено для перетворення сигналу тензодатчиків в цифровий код, дозування компонента за заданою вагою, підрахунок зважувань, підсумовування маси відвантаженого матеріалу. Число тензоканалів – 1, напруга живлення тензоперетворювача 4,75-5,25 В постійного струму, основна приведена похибка перетворення в цифровий код 0,02%. Вихідний сигнал відповідає інтерфейсу RS-485, протокол Modbus RTU. Максимальна довжина лінії зв'язку з тензоперетворювачем 100 м.

Прилад ваговимірювальний *ET-02 (ABC-MK)* працює з тензометричними датчиками серій *T, З, Н*. Призначений для вимірювання маси сипких і рідких компонентів в системах дозування і управління виконавчими механізмами, межі вимірювання від 3 до 10000 кг. Допускає підключення 8-и датчиків ваги, 4-х імпульсних датчиків витрати рідини. Має 4 плати силових виходів по 8 виходів розрахованих на 220 В, 1 А, індикатор і клавіатуру управління, інтерфейс RS-232/485. Напруга живлення 220 В змінного струму, напруга живлення датчиків 10 В постійного струму. Здійснює дозування до 4-х компонентів в один дозатор, автоматичне налаштування відключення завантажувального механізму вагового дозатора і режим порційного вивантаження.

Гравіметричні дозатори *MDW (Piovan plasticstechnologies)*, продуктивність 30-1500 кг/год, точність дозування 0,01 г. Здійснюють дозування, зважування і змішування до шести матеріалів. Інтерфейс RS-485.

Матеріали з індивідуальних бункерів дозують шибєрними затворами, шнеками, мікрокомірками (*MDW-20*), що обертаються, і послідовно подають на піддон, який виконує зважування. Одержана порція надходить в змішувач для перемішування перед подачею в машину. Дозатори *MDW* встановлюють на завантажувальні вікна термопластавтоматів і

екструдерів або окремо для обслуговування одночасно декількох машин.

Мікропроцесорний блок управління коригує фактичну вагу компонентів, зберігає до 99-и рецептів приготування суміші, здійснює:

- введення рецептів з назвами і коментарями;
- заміну рецептів в процесі роботи змішувача;
- передачу інформації про витрати матеріалів (загальну, за дозаторами, за установками);
- калібрування завантажувальних комірок;
- установку параметрів змішування;
- аварійну сигналізацію.

Дозатори *MDW20* - *MDW1500*, вага порції 0,5-18 кг. Потужність шнекового електродвигуна до 0,18 кВт, двигуна змішувача *MDW20* – 0,11 кВт, 220 В (1 фаза); *MDW1500* – 0,9 кВт, 380 В (3 фази).

12.2 Прилади, що вимірюють електричні величини, здійснюють контроль характеристик електричних мереж, споживаної приводами машин і механізмів потужності, сили струмів електродвигунів (як показника міри завантаження устаткування), коефіцієнтів потужності установок індукційного нагріву. Для вимірювання великих постійних струмів застосовують вимірювальні шунти. Для вимірювання великих змінних струмів, великої постійної і змінної напруги застосовують вимірювальні трансформатори.

Приклади засобів вимірювання електричних величин («Юримов»).

Вимірювач-регулятор Ф0303.2 призначено для вимірювання величин: струму I , напруги U , потужності електричного струму W . Діапазон вимірювання струму від 0,1 мА до 1 А; напруги від 10 мВ до 400 В, клас точності 1,0. Кількість каналів вимірювання – 2. Допускається підключення термодатчиків *ТСМ*, *ТСП*, *ТХК* і інших вимірювальних перетворювачів з уніфікованими вихідними сигналами 4-20 мА, 0-5 мА, 0-20 мА, 0-10 В. При застосуванні датчиків і вимірювальних перетворювачів *Ф0303.2* дозволяє проводити вимірювання та регулювання інших величин, таких як: тиск,

потужність, частота, вологість, рівень і т.д. Вихідний сигнал 4-20 мА, інтерфейс RS-485 Modbus RTU, 2 релейні виходи. Живлення приладу 198-242 В змінного струму.

Вимірювач-регулятор Ф0303.4 має 4 вимірювальні канали, діапазон вимірювання амперметрів від 0,1 мА до 1 А, вольтметрів від 10 мВ до 400 В, дозволяє проводити вимірювання потужності електричного струму, клас точності 1,0. Допускається підключення датчиків і вимірювальних перетворювачів з виходами 4-20 мА, 0-5 мА, 0-20 мА, 0-10 В. Вихідний сигнал 4-20 мА, інтерфейс RS-485 Modbus RTU, можливе підключення до 3-х дисплеїв ВА-1 або ВА-2, 2 релейні виходи (електромагнітний, оптоелектронний). Живлення приладу 140-340 В змінного струму.

Вимірювачі-регулятори щитові серії Е160 виконують вимірювання середньоквадратичного (дійсного) значення сили або напруги змінного струму 45-65 Гц.

Е160.1, Е160.2 призначені для вимірювання величин: змінного струму від 10 мА до 5 А (клас точності вимірювання 1,0); змінної напруги від 1 до 400 В (клас точності вимірювання 1,0); частоти від 5 до 65 Гц (клас точності вимірювання 0,2). 1 вхід, інтерфейс RS-485 (FT2.1), 2 релейні виходи (електромагнітні). Живлення 140-330 В постійного струму, 100-242 В змінного струму.

Е160.3 призначений для вимірювання величин: змінного струму 1-5 А (клас точності 0,5); змінної напруги 100-400 В (клас точності 0,5). 1 вхід, інтерфейс RS-485, 2 релейні виходи (електромагнітні) Живлення 110-242 В змінного струму.

Е160.5 призначений для вимірювання змінного струму 1-5 А і змінної напруги 57,7-220 В в трипровідних і чотирипровідних електричних мережах змінного трифазного струму частотою 45-65 Гц. Вихід 0-5 мА, 0-20 мА, інтерфейс RS-485 Modbus RTU. Вимірювані параметри: лінійна (міжфазна) напруга (U_{ab} , U_{bc} , U_{ca}) при значенні основної похибки $\pm 0,5\%$, лінійні струми (I_a , I_b , I_c) при значенні основної похибки $\pm 0,2\%$.

Ватметри і варметри Ц301/1МЦ і Д390Ц-3 щитові, цифрові, програмовані. Здійснюють вимірювання активної і реактивної потужності в трифазних трипровідних і чотирипровідних ланцюгах змінного струму частотою 45-65 Гц.

Вимірювач потужності трифазний (ватметр/варметр) Ц301/1МЦ, вимірювані величини: активна потужність P , реактивна потужність Q , номінальна напруга 100, 127, 220, 380 В; номінальні струми 1-5 А; межа допустимої основної похибки $\pm 0,5\%$, допустима основна похибка перетворення "вхід-вихід" $\pm 1\%$. Вихідний сигнал: 0-5 мА, 4-20 мА та інтерфейс RS-485 Modbus RTU.

Вимірювач активної потужності однофазний (ватметр) Ц301МЦ, номінальна напруга 100, 127, 220, 380 В, номінальний струм 1-5 А, межа допустимої основної похибки $\pm 0,5\%$, допустима основна похибка перетворення "вхід-вихід" $\pm 1\%$. Вихідний сигнал: 0-5 мА, 4-20 мА та інтерфейс RS-485 Modbus RTU.

Ватварметр багатофункціональний Ц160.5 призначений для вимірювання напруги, струму, потужності, зсуву фази, коефіцієнта потужності в трифазних трипровідних і чотирипровідних електричних мережах змінного струму частотою 50-60 Гц. Діапазони вимірювання струму від 1 до 5 А, напруги від 57,7 до 220 В. Вимірювані параметри трипровідної мережі:

- лінійна (міжфазна) напруга (U_{ab} , U_{bc} , U_{ca}), основна похибка $\pm 0,5\%$;
- лінійні струми (I_a , I_b , I_c), основна похибка $\pm 0,2\%$;
- активна потужність 3-х фазної мережі P , основна похибка $\pm 0,5\%$;
- реактивна потужність 3-х фазної мережі Q , основна похибка $\pm 0,5\%$;
- повна потужність 3-х фазної мережі S , основна похибка $\pm 0,5\%$;
- частота мережі F , основна похибка $\pm 0,1\%$;
- коефіцієнт потужності $\cos \varphi$, основна похибка $\pm 0,5\%$.

Вимірювані параметри чотирипровідної мережі:

- фазні напруги (U_a , U_b , U_c), основна похибка $\pm 0,2\%$;
- фазні струми (I_a , I_b , I_c), основна похибка $\pm 0,2\%$;
- лінійна (міжфазна) напруга, основна похибка $\pm 0,25\%$;
- активна потужність фази навантаження (P_a , P_b , P_c), похибка $\pm 0,5\%$;

- реактивна потужність фази навантаження (Q_a, Q_b, Q_c), похибка $\pm 0,5\%$;
- повна потужність фази навантаження (S_a, S_b, S_c), похибка $\pm 0,5\%$;
- активна потужність 3-х фазної мережі P , похибка $\pm 0,5\%$;
- реактивна потужність 3-х фазної мережі Q , похибка $\pm 0,5\%$;
- повна потужність 3-х фазної мережі S , похибка $\pm 0,5\%$;
- зсув фазної напруги ($\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c$);
- зсув фаз між струмом і напругою ($\varphi_{a-b}, \varphi_{b-c}, \varphi_{c-a}$);
- коефіцієнт потужності за фазами ($\cos\varphi_a, \cos\varphi_b, \cos\varphi_c$), похибка $\pm 0,5\%$;
- коефіцієнт потужності 3-х фазної мережі $\cos\varphi$, похибка $\pm 0,5\%$;
- частота мережі F , похибка $\pm 0,1\%$.

Аналогові виходи: 0-5 мА, 0-20 мА та цифровий у відповідності до інтерфейсу RS-485 Modbus RTU, живлення 198-242 В змінного струму.

Адаптер реєстрації АД4 призначено для запису результатів вимірювання. Забезпечує опитування до 32-х приладів за інтерфейсом RS-485. Максимальна довжина лінії зв'язку 1200 м.

12.3 Приклади контурів контролю і регулювання ваги і електричних величин наведено на рис. 12.3.

Контур 2 здійснює контроль усередненої витрати сипких матеріалів. Усереднена витрата пропорційна вазі матеріалів, що знаходяться в даний момент на конвеєрі. Сигнал тензометричного ваговимірювального датчика СА40Х (поз. 2а), який встановлено на рамі конвеєра, надходить на вхід вимірювального перетворювача РАХАS (поз. 2б). З його виходу уніфікований сигнал надходить на вхід контролера Ремиконт Р-130ISa. Контролер виконує розрахунок і реєстрацію усередненої витрати матеріалу, сигналізацію виходу значення витрати за задані межі.

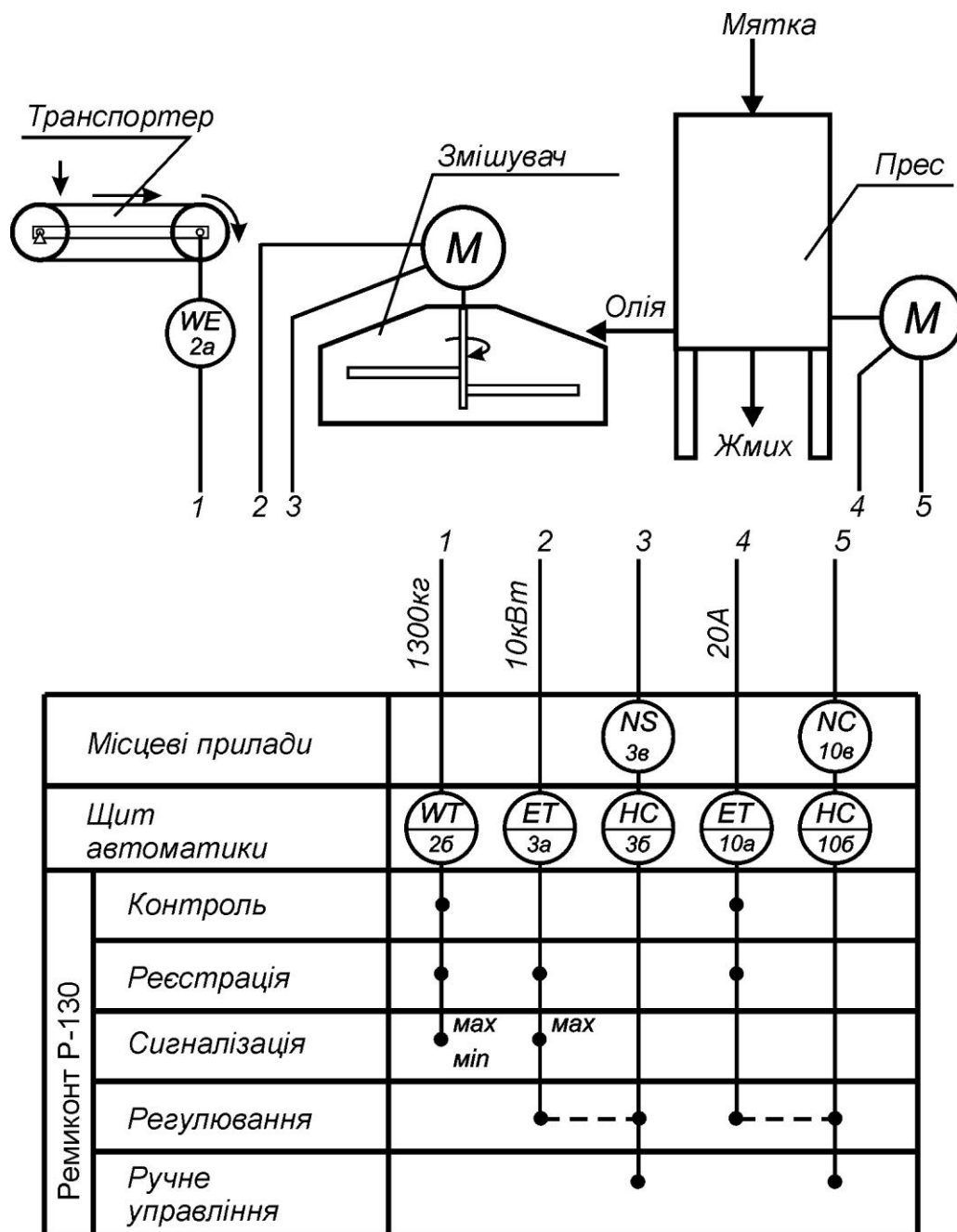


Рис. 12.3 – Контури контролю і регулювання ваги і електричних величин

Контур 3 здійснює управління процесом перемішування компонентів в змішувачі періодичної дії. В'язкість суміші визначають за результатами вимірювання потужності, яка споживається електродвигуном приводу змішувача. Вимірювання струмів в 3-х фазах двигуна здійснюється за допомогою струмових трансформаторів. До мережі живлення двигуна підключено вимірювач потужності трифазний (ватметр/варметр) Ц301/1МЦ (поз. 3а), уніфікований сигнал якого надходить на вхід контролера Ремиконт Р-130ІСа.

Керуючий сигнал від контролера через пускач безконтактний реверсивний ПБР-3А (поз. 3в) зупиняє двигун мішалки у випадку досягнення необхідного рівня споживаної потужності (заданої в'язкості суміші), а також при перевантаженні двигуна за струмом з подачею аварійного сигналу. Для ручного управління призначено блок ручного дистанційного керування БРУ-42 (поз. 3б).

Контур 10 стабілізує роботу шнекового пресу для віджиму олії. Число обертів шнека визначає кількість сировини, що завантажується, продуктивність пресу і навантаження на його привід. У ланцюг живлення електродвигуна пресу включено вимірювач-регулятор E160.5 (поз. 10а), який здійснює реєстрацію струму в силовому ланцюзі. Вимірювання струмів здійснюється за допомогою токових трансформаторів. Уніфікований сигнал вимірювача надходить на вхід контролера Ремиконт Р-130ІСа. Контролер виробляє сигнал управління перетворювачем частоти Micromaster-440 (поз. 10в), який здійснює плавне регулювання обертів електродвигуна приводу пресу. Ручне управління здійснюють за допомогою блоку БРУ-10 (поз. 10б).

13 ВИЗНАЧЕННЯ ДИСПЕРСНОГО СКЛАДУ ПОРОШКІВ

Визначення дисперсного складу порошків проводять методом електронної скануючої мікроскопії або седиментаційним аналізом.

Електронна скануюча мікроскопія заснована на взаємодії електронного пучка із аналізований зразком. В результаті взаємодії генеруються низькоенергетичні вторинні електрони, які збираються детектором вторинних електронів. Інтенсивність електричного сигналу детектора залежить як від природи зразка (в меншій мірі), так і від топографії (більшою мірою) зразка в області взаємодії. Таким чином можливо отримати карту рельєфу проаналізованої зони. З метою визначення розміру частинок, що складають досліджуваній порошок, на отриманому зображенні зразка знаходять контури частинок. Їх розмір визначають з урахуванням коефіцієнту посилення мікроскопу.

Сучасний РЕМ дозволяє працювати в широкому діапазоні збільшення: від 3-10 крат, що еквівалентно збільшенню сильної ручної лінзи, до 1000000 крат, що приблизно в 500 разів перевищує межу збільшення кращих оптичних мікроскопів.

Електронна скануюча мікроскопія забезпечує аналіз тільки незначної відібраної проби і не дає повної інформації про розмір частинок у всьому об'ємі порошку. При цьому значна інструментальна похибка вимірювань діаметрів частинок. Наприклад, для растрового електронного мікроскопу РЕМ-106 похибка вимірювання лінійних розмірів в інтервалі 200-800 нм становить ± 40 нм.

Седиментаційний аналіз в гравітаційному полі засновано на залежності швидкості осадження частинок дисперсної фази від їх розміру під дією сили тяжіння. Даний метод легко реалізується і дає інформацію про дисперсність частинок у всій суспензії, дозволяє провести об'єктивні дослідження.

Описаний метод дисперсного аналізу застосовується для суспензій, емульсій, порошків з розмірами частинок 10^{-5} ... 10^{-2} см. При високій швидкості осідання частинок більшого розміру розвивається турбулентний режим, а якщо сила тяжіння перевищує силу внутрішнього тертя, рух стає рівноприскорений. Непридатність методу до дуже малих частинок обумовлена

участю їх в молекулярно-кінетичному русі і, як наслідок, появою дифузійного потоку. На русі таких часток сильно позначаються конвекційні теплові потоки.

Процес седиментації частинок описується формулою Стокса при наступних умовах:

а) нестисненість середовища і його нескінченна протяжність;

б) нескінченно мала швидкість руху середовища на поверхні частинки;

в) частки мають ідеальну сферичну форму;

г) відсутність взаємного впливу часток одна на одну.

Швидкість осідання V сферичних частинок визначається формулою:

$$V = \frac{2}{9} \cdot \frac{\rho_r - \rho_s}{\mu_s} \cdot g \cdot r^2, \quad (13.1)$$

де r – радіус частинок, μ_s – динамічна в'язкість середовища, ρ_s – густина середовища, ρ_r – густина частинок, g – прискорення вільного падіння.

Крива седиментації частинок монодисперсної системи являє собою пряму лінію, що виходить з початку координат. Тангенс кута нахилу кривої характеризує швидкість накопичення осаду.

Залежність (13.1) адекватно описує седиментацію частинок при низькій об'ємній концентрації дисперсної фази, однак вимагає використання високочутливих приладів для визначення швидкості або часу осідання частинок. Крім того, у зв'язку з малим корисним сигналом виникають значні похибки аналізу, які викликані конвекційними потоками, броунівським рухом або іншими факторами. Типову седиментаційну криву для частинок, що складаються із двох монодисперсних фракцій (бідисперсна система), наведено на рис. 13.1.

Крива седиментації OABC є суперпозицією кривих седиментації OE і OD окремих фракцій 1 і 2. Вона являє собою ламану лінію, що складається з трьох ділянок. Ділянка OA відповідає спільному осадженню обох фракцій зі швидкістю $dm/dt = \tan \angle AOA' = k$, що дорівнює сумі швидкостей осадження

фракцій 1 і 2: $k=k_1+k_2=\text{tg}\angle A'OE+\text{tg}\angle B'OD$. До моменту часу $t_1=H/u_1$ більш велика фракція повністю осідає. Її маса m_{01} відповідає відрізку $A'E$. У той же час, загальна маса частинок, що осіли до моменту часу t_1 , складає $m_1=AA'$. Різниця $m_1-m_{01}=AE$ припадає на частки фракції 2.

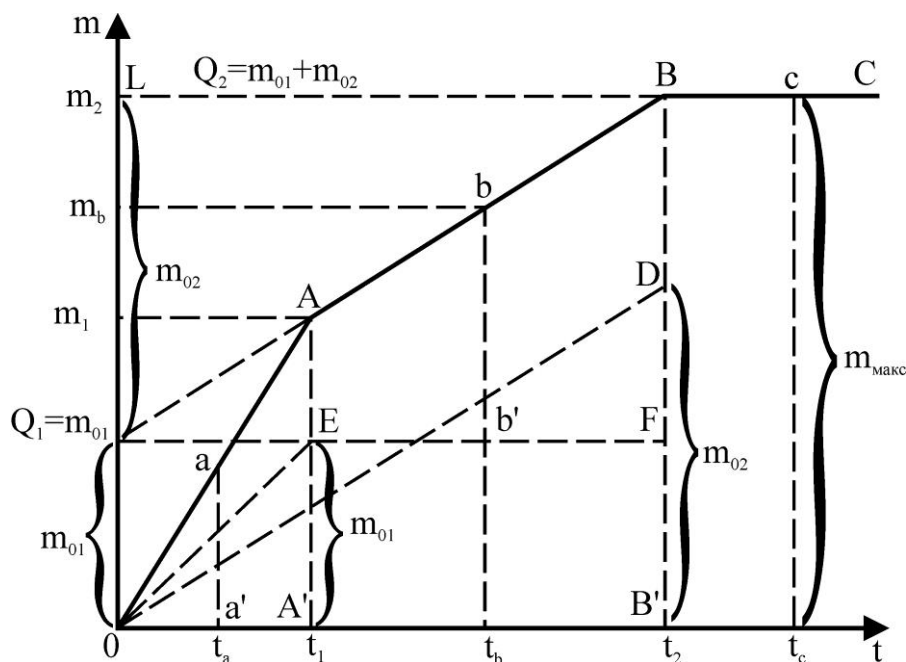


Рис. 13.1 – Крива седиментації бідисперсної системи

Ділянка AB відповідає осадженню частинок тільки другої фракції. Всі частинки цієї фракції з масою m_{02} , яка відповідає відрізку $B'D$, осядуть на момент часу $t_2=H/u_2$. При $t>t_2$ маса частинок, які осіли, не змінюється, що характеризується горизонтальною ділянкою BC . Сумарна маса частинок, які осіли до часу t_2 , являє собою масу всіх частинок системи: $m_2=m_{01}+m_{02}=m_{\text{макс}}$ і характеризується відрізком BB' . Якщо продовжити ділянки AB і BC до перетину з віссю ординат (точки G і L), то з рівності трикутників $OB'D$ і BLG випливає, що $GL=B'D=m_{02}$, $OG=OL-GL=m_2-m_{02}=m_{01}$. Таким чином, продовження ділянки AB відсікає на осі ординат відрізок, що відповідає масі фракції 1, а відрізок, що відсікається продовженнями ділянок AB і BC , відповідає масі частинок другої фракції.

Розміри частинок цих фракцій можливо розрахувати за часом їх повного осадження t_1 і t_2 , якщо відома висота стовпа

суспензії Н. Оскільки лінійна швидкість осадження $u=H/t$, то радіус частинок

$$r = \sqrt{KH/t}, \quad (13.2)$$

де $K=9\eta/2g(\rho-\rho_0)$ – стала, що залежить від властивостей частинок і дисперсного середовища.

Перш ніж перейти до більш складної полідисперсної системи, введемо деяку функцію Q , що позначає масу частинок у фракціях, які випали без остачі (відсутні у всьому стовпі суспензії Н) до моменту часу t .

Тоді при $t=t_1$ $Q_1=m_{01}$; при $t=t_2$ $Q_2=m_0+m_{02}$. Для довільних проміжних точок t_a, t_b, t_c : $Q_a=0$, $Q_b=m_{01}$, $Q_c=m_{01}+m_{02}$. При цьому маса частинок, які осіли на момент часу t_b

$$m_b = m_{01} + bb' = Q_b + Gb'tg\angle BGF = Q_b + t_b \left(\frac{dm}{dt} \right)_b. \quad (13.3)$$

В полідисперсній системі частинки різних радіусів осідають одночасно, але з різними швидкостями. Криву седиментації такої системи наведено на рис. 13.2. Якщо припустити незалежність осадження частинок, можна застосувати до полідисперсної системи ті ж міркування, що і до бідисперсної. При цьому як прямолінійні ділянки можна розглядати нескінченно малі відрізки дотичних, які проведено до кривої седиментації в тій чи іншій точці. Загальна кількість порошку, що осів до довільного моменту часу t_1

$$m_1 = Q_1 + \left(\frac{dm}{dt} \right)_{t_1} t_1. \quad (13.4)$$

Величина Q_1 визначається відрізком, що відсікається на осі ординат продовженням дотичної до кривої в точці t_1 , і характеризує масу частинок у фракціях, що випали без остачі на момент часу t_1 . Оскільки радіус частинок, що пройшли за час t_1 всю висоту суспензії, $r_1 = \sqrt{KH/t_1}$, то Q_1 – це маса частинок

системи з $r \geq r_1$. Вираз $(dm/dt)_{t_1} t_1$ характеризує масу частинок з $r < r_1$, що осіли на момент t_1 .

Аналогічно, Q_2 є кількість порошку з $r \geq r_2 = \sqrt{KH/t_2}$ і т. д.

Як правило, визначають відносну масу порошку, що осів, в % від загального вмісту дисперсної фази в системі. В цьому випадку $m_{\text{макс}}=100\%$, а величини $Q_1, Q_2, Q_3, \dots$ являють собою процентний вміст фракцій з радіусами відповідно $r < r_1, r < r_2, r < r_3$.

Підвищення концентрації суспензії, що аналізується, призводить до зменшення відстані між частинками дисперсної фази. В результаті стає істотним вплив частинок одна на одну безпосередньо або через середовище. При цьому ускладнюються залежності, що зв'язують швидкість осідання частинок з їх розмірами.

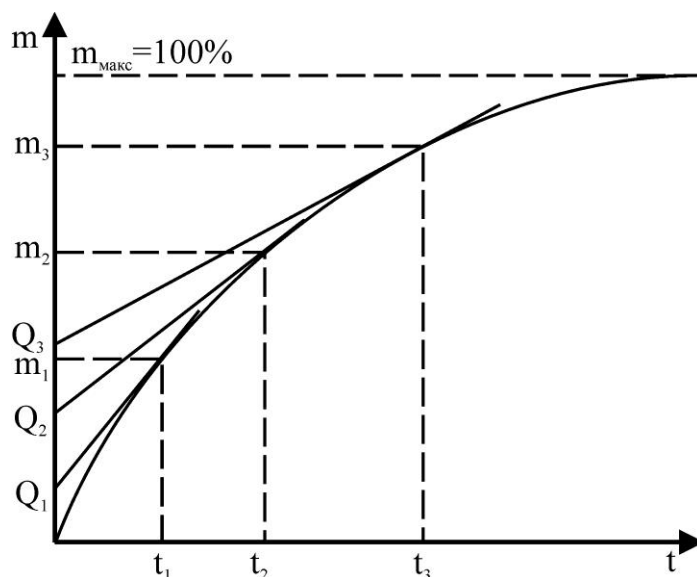


Рис. 13.2 – Крива седиментації полідисперсної системи

Підвищення концентрації твердої фази в суспензії викликає підвищення густини і в'язкості всієї дисперсної системи. При значних об'ємних концентраціях твердої фази (більш 0,05) починає позначатися витіснення дисперсного середовища частинками, що осідають. Залежність (13.2) враховує протитечію дисперсного середовища, що викликана його витісненням.

$$V = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho_r - \rho_p) \cdot g \cdot r^2}{\mu_p} \cdot (1 - \nu)^{4,8}, \quad (13.5)$$

де ν – об'ємна концентрація суспензії, ρ_p – густина дисперсного середовища, μ_p – динамічна в'язкість дисперсного середовища.

Залежність (13.5) дозволяє проводити аналіз більш концентрованих суспензій і зменшити їх об'єм. Це призводить до зменшення рівня аналізованої рідини і, як наслідок, до скорочення тривалості седиментаційного аналізу.

Седиментаційний контроль дисперсного складу суспензій може бути реалізовано седиментацією частинок в гравітаційному або відцентровому полях. При використанні відцентрових полів технічно складно реалізувати багаторазові вимірювання.

Для одержання кривої седиментації в гравітаційному полі використовують різні методи. Завдяки простоті реалізації привабливим є піпеточний метод. Однак метод характеризується високою трудомісткістю, яка пов'язана з відбором проб суспензії з певної висоти через рівні проміжки часу, і малою точністю. Це не дозволяє його використання в виробничих масштабах. Низька точність також властива методам вимірювання, які засновано на визначенні тиску стовпа суспензії.

Перспективним виглядає седиментаційний аналіз частинок віброчастотним методом. Застосування лабораторного вібраційного густиноміра ВІП-2МР забезпечує непряме вимірювання ваги частинок в суспензії з похибкою не більше ± 60 мг. Седиментаційний аналіз, що реалізовано ваговим методом із застосуванням торсіонних ваг ВТ-500, забезпечує похибку ± 1 мг. Технічна характеристика ВТ-500: максимальне навантаження 500 мг, мінімальне навантаження 10 мг, ціна поділки шкали 1 мг, абсолютна похибка на будь-якому відрізку шкали – не більше ± 1 мг.

Чутливим елементом пружинних ваг є спіральна плоска або циліндрична пружина, що деформується під дією ваги тіла. Покази ваг відраховуються за шкалою, уздовж якої переміщується покажчик, який сполучено з пружиною.

В крутильних (торсіонних) вагах (рис. 13.3) чутливим елементом є пружна нитка або спіральна пружина. Навантаження визначається за кутом закручування нитки, який пропорційний крутильному моменту, що створюється навантаженням.

Схему установки для визначення швидкості седиментації за накопиченням осаду з використанням торсіонних ваг наведено на рис. 13.4.

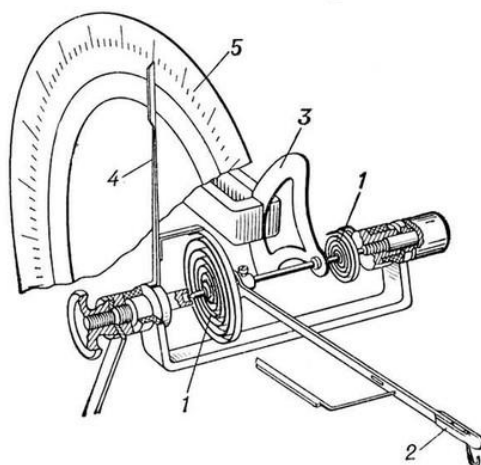


Рис. 13.3 – Схема торсіонних ваг ВТ-500:

1 – спіральна пружина; 2 – важіль для розміщення вантажу; 3 – магнітний заспокоювач; 4 – стрілка; 5 – шкала

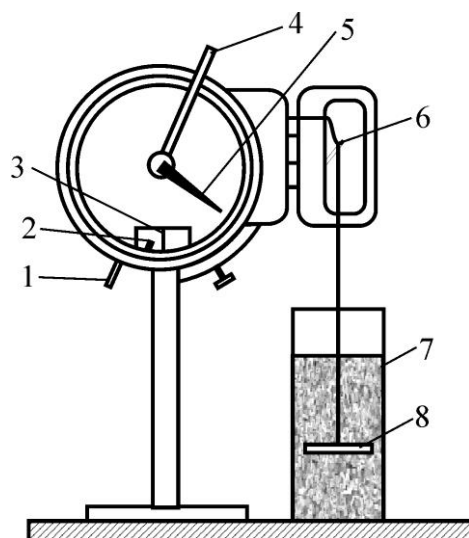


Рис. 13.4 – Схема установки з торсіонними вагами для седиментаційного аналізу:

1 – аретир; 2 – стрілка вагів; 3 – риска; 4 – важіль для урівноваження; 5 – стрілка циферблату; 6 – гачок для чаші; 7 – скляний циліндр; 8 – чашка

Коромисло торсіонних ваг закінчується гачком 6, на який підвішено чашку 8. При опущеному аретирі 1 і навантаженому гачку стрілка 2 на шкалі відхиляється від риски 3 вліво. Поворотом важеля 4 стрілку 2 змушують пересуватися вправо до тих пір, поки вона не зупиниться навпроти риски 3. Навантаження в міліграмах визначається за показанням стрілки 5. Для більш точного спостереження обидві стрілки виконано у вигляді рамки. Око спостерігача повинно розташовуватись таким чином, щоб частини контуру рамки зливалися в одну лінію, а при врівноваженні ваг зливалися з рискою на шкалі.

Установка для седиментації містить також скляний циліндр 7, в якому ведуть седиментацію, і чашку з легкого матеріалу 8. Чашка підвішена на тонкому скляному стрижні. Чашка розміщується в циліндрі з рідиною і закріплюється на гачку коромисла. При цьому відстань від дна циліндра до дна чашки повинна складати 1,5-2 см, від дна чашки до поверхні рідини в циліндрі – 10-12 см, від поверхні рідини до країв циліндра – 4-5 см.

14 ЗАПОВНЕННЯ СПЕЦИФІКАЦІЇ НА ПРИЛАДИ І ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Після завершення етапу вибору приладів і засобів автоматизації необхідно оформити заявку на придбання необхідного устаткування кожної конкретної моделі у необхідній кількості.

Документ, що формує заявку на закупівлю приладів носить назву *специфікації на засоби автоматизації*. Цей документ безпосередньо пов'язаний із функціональною схемою автоматизації.

Специфікацію устаткування, виробів і матеріалів складають за формою 1 ГОСТ 21.110-95. Записи виконують шрифтом у відповідності із ГОСТ 2.303-68, кут нахилу 75, розмір шрифту №7 товщина 0,7-1 мм.

14.1 Специфікація містить наступні графи:

Позиція. Позиційні позначення засобів автоматизації у функціональній схемі зберігають в специфікації без зміни. Допускаються наступні види запису позиційних позначень:

- довільний перелік (поз. 1а, 8б, 23д);
- спрощений запис (поз. 1а...3а).

Найменування і технічна характеристика. У цій графі наводять:

- повне найменування приладу;
- для термоелектричних перетворювачів вказують статичну характеристику;
- межі вимірювання приладу;
- для перетворювачів вказують діапазони зміни вхідних і вихідних сигналів;
- клас точності приладу (відповідно до вимог точності контролю параметра);
- особливості монтажу і кріплення приладу.

Якщо засобу автоматизації потрібне *додаткове джерело живлення*, вказують:

- вид енергії живлення;
- тип блоку живлення;

– одиниці вимірювання і числове значення енергії живлення.

Якщо обрана модель приладу призначена для контролю різних середовищ, вказують конкретне середовище для якого буде використано прилад.

У разі, якщо прилад має в складі декілька компонентів, які вказано окремими позиціями на функціональній схемі, для кожної позиції наводять:

- найменування складової частини;
- додаткові характеристики компонента.

Відбірні пристрої, допоміжні прилади в специфікації не вказуються.

При додаткових вимогах до умов експлуатації вказують:

- кліматичне виконання:
- тропічне;
- субтропічне;
- пило-, водозахищене;
- морське;
- нормальне.

При роботі в агресивних середовищах, при підвищених температурах вказують:

- матеріал захисної арматури;
- довжину її монтажної частини;
- конструктивне виконання арматури.

Для роботи на пожежо- і вибухонебезпечних виробництвах вказують спеціальні види виконань приладів:

- іскробезпечне;
- вибухозахищене;
- категорію вибухонебезпеки;
- виконання для атомних електростанцій.

Тип, марка устаткування. Позначення документу.

Вказують назву, марку, позначення приладу за каталогом, вид нормативних документів (стандарт, технічні умови), відповідно до яких випускається прилад.

Код устаткування, виробу, матеріалу. Вказують:

- код заводу-виробника або фірми;
- код технологічної одиниці за класифікатором продукції.

Найменування заводу виробника устаткування. Для імпортного устаткування вказують країну, фірму.

Одиниця вимірювання. В цій графі для приладів і устаткування вказують їх кількість в шт. Масу матеріалів (наприклад, мастила або фарби) в кг. При замовленні труб, кабелів, вказують їх довжину в м.

Кількість. Вказують необхідну кількість одиниць устаткування, виробів, матеріалів.

Маса одиниці в кілограмах. Для важкого устаткування допускається вказувати масу в тоннах. Для устаткування масою до 25 кг, що не вимагає при монтажі застосування підйомно-транспортних засобів, графу не заповнюють.

Додаткові відомості. Вказують умови постачання або виготовлення: "виготовити за спеціальним замовленням" і т.п.

14.2 Порядок оформлення специфікації. При заповненні специфікації прилади і засоби автоматизації об'єднують в параметричні групи за функціональними ознаками:

- датчики:
 - температури;
 - тиску, розрідження;
 - витрат;
 - кількості і рівня;
 - складу, якості речовин і т.д.;
- перетворювачі;
- електроустаткування;
- виконавчі механізми;
- засоби мікропроцесорної та обчислювальної техніки.

Найменування групи відділяють від подальшого викладення інформації. Інформацію допускається записувати в спрощеній формі:

Приклад: *Санфир22-ДД-2460-Ех*. Перетворювач типу "САПФИР". Прилад призначено для вимірювання різниці двох тисків (ДД). Модель 2460 має верхню межу вимірювання 16 МПа, клас точності 0,5%, Ех, вибухозахищене виконання.

Замовну специфікацію на засоби автоматизації виконують на листі паперу формату А3 із заповненням вищенаведених граф.

У нижній частині документа розміщують штамп. Велика рамка 185x55 мм на першому листі, 15x55 мм на інших листах. Номер специфікації наводять відповідно до прийнятої нумерації.

Приклад: *ТМ 19. 009. 00. 00. ЗС*. Розшифровка позначення:

- *ТМ* - найменування групи, в якій вчиться студент ("Технологія машинобудування");
- *19. 009.* - рік виконання проекту (2019 р.) і обліковий номер дипломного проекту (009).
- дві цифрові позиції, які студент не формує.
- *ЗС* - замовна специфікація (відповідно до ГОСТ 21.404-85).

У графах штампу вказують:

- повне найменування системи з повною вказівкою типу документа, наприклад: «*АСКТП печі випалення вапняку. Замовна специфікація*»;
- прізвище виконавця;
- прізвище перевіряючого;
- повне найменування організації, наприклад: «*УДХТУ, група 5ТМ-8*».

Приклад заповнення замовної специфікації на прилади і засоби автоматизації (графи 1-3).
Позиційні позначення наведено відповідно до рис. 2.5.

По- зи- ція	Найменування і технічна характеристика	Тип, марка устаткування. Позначення документа.
	<i>Датчики</i>	
2а	Термоперетворювач опору. Діапазон вимірювання $(-50 \div +180)^{\circ}\text{C}$. Градуювання: 50М. Межа припустимої основної похибки 0,25% від верхньої межі виміру. Матеріал захисної арматури: 12Х18Н10Т. Довжина монтажною частини : 160 мм. ВАТ "Теплоприбор", м. Челябінськ.	ТСМ 0196-13-160 мм, 50М ТУ 311-00226253.035-93
3а	Датчик надлишкового тиску. Верхня межа вимірювання 4,0 МПа. Межа припустимої основної похибки 0,5%. Вихідний сигнал: 4-20 мА. ПГ "Метран", м. Челябінськ.	Метран-150-ДИ- 1171 - 002-МП- t10 -050-4,0 МПа- 42-М20-ІІР-ТУ4212- 009-12580824-2002
4а, 4б	Витратомір змінного перепаду тисків, діафрагма 405Р. Надлишковий тиск в трубопроводі до 10 МПа. Ду-100. Основна відносна похибка вимірювання витрати до $\pm 0,7\%$. Вихідний сигнал: 4-20 мА/HART. Напруга живлення 10,5.42,4 В. ПГ "Метран", м. Челябінськ.	Rosemount 3051SFCР Rosemount 405Р.
	<i>Електроустаткування</i>	
7г	Пускач безконтактний реверсивний. Живлення змінним струмом 220 В, частотою 50 Гц. ВАТ "Зем", м. Чебоксари.	ПБР-3А ТУ 25.02.120760-78

5г	Блок ручного дистанційного керування. Вихідний аналоговий сигнал 4-20 мА. Комутаційна здатність груп перемикальних реле: постійний струм від 0,08 до 0,25 А при напрузі від 6 до 34 В; змінний струм від 0,1 до 0,25 А при напрузі від 12 до 220 В. Електроживлення від мережі змінного струму 220 В, 50 Гц. "Мікрол", м. Івано-Франківськ.	БРУ- 10 ПРМК.422419.001
	Виконавчі механізми	
6д	Механізм електровиконавчий однооборотний з номінальним значенням моменту на вихідному валу 250 Н·м, з номінальним часом повного ходу 63 с з номінальним значенням повного ходу 0,25 об., із струмовим блоком сигналізації положення вихідного валу. Рік розробки 1999. Номінальна напруга живлення 220 В. Частота 50 Гц. Кліматичне виконання "Т" категорія розміщення 2. ВАТ "Зем", м. Чебоксари.	МЭО-250/63-0.25У-99 ТУ 311-49.007-91
	Засоби обчислювальної техніки	
	Мікроконтролер Р-130ІСа, напруга живлення 220 В, 50 Гц.	Р-130ІСа
	Блок контролера БК-1М.	
	Блоки живлення БП-1, БП-4 (напруга 24 В).	
	Блок підсилювачів сигналів термометрів опорів БУС-10.	
	Блок підсилювача потужності дискретних сигналів БУМ-10.	
	Блок перемикання резерву БПР-10.	
	Модулі УРО МАС-1 (аналогових сигналів), МСД-5 (сигналів дискретних).	
	ВАТ "Зем", м. Чебоксари.	

ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог продукции ЧЕБОКСАРЫЭЛЕКТРОПРИВОД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cher.nt-rt.ru>.
2. Номенклатурный каталог продукции ОАО «ЗЭиМ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zeim.ru>.
3. Номенклатурный каталог ОА НПО «ТЕПЛОАВТОМАТ» Харьков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.teploautomat/com
4. SAMSON AG MESS- UND REGELTECHNIK Frankfurt am Main [Электронный ресурс]. – Режим доступа www.samson.de
5. Каталог фирмы Danfoss [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.heating.danfoss.ru
6. Сайт фирмы Darkont [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://darkont.nt-rt.ru>
7. Сайт фирмы Reflex [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.reflex.de
8. ТУ 6627.00.00.00. Преобразователи измерительные ИПХ и ИПГ для счетчиков холодной и горячей воды.
9. Каталог фирмы Ifm. Electronic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ifm.com
10. Каталог фирмы ДС Контролз [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dscontrols.ru/>
11. Каталог фирмы ООО «КРОНЕ-Автоматика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.krohne.ru
12. Каталог фирмы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.td-rashodomer.ru
13. Каталог фирмы VEGA Grieshaber KG Германия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.vega.com
14. ТУ 4214-056-00225555-2001 Датчики уровня буйковые цифровые.
15. Seetru Limited Albion Dockside Works Bristol. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.seetru.co.uk
16. Каталог для проектных организаций фирмы Старорусприбор (корпорация Сплав) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.staroruspribor.ru

17. Фирма Овен каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen.ua/>
18. Каталог фирмы Альбатрос [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.albatros.nt-rt.ru единый адрес ats@nt-rt.ru
19. Каталог ООО «ТД «Автоматика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.td-automatika.ru info@td-automatika.ru
20. Сайт фитмы «Вибробит» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.vibrobit.nt-rt.ru
21. Сайт ООО «СТА групп» официальный представитель ifm electronic на территории Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.stl-grupp.com
22. НПП «Спецэлектрохимавтоматика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.selha.ru
23. Сайт ООО Renishaw [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.renishaw.ru/>.
24. Сайт ООО HEIDENHAIN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.heidenhain.ru
25. Сайт НПО Спектр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.spectr.org
26. Сайт ООО «ТД «Технекон»), [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tehnekon.ru/>
27. Сайт Сенсорлинк-Логистика - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.sensorlink.ru
28. Сайт ООО «ЗИК» сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.sick.ru
29. Сайт JAPAN MACHINERY COMPANY [Электронный ресурс]. – Режим доступа: overseas@jmc.asia
30. Сайт фирмі «Турбоконтроль» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: turbo@turbo.com.ua,
31. Сайт Micro-epsilon messtechnik GmbH & CO.KG [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.micro-epsilon.com.
32. Сайт ЗАО «Сенсор Системс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: info@sensor-systems.ru.
33. «MTS Systems Corporation» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mts.com/en/index.htm> США *потенциометрический датчик перемещений*.
34. Каталог фирмы Burster [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.burster.nt-rt.ru

35. Сайт ООО HEIDENHAIN Moscow, Russia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.heidenhain.ru
36. ТУ У 312-32436145-002:2008 «Измерители линейного и углового перемещения ИК- 1 –ТК».
37. Сайт ООО «СТЛ групп» – официальный представитель ifm electronic на территории Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.stl-grupp.com
38. Сайт ООО «Завод измерительных приборов «Юримов» Краснодар Россия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.yurimov.com
39. Научно-производственное предприятие "ДанаТерм" щитовой микропроцессорный измеритель весового состава 2521w паспорт руководство по эксплуатации нкгв02.021.00.10пс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://danatherm.ru/>
40. Сайт фирмы Piovan plasticstechnologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.piovan.com
41. Сайт фирмы АВС-МК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.avs-mk.ru
42. Весоизмерители фирмы Scaime [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.prosoft.ru
43. Контроллер весодозирующий «КВ – 001» Инструкция по эксплуатации ОАО ЦКБ «Дейтон» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.interel.ru
44. Фирма Ifm electronic www.ifm.com
45. Фирма Pepperl+Fuchs, датчики безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.prosoft.ru>
46. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии [Текст]: під ред. Ю.Г. Фролова і А.С. Гродского. – М: «Химия», 1986. – 216 с.

Навчальне видання

Клименко Олександр Павлович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро

Каюн Ігор Георгійович, асистент кафедри метрології та контролю якості програмних засобів ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро

Шейкус Антон Романович, канд. техн. наук, асистент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро

КОНТРОЛЬ І УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Навчальний посібник

Авторська редакція
Технічний редактор
Комп'ютерна верстка

О.П. Клименко
О.Л. Свердліковська
О.Л. Свердліковська

Підписано до друку 15.08.2019. Формат 60×84 1/16. Папір ксерокс.

Умов. друк. арк. 8,2. Тираж 300 прим. Зам. №72.

Друк різнограф. Гарнітура Bookman Old Style.

Редакційно-видавничий відділ ДВНЗ УДХТУ,
просп. Гагаріна 8, м. Дніпро, 49005

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5026 від 16.12.2015 р.