

**УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

Дерев'янко О.А., Бондаренко С.М., Антошкін О.А.,  
Мурін М.М.

**АВТОМАТИКА ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ  
ВИБУХАМ ТА ПОЖЕЖАМ**

Посібник

**Харків 2024**

УДК 614.8  
ББК 38.96 + 32.965 + 31.32  
А 22

Схвалено для використання  
у навчально-виховному процесі  
Протокол від р. №  
засідання методичної ради

**Рецензенти:** Єременко С.А. – заступник начальника Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту з навчальної роботи, доктор технічних наук, професор;

Олійник В.В. – начальник кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій факультету пожежної безпеки Національного університету цивільного захисту, кандидат технічних наук, доцент.

**Укладачі:** Дерев'янка О.А., Бондаренко С.М., Антошкін О.А., Мурін М.М.

**А 22**

**Автоматика** для запобігання вибухам і пожежам. Посібник./ Дерев'янка О.А. та інш. – Харків: НУЦЗУ, 2024. – 332 с.

Посібник “Автоматика для запобігання вибухам та пожежам” містить загальні відомості про системи автоматичного спостереження, історію їх розвитку. В ньому узагальнено основні відомості про конструкцію, принципи роботи, технічні характеристики сучасних засобів вимірювання параметрів технологічних процесів та навколишнього середовища, які складають зміст освітніх компонент «Автоматичний контроль та прилади вимірювання параметрів навколишнього середовища», «Контроль та керування хіміко-технологічними процесами», модулю «Засоби автоматики для попередження надзвичайних ситуацій» освітньої компоненти «Автоматика раннього виявлення надзвичайних ситуацій».

Посібник призначений для здобувачів вищої освіти навчальних закладів системи ДСНС України, та може бути використаний практичними працівниками підрозділів ДСНС і фахівцями проектних установ для з'ясування основних теоретичних і практичних положень.

## ЗМІСТ

Вступ .....	5
Розділ 1. Автоматичні системи захисту від пожеж і вибухів та їх місце в концепції автоматизованої системи пожежовибухонебезпечності об'єкта .....	8
1.1 Призначення й узагальнена структура автоматизованої системи пожежовибухонебезпечності об'єкта .....	8
1.2 Автоматизована система запобігання передпожежних і вибухонебезпечних режимів .....	13
1.3 Автоматизована система пожежовибухозахисту .....	23
1.3.1 Автоматизована система пожежогасіння .....	24
1.3.2 Автоматизована система вибухозахисту .....	31
1.3.3 Автоматизована система пожежної сигналізації ...	34
1.3.4 Автоматизована система протидимного захисту...	39
1.3.5 Автоматизована система оповіщення й евакуації людей .....	44
1.3.6 Локальні автоматизовані системи протипожежного захисту .....	46
Розділ 2. Датчики первинної інформації про стан технологічних параметрів .....	61
2.1 Способи та пристрої для виміру температури .....	62
2.1.1 Історія розвитку термометрії .....	62
2.1.2 Засоби виміру температури .....	75
2.2 Принципи вимірювання тиску, прилади для вимірювання тиску .....	150
2.2.1 Поняття тиск, одиниці виміру тиску .....	150
2.2.2 Прилади вимірювання тиску .....	151
2.3 Принципи вимірювання рівня, прилади для виміру рівня .....	177
2.3.1 Загальні відомості про рівень .....	177

2.3.2 Датчики для контролю рівня речовин .....	177
2.4 Принципи вимірювання витрат, прилади для виміру витрат .....	199
2.4.1 Загальні відомості про витрати .....	199
2.4.2 Прилади для вимірювання витрат .....	200
2.5 Принципи та прилади для аналізу складу речовин ....	206
2.5.1 Загальні відомості про аналіз складу речовин .....	206
Розділ 3. Електронні прилади контролю технологічних параметрів .....	254
3.1 Електронний автоматичний урівноважений міст .....	254
3.2 Електронний автоматичний потенціометр .....	261
3.3 Багатоточечні мости і потенціометри	266
3.4 Електронні диференційно-трансформаторні прилади	269
Розділ 4. Автоматичні системи вибухозахисту	272
4.1 Загальні відомості про системи вибухозахисту	272
4.2 Вибухореєструюча апаратура	274
4.3 Рекомендації з проектування та монтажу АСПВ	293
Розділ 5. Організація і порядок проведення контролю за станом засобів вимірів	297
5.1 Види робіт з проведення контролю за станом засобів вимірів	297
5.2 Організація і порядок проведення повірки	300
Розділ 6. Похибки вимірювань	304
6.1 Загальні відомості про похибки вимірювань	304
6.2 Метрологічні характеристики вимірювального перетворювача	308
6.3 Приклади визначення числових значень похибок	311
Розділ 7. Функціональні схеми автоматики (ФСА)	315
7.1 Загальні відомості про ФСА	315
7.2 Правила умовних позначень на ФСА	317
Перелік скорочень	329
Література	332

## ВСТУП

Щорічно в Україні відбувається більше 60 тисяч пожеж, на яких гине понад 1,3-1,4 тисяч людей. В основі багатьох причин пожеж і вибухів лежить недооцінка їх небезпеки (високої ймовірності виникнення і важких наслідків), недостатня увага питанню контролю параметрів технологічних, хіміко-технологічних параметрів, показників навколишнього середовища, що тягне за собою недостатню увагу до проблеми забезпечення пожежовибухобезпечності з боку урядових і виборних органів, конструкторів, будівельників, керівників та власників підприємств.

Забезпечення прийнятних рівнів пожежовибухобезпечності високоризикових об'єктів вимагає проведення цілого комплексу заходів, у тому числі:

- модернізації і заміни застарілого виробничого технологічного устаткування, яке не має високої надійності;
- поліпшення оснащення об'єктів технічними засобами пожежовибухобезпечності, підвищення їхньої якості, широке впровадження автоматики;
- підвищення відповідальності конструкторів, будівельників і персоналу об'єктів за дотримання вимог пожежовибухобезпечності;
- підвищення професійного рівня працівників служб ДСНС;
- поліпшення наглядово-профілактичної діяльності в системі пожежовибухобезпечності міст, регіонів і об'єктів.

У цьому комплексі заходів особливо слід виділити необхідність підвищення рівня автоматизації, якості інформатизації та управління, з метою їх ув'язання в єдину систему і забезпечення погодженого функціонування, раціонального використання ресурсів, інтенсифікації й оптимізації діяльності всієї системи пожежовибухобезпечності, її функціональної інтеграції з іншими системами і службами безпеки.

Основні причини великих пожеж, об'ємних вибухів та

їх важких наслідків за своїм характером можна розподілити на дві групи: техногенного характеру (недостатньо висока надійність і періодичні відмови технологічного виробничого устаткування, що призводять до вибухів і пожеж; недостатньо висока надійність і функціональна ефективність систем і засобів пожежовибухобезпечності) та антропогенного характеру (так званий "людський фактор" - порушення вимог пожежовибухобезпечності; прагнення заощаджувати на засобах пожежовибухобезпечності; техногенний тероризм).

Прискипливий аналіз кожної з цих причин показує, що жодна з них ні в даний час, ані в доступному для огляду майбутньому не може бути виключена цілком. І тут хотілося б звернути увагу на наступні моменти.

Незважаючи на постійний розвиток пожежної науки й удосконалення засобів пожежовибухобезпечності, навряд чи вдасться технічно цілком нейтралізувати всю загрозу вибухів і пожеж, особливо несанкціоновані (як помилкові, так і навмисні) небезпечні дії людей. Говорячи про техногенний тероризм, що є по суті елементом збройної боротьби, необхідно пам'ятати про її багатовіковий досвід, відповідно до якого розвиток засобів нападу (у тому числі терору) завжди випереджає розвиток засобів захисту. Надійність складного виробничого устаткування і технічних засобів пожежовибухобезпечності ніколи не може бути абсолютною, тому будуть продовжуватися відмови устаткування, що призводять до вибухів і пожеж, і відмови засобів пожежовибухобезпечності.

Відповідно до вимог стандартів України необхідний рівень забезпечення пожежної безпеки людей за допомогою систем пожежної безпеки (пожежовибухобезпечності) повинен бути не менше 0,999999 запобігання впливу небезпечних факторів пожежі (НФП), що перевищують гранично припустимі значення у рік у розрахунку на кожную людину, а припустимий рівень пожежної небезпеки для людей повинен бути не більше  $10^{-6}$ . Тоді, відповідно до

теорії ймовірностей, по суті допускається вплив небезпечних факторів пожеж, що перевищують гранично припустимі значення, на одну людину з 1 млн. жителів України протягом року. Отже, на близько 43 млн. жителів України припадає всього 43 особи, що, згідно ДСТУ, у гіршому випадку можуть постраждати від пожеж за один рік. Однак у 2023 році при пожежах в Україні загинули 1 472 людини [1], що більш ніж на порядок (!) перевищує припустимий рівень пожежної небезпеки для людей.

Відсутність конкретних вимог з економічної ефективності систем пожежної безпеки (пожежовибухобезпечності) породжує недовіру до всього комплексу вимог із забезпечення пожежовибухобезпечності об'єктів, багато в чому волюнтаристичний підхід і майже повне свавілля проєктувальників і керівництва підприємств при вирішенні питання щодо оснащення об'єктів конкретними засобами пожежовибухобезпечності. При цьому найчастіше обмежуються мінімальними витратами на окремі засоби, особливо на засоби запобігання пожеж і вибухів, які вимагають найбільших капітальних вкладень, прагнучи до явної економії на них, що призводить до виникнення пожеж і вибухів і матеріальних утрат, що набагато перевищують вартість зазначених засобів, не говорячи вже про невідшкодовні людські втрати, каліцтва, захворювання.

Переоцінити роль автоматичних систем, які можуть допомогти у попередженні чи мінімізації втрат від пожеж і вибухів, у край складно.

# **РОЗДІЛ 1. АВТОМАТИЧНІ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ВІД ПОЖЕЖ І ВИБУХІВ ТА ЇХ МІСЦЕ В КОНЦЕПЦІІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПОЖЕЖОВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ОБ'ЄКТА**

## **1.1 Призначення й узагальнена структура автоматизованої системи пожежовибухобезпечності об'єкта**

Система пожежовибухобезпечності (СПВБ) високоризикового об'єкта, узагальнена структура якої наведена на рис. 1.1, являє собою складну сукупність взаємопов'язаних заходів, сил і засобів, у якій ключову роль відіграє автоматизація, яка дозволяє підвищити ефективність захисту людей і матеріальних цінностей від загрози пожеж і вибухів.

Поняття "автоматизація" на даний час має двоякий зміст. Це поняття виникло після створення автоматики, що керує процесами без особистої участі людини, і задовго до появи електронної обчислювальної техніки, означаючи впровадження автоматичних пристроїв і систем.

Поява, стрімкий розвиток і широке впровадження в практику електронної цифрової обчислювальної техніки в останні десятиліття дозволило, з одного боку, істотно розширити можливості створення і сферу застосування автоматичних пристроїв і систем, підвищити їх ефективність і, з іншого боку, створити зовсім новий вид технічних систем - автоматизовані системи (так звані людино-машинні, людино-комп'ютерні системи), які вирішують різного роду завдання в режимі діалогу людини з комп'ютером, при якому остаточні рішення приймає людина - ОПР (особа, яка приймає рішення).

З появою автоматизованих систем (АС) поняття "автоматизація" втратило свій початковий зміст і означає впровадження не тільки автоматичних пристроїв і систем, але й автоматизованих систем. Тому, говорячи про



автоматизацію будь-якого процесу, пристрою, системи, слід конкретизувати, про впровадження чого йдеться: автоматики або людино-машинних систем.

### Система вибухопожежобезпеки об'єкта (СВПБ)

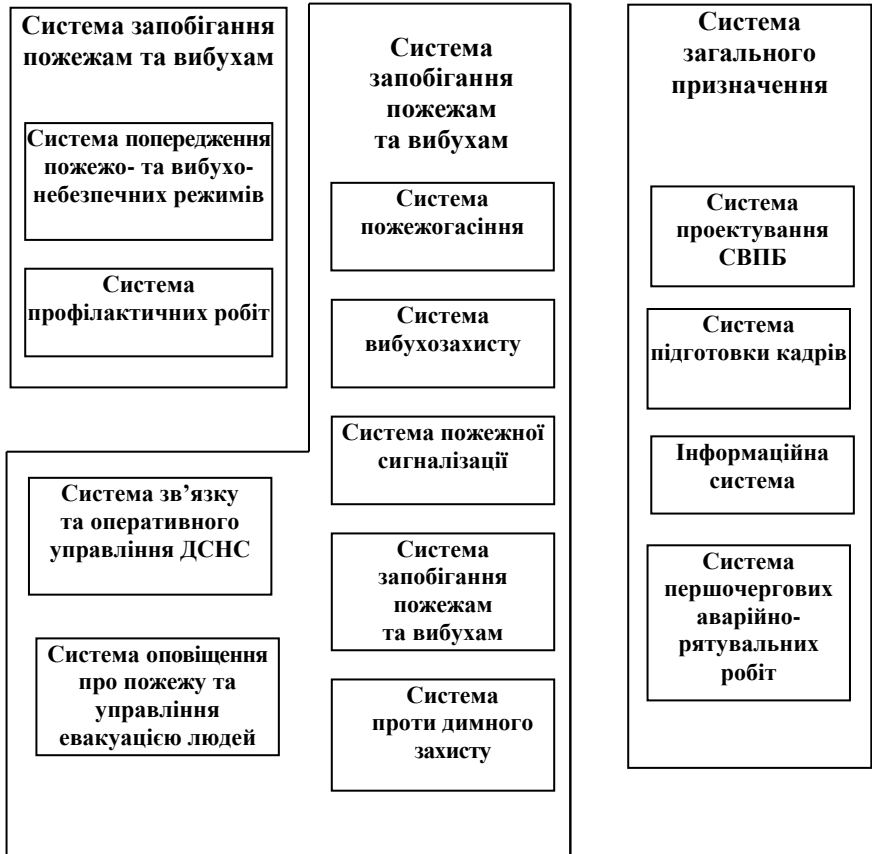


Рис. 1.1 – Узагальнена структура СВПБ високоризикового об'єкта

Автоматизація систем пожежовибухобезпечності складних високоризикових об'єктів здійснюється за двома

напрямами:

– впровадження автоматичних засобів пожежовибухозахисту, які функціонують без утручання людини за заздальгідь заданими програмами (пожежних сповіщувачів, установок пожежогасіння, систем локалізації і придушення вибухів, систем протидимного захисту та ін.);

– впровадження автоматизованих систем, які вирішують великий комплекс управлінських, інформаційних, проектувальних, адміністративно-господарських, кадрових та інших завдань.

Автоматизована система пожежовибухобезпечності (АСПВБ) входить до складу системи пожежовибухобезпечності СПВБ об'єкта як його інформаційно-управлінська частина, що забезпечує автоматизоване виконання функцій СПВБ, ув'язування окремих елементів, що забезпечують пожежовибухобезпечність об'єкта, у єдину систему, їх необхідну функціональну взаємодію, функціональну інтеграцію. Образно говорячи, АСПВБ є мозком і нервами системи пожежовибухобезпечності, її інтелектуальним ядром.

Розглядаючи систему пожежовибухобезпечності складного багатофункціонального об'єкта в цілому, важко знайти таку її окрему функціональну систему нижчого рівня, яка не потребувала б впровадження людино-комп'ютерних, автоматизованих систем і засобів.

Сукупність всіх автоматизованих систем і засобів СПВБ об'єкта, власне кажучи, являє собою єдину взаємопов'язану автоматизовану інформаційно-управлінську систему.

Однак тут необхідно мати на увазі, що в окремих функціональних системах СПВБ (пожежогасіння, протидимного захисту та ін.) автоматизовані функції настільки тісно переплітаються і сполучаються з автоматичними функціями, а ті самі комп'ютери можуть використовуватися для вирішення завдань як в

автоматизованих, так і в автоматичних режимах, що провести чітку, однозначну межу між автоматизованими й автоматичними частинами цих функціональних систем не є можливим.

Автоматизована система пожежовибухобезпечності складається з функціональних автоматизованих систем нижчого рівня, які є інформаційно-управлінськими частинами відповідних функціональних систем СПВБ і систем забезпечення, названих також видами забезпечення.

Функціональними автоматизованими системами нижчого рівня АСПВБ є:

- автоматизована система запобігання пожежам і вибухам (АСЗПВ);
- автоматизована система пожежовибухозахисту (АСПВЗ);
- автоматизована система загального призначення (АСЗП).

АС запобігання пожежам і вибухам призначена для автоматизованого управління профілактичними протипожежними і противибуховими роботами, автоматизованого вирішення завдань з запобігання передпожежних і вибухонебезпечних режимів. АСЗПВ включає у свій склад автоматизовану систему запобігання передпожежних і вибухонебезпечних режимів (АСППВР) і автоматизовану систему управління профілактичними роботами (АСУПР).

АС запобігання передпожежним і вибухонебезпечним режимам призначена для автоматизованого збору й обробки інформації про протипожежний і противибуховий стан об'єкта, виникнення аварійних передпожежних і вибухонебезпечних ситуацій і управління пристроями ліквідації цих ситуацій.

АСУ профілактичними роботами призначена для автоматизованого управління профілактичними протипожежними і противибуховими заходами, інформаційного забезпечення інспекції Держпожнагляду і

формування бази даних для проведення експертизи проектів будівель, споруд, технологічного устаткування й експертизи пожеж і вибухів.

АС пожежовибухозахисту призначена для автоматизованого й автоматичного виконання функцій з гасіння пожеж, вибухозахисту, димовидалення, оповіщення й евакуації людей з палаючих будинків. АСПВЗ включає до свого складу автоматизовані системи пожежогасіння (АСПГ), вибухозахисту (АСВЗ), пожежної сигналізації (АСПС), протидимного захисту (АСПДЗ), оповіщення про пожежу та управління евакуацією (АСОПУЕ), зв'язку й оперативного управління пожежної охорони (АСЗОУПО).

АС пожежогасіння призначена для автоматизованого й автоматичного виконання функцій з управління стаціонарними і рухливими установками пожежогасіння, вибору методу гасіння (одночасне гасіння по всій поверхні або по всьому об'єму приміщення, локальне поверхнєве чи об'ємне, комбіноване), вибору вогнегасної речовини (вода, аерозоль, піна, газ, порошок, пара та ін.).

АС вибухозахисту призначена для автоматизованого й автоматичного виконання функцій з локалізації і придушення вибухів у технологічній апаратурі і виробничих приміщеннях на початковій стадії їх виникнення.

АС пожежної сигналізації призначена для автоматизованого й автоматичного виконання функцій з виявлення пожеж на ранній стадії їх розвитку, контролю процесів гасіння пожеж і передачі необхідної інформації підрозділам пожежної охорони, персоналу об'єкта, АСУТП та іншим системам АСПВБ.

АС протидимного захисту призначена для автоматизованого й автоматичного виконання функцій із забезпечення незадимлення і видалення диму при задимленні приміщень з перебуванням людей і евакуаційних шляхів у будинках.

АС оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей призначена для автоматизованого й автоматичного

виконання функцій з оповіщення людей про пожежу на об'єкті, вибору оптимальних шляхів їх евакуації, управління рухом людей по евакуаційних шляхах, контролю наявності людей в охоплених пожежею і пожежонебезпечних приміщеннях.

АС зв'язку й оперативного управління пожежної охорони призначена для автоматизованого виконання функцій із забезпечення зв'язку в системі пожежовибухобезпечності об'єкта, оперативного управління підрозділами пожежної охорони, а також інформаційного забезпечення керівника гасіння пожежі.

АС загального призначення призначена для автоматизованого вирішення завдань в інтересах усієї системи пожежовибухобезпечності об'єкта. АСЗП складається із системи автоматизованого проектування (САПР) СПВБ, автоматизованої системи підготовки кадрів (АСПК), автоматизованої інформаційної системи пожежовибухобезпечності (АІСПВБ) і автоматизованої системи управління першочерговими аварійно-рятувальними роботами [5].

## **1.2 Автоматизована система запобігання передпожежних і вибухонебезпечних режимів**

Відоме положення про те, що пожежам і вибухам легше і дешевше запобігти, ніж ліквідувати їх наслідки, ще не стало керівництвом до дії, у результаті чого основні сили і засоби суспільства і держави, що витрачаються на забезпечення пожежовибухобезпечності, як і раніше націлені на гасіння пожеж і вибухозахист. У зв'язку з цим проблему підвищення ефективності запобігання пожежам і вибухам слід вважати першорядною проблемою у всій державній системі пожежовибухобезпечності.

Запобігання пожежам і вибухам на об'єкті повинно досягатися:

– запобіганням утворенню вибухонебезпечного газо-, паро- і пилоповітряного середовища;

- запобіганням утворенню пального середовища;
- запобіганням утворенню у вибухонебезпечному і пальному середовищах (чи внесення в них) джерел запалювання.

АСЗПВ є інформаційно-управлінською частиною системи запобігання пожежам і вибухам і призначена для автоматизованого вирішення завдань з запобігання передпожежних і вибухонебезпечних режимів, автоматизованого управління профілактичними протипожежними і противибуховими роботами.

До складу АСЗПВ входять:

- автоматизована система запобігання передпожежних і вибухонебезпечних режимів (АСППВР);
- автоматизована система управління профілактичними роботами (АСУПР).

АСППВР є інформаційно-управлінською частиною системи запобігання передпожежних і вибухонебезпечних режимів і призначена для автоматизованого збору й обробки інформації про протипожежний і противибуховий стани об'єкта, виникнення аварійних передпожежних і вибухонебезпечних ситуацій і управління пристроями ліквідації цих ситуацій.

АСППВР входить до складу АСПВБ як автономна однорівнева підсистема, реалізована на єдиних з нею програмно-технічних засобах.

АСППВР виконує інформаційні, керуючі і допоміжні функції.

До інформаційних функцій АСППВР належать наступні:

- збір і обробка інформації, необхідної для аналізу стану пожежовибухобезпечності технологічного устаткування об'єкта;
- ресстрація відхилень від нормальної роботи технологічного устаткування;

– прогнозування можливих наслідків відхилень у роботі технологічного устаткування, а також наслідків виникнення вибухів і пожеж;

– надання інформації про порушення технологічного процесу, що створюють небезпеку вибухів і пожеж, прогнозів з розвитку передпожежних і вибухонебезпечних ситуацій;

– надання інформації про працездатність підсистеми і рекомендацій з ліквідації передпожежних і вибухонебезпечних режимів (про вихід з ладу датчиків, обриви ліній зв'язку тощо).

До керуючих функцій АСППВР належать:

– управління технічними пристроями сигналізації про передпожежні і вибухонебезпечні режими і пристроями ліквідації аварійних режимів;

– передача інформації в АСУТП для відпрацювання необхідних змін у технологічному процесі функціонування об'єкта, з метою недопущення пожеж і вибухів;

– формування команд для приведення устаткування системи пожежовибухозахисту в стан підвищеної готовності і превентивного введення в дію пристроїв цієї системи, якщо передпожежна чи вибухонебезпечна ситуація не розв'ється в реальну пожежу або вибух (перекриття вентиляційних каналів приміщення, включення засувки водяних і парових завіс,

дистанційне наведення пожежних стволів на місце найімовірнішого виникнення пожежі, зміна алгоритмів обробки інформації в системі пожежної сигналізації, з метою підвищення імовірності виявлення передпожежних і вибухонебезпечних режимів тощо);

– передача команд на відключення окремих датчиків і переключення напрямків на резервні для проведення регламентних робіт.

До допоміжних функцій АСППВР належать:

– діагностика комплексу технічних засобів АСППВР і з'ясування причин, що викликали зміни станів цих засобів;

- автоматична реконфігурація АСППВР при виникненні несправностей;
- систематизація видів несправностей в АСППВР і методів їх усунення.

**Структурні елементи АСППВР.** Засоби контролю АСППВР повинні бути автономні та відділені від технологічного устаткування об'єкта.

Система оснащується засобами діагностики і самоконтролю.

Електроживлення в АСППВР організується таким чином, щоб забезпечити контроль діючих технологічних процесів при повному знеструмленні об'єкта.

Система виконує усі функції і завдання (інформаційні, керуючі і допоміжні), реалізуючи їх у різних режимах – інформаційно-радному, комбінованому і прямому управлінні.

Обсяг завдань, розв'язуваних в АСППВР, обґрунтовується техніко-економічними розрахунками на стадії розробки технічного завдання і визначається з урахуванням:

- досягнутого рівня досконалості і надійності технічних засобів автоматизації;
- підготовленості до автоматизації технологічного устаткування;
- ускладнення процесу управління технологічним устаткуванням і збільшення внаслідок цього імовірності помилок оперативного персоналу при управлінні;
- підвищення вимог із забезпечення пожежовибухобезпечності;
- підвищення енергонапруженості елементів конструкцій технологічного устаткування, підвищення швидкості протікання технологічних процесів, підвищення вимог до точності підтримки параметрів у всіх режимах;
- обмеженості часу для прийняття рішень з ліквідації аварійних ситуацій на об'єкті, що призводять до пожеж і вибухів.



При визначенні ступеня автоматизації одночасно вирішується задача мінімізації об'єму технічних засобів за рахунок скорочення кількості датчиків, дискретних сигналів, що вводяться в систему, а також ретельного аналізу кількості застосовуваних технічних засобів ліквідації аварійних ситуацій і програм логічного управління.

АСППВР повинна бути працездатною в умовах реально наявних на об'єкті електричних і електромагнітних полів.

Оперативному персоналу об'єкта і диспетчеру ПРЧ інформація передається в структурованому текстовому чи графічному вигляді.

**Технічне забезпечення АСППВР.** КТЗ АСППВР повинен задовольняти загальним вимогам, викладеним у відповідних ДСТ, а також наступним вимогам:

- КТЗ АСППВР повинен бути достатнім для реалізації всіх заданих функцій;

- вхідні пристрої захищаються від коротких замикань, високих напруг та інших небезпечних факторів;

- у системі фіксуються і повідомляються персоналу будь-які порушення в роботі технічних засобів, а самі порушення не повинні приводити до видачі помилкових команд;

- характеристики використовуваних технічних засобів АСППВР забезпечують взаємозамінність однойменних пристроїв;

- структура і характеристики технічних засобів АСППВР забезпечують можливість модернізації і розвитку системи;

- технічні засоби АСППВР повинні бути пожежостійкими і стійкими до зовнішніх впливів;

- окінцеві пристрої зв'язку з об'єктом (ПЗО), за можливістю, установлюють безпосередньо біля технологічного устаткування;

- ПЗО виконують наступні основні функції: прийом і передачу інформації з загальних ліній зв'язку; збір і

попередню обробку інформації; аналого-цифрове перетворення; узгодження керуючих впливів із силовою частиною схем, ліквідації аварійних ситуацій, що призводять до пожеж і вибухів;

– кількість входів для кожного ПЗО повинно бути оптимізовано відповідно до вимог наближення окінцевих ПЗО до джерел інформації.

**Функціональні підсистеми АСППВР.** За функціональним призначенням АСППВР поділяються на інформаційні та керуючі системи.

*Призначення інформаційної підсистеми й основні вимоги до неї.* Інформаційна підсистема АСППВР призначена для збору, обробки, збереження і надання інформації оперативному персоналу об'єкта й об'єктовій пожежній частини про стан технологічного устаткування, контроль параметрів, що характеризують протипожежний і противибуховий стан об'єкта.

Інформаційна підсистема виконує наступні функції:

– збір інформації про стан технологічного устаткування об'єкта, контроль його параметрів;

– збір інформації про стан технічних засобів АСППВР, її аналого-цифрове перетворення, перевірку вірогідності, захист від перешкод і математичну обробку;

– аналіз часових змін параметрів для контролю стану пожежовибухобезпечності технологічного устаткування;

– накопичення і збереження інформації для її подальшого використання;

– автоматичну або автоматизовану діагностику функціонування КТЗ АСППВР;

– захист інформації від перекручувань при різних несанкціонованих впливах на підсистему, включаючи зникнення і відновлення живлення;

– формування сигналів про відхилення параметрів технологічного устаткування від уставок;

– забезпечення циклічності збору інформації з можливістю зміни часу циклу у певних інтервалах, величина яких залежить від режиму роботи підсистеми;

– підготовка та обробка інформації для надання оперативному персоналу АСУТП і диспетчеру ПРЧ, їх оповіщення про виникаючі передпожежні і вибухонебезпечні ситуації.

Оперативному персоналу АСУТП і диспетчеру (в підрозділ МНС) інформація передається в наступних основних формах:

– візуальна інформація на дисплеях, приладах узагальненої мнемосхеми й інформаційних табло;

– документована інформація;

– санкціоноване редагування відеограм.

Про відхилення контрольованих параметрів від уставок оперативному персоналу АСУТП передаються звукові сигнали і візуальна інформація (на табло, блінкерах, дисплеях тощо). При цьому кожен сигнал, що надходить (або повідомлення), повинен відрізнятися від сигналів, що раніше були квитовані (на які були отримані підтвердження про прийом квитанції). Тривалість сигналу визначається часом усунення причини відхилення параметра або часом до квитовання сигналу оператором. Групова сигналізація оперативному персоналу АСУТП і диспетчеру ПРЧ здійснюється таким способом, щоб забезпечити швидкий пошук місця виникнення аварійної ситуації, що призводить до пожежі чи вибуху.

До технічних засобів інформаційної підсистеми належать всі первинні перетворювачі АСУТП, нормуючі перетворювачі, розподільники сигналів, обчислювальні пристрої і пристрої розподілу, збереження і передачі інформації, а також лінії зв'язку.

Інформація від первинних перетворювачів надходить переважно у вигляді уніфікованих сигналів.

Для підвищення надійності і вірогідності одержуваної і використовуваної інформації у складі інформаційної

підсистеми АСППВР передбачаються засоби апаратної чи програмної діагностики. До її складу також входять пристрої живлення електроенергією первинних перетворювачів. До складу цієї підсистеми входять імітатори сигналів і перевірочні пристрої, що дозволяють проводити, не порушуючи функціонування підсистеми, тестові перевірки працездатності окремих пристроїв і каналів виміру й обробки інформації.

Реєстрація аналогових і дискретних параметрів в інформаційній підсистемі АСППВР здійснюється в системі єдиного часу з дозвільною спроможністю, що задається, відповідно до наступних технічних умов:

- для ініціативних сигналів – 10 мс;
- для команд дистанційного управління, сигналів ліквідації аварійної ситуації, уставок аварійної сигналізації – 150 мс;
- для сигналів положення виконавчих механізмів, уставок попереджувальної сигналізації – 0,5 с;
- для аналогових параметрів з циклом опитування – 2-10 с.

**Керуюча підсистема АСППВР.** Керуюча підсистема призначена для спільного з АСУТП автоматизованого управління технологічними системами і пристроями в аварійних передпожежних і вибухонебезпечних ситуаціях.

Керуюча підсистема виконує наступні основні функції:

- автоматичне управління устаткуванням для реалізації команд ліквідації аварійної ситуації, що призводить до пожежі чи вибуху:
- інформування оператора підсистеми і персоналу АСУТП про несправності технічних засобів;
- автодіагностика;
- контроль та інформування оператора підсистеми про несправності технічних засобів підсистеми:
- автоматизований вибір програми дій з ліквідації аварійних передпожежних і вибухонебезпечних режимів;
- контроль за виконанням програм управління;

- формування сигналів пристроям превентивного захисту від пожеж і вибухів;
- реалізація пріоритетів при одночасному виникненні різних команд управління;
- дешифрування команд у випадку застосування вибіркового управління;
- формування сигналів про стан пристроїв з ліквідації аварійних передпожежних і вибухонебезпечних режимів;
- реалізація автоматичного включення резервних механізмів у випадку відмовлення основного устаткування.

При автоматичному управлінні передбачається можливість виконання як усієї програми, так і її частини, заданої оператором АСУТП і диспетчером ПРЧ.

У випадку втрати живлення і його наступного відновлення помилкові команди управління не видаються.

У підсистемі передбачаються апаратні і програмні засоби, що забезпечують адаптацію характеристик окремих контурів регулювання до властивостей технологічного устаткування об'єкта, що змінюються.

У підсистемі передбачаються засоби зв'язку з оперативним персоналом (оператором АСУТП, диспетчером ПРЧ).

Для контурів, що працюють у режимі очікування (черговому режимі), проробляються умови включення в активну роботу і забезпечення безпоштовхового включення.

Окремі контури регулювання функціонують у різних режимах і, за необхідності, забезпечують різні закони регулювання в цих режимах.

У системі передбачається можливість здійснення блокувань, що забезпечують відключення автоматичних впливів на кожний регулюючий пристрій як у бік "більше", так і у бік "менше", а також примусове переміщення регулюючого пристрою до заданого значення або до крайнього положення. Крім того, передбачається можливість дистанційного управління і контролю положення кожного регулюючого пристрою.

Передбачається контроль положення кожного регулюючого пристрою, індикація завдання і регульованої величини, можливість переключення роду робіт типу "автомат-дистанційне управління" і, за необхідності, виконуються

наступні функції: індикація неузгодженості, обмеження вихідного сигналу, сигналізація перевищення заданого значення, уведення завдання від індивідуального задатчика, видача інформації про величину вхідних сигналів окремих ланок контуру управління.

Команди автоматичного управління і регулювання можуть перериватися оператором АСУТП і диспетчером ПРЧ шляхом включення відповідних програм. Тривалість дії команд дистанційного управління повинна бути достатньою для завершення операції ліквідації передпожежної чи вибухонебезпечної ситуації. У схемах управління пристроями ліквідації аварійних ситуацій передбачаються: необхідний захист від коротких замикань, перевантажень, мінімальної напруги й інших небезпечних факторів, а також постійний контроль наявності живильної напруги.

Пристрої ліквідації аварійних передпожежних і вибухонебезпечних режимів автоматично виконують операції управління технологічним устаткуванням об'єкта з метою виключення його ушкодження, захисту персоналу і запобігання розвитку аварії. Спрацьовування цих пристроїв супроводжується виданням оперативному персоналу АСУТП і диспетчеру ПРЧ інформації про першопричини, що викликали їх спрацьовування.

За необхідності передбачається можливість ручного приведення в дію пристроїв ліквідації аварійних передпожежних і вибухонебезпечних режимів. При цьому ушкодження в ланцюзі автоматичного впливу не повинно перешкоджати ручному впливу і здійсненню захисних функцій. Для приведення захисту в дію вручну повинно бути достатнім включення єдиного пристрою.

У підсистемі передбачається можливість

санкціонованого контролю і коректування уставок. Підсистема проектується таким чином, щоб будь-яке одичне відмовлення, що виникає при вихідній проектній події (у тому числі: відмовлення з загальної причини), не перешкоджало правильному функціонуванню системи в цілому і виконанню нею ліквідаційних функцій у повному обсязі.

### **1.3 Автоматизована система пожежовибухозахисту**

Пожежовибухозахист забезпечується застосуванням засобів пожежогасіння, пожежної сигналізації, локалізації і придушення вибухів, протидимного захисту, оповіщення й евакуації людей, їх захисту від небезпечних факторів пожеж і вибухів, створенням протипожежних перешкод, евакуаційних шляхів і виходів, поділом будинків на протипожежні секції за ознакою розходження застосовуваних засобів пожежогасіння, а також з метою обмеження поширення пожеж тощо.

У забезпеченні пожежовибухозахисту об'єкта важливу роль відіграє використання автоматики для виявлення і гасіння пожежі на ранній стадії її розвитку, для локалізації і придушення вибухів, для протидимного захисту і виконання ряду інших операцій.

Однак надійність пожежної автоматики на сьогодні залишає сподіватися кращого. Підвищення надійності пожежної автоматики вимагає не тільки резервування пристроїв, а й постійного автоматизованого контролю їх готовності до функціонування.

АСПВЗ є інформаційно-управлінською частиною системи пожежовибухозахисту і призначена для автоматизованого й автоматичного виконання функцій з гасіння пожеж, вибухозахисту, димовидалення, оповіщення й евакуації людей з палаючих будинків. АСПВЗ включає до свого складу функціональні автоматизовані системи (АС) нижчого рівня:

- пожежогасіння (АСПГ);
- вибухозахисту (АСВЗ);
- пожежної сигналізації (АСПС);
- протидимного захисту (АСПДЗ);
- оповіщення про пожежу та управління евакуацією (АСОПУЕ);
- зв'язку й оперативного управління пожежної охорони (АСЗОУПО).

В АСПВЗ призначаються три рівні пріоритету функціональних систем нижчого рівня.

Вищий пріоритет призначається системам, які забезпечують запобігання великим пожегам і вибухам.

Пріоритет першого рівня призначається підсистемам, призначеним для забезпечення безпеки персоналу об'єкта й особового складу пожежних підрозділів, що виконують бойову роботу з гасіння пожежі.

Пріоритет другого рівня призначається системам, що забезпечують пожежовибухозахист окремих будинків і споруд, вихід з ладу яких не супроводжується катастрофічними наслідками [5].

### **1.3.1 Автоматизована система пожежогасіння**

Якщо на об'єкті виникає пожежа, то його гасіння стає головним завданням пожежної охорони, оскільки полум'я, безпосередньо знищуючи все живе і палне, породжує й інші небезпечні фактори пожежі.

АСПГ є інформаційно-управлінською частиною системи пожежогасіння і призначена для автоматизованого й автоматичного виконання функцій з управління стаціонарними і рухливими установками пожежогасіння, вибору методу гасіння (одночасне гасіння по всій поверхні або по всьому об'єму приміщення, локальне поверхневе чи об'ємне, комбіноване), вибору вогнегасної речовини (вода, аерозоль, піна, газ, порошок, пара та ін.).

АСПГ входить до складу АСПВБ об'єкта як автономна



система, реалізована на єдиних з нею програмно-технічних засобах.

АСПГ є інформаційно-управлінською частиною системи пожежогасіння СПВБ об'єкта. СПГ має ієрархічну структуру з територіальним розосередженням технічних засобів і складається з наступних функціональних блоків:

- установки автоматичного пожежогасіння;
- установки автоматизованого пожежогасіння;
- роботизований пристрій пожежогасіння;
- ручні пристрої пожежогасіння;
- стаціонарні лафетні стволи;
- локальні пристрої пожежогасіння;
- ланцюги і шафи управління і контролю;
- ланцюги електроживлення установок пожежогасіння;
- система трубопроводів з випускними насадками (зрошувачами) для транспортування вогнегасної речовини і випуску його в об'єм, що захищається;
- системи збереження і подачі вогнегасної речовини;
- системи програмно-логічного управління установками пожежогасіння.

Автоматизована система пожежогасіння виконує інформаційні, управлінські та допоміжні функції.

До інформаційних функцій АСПГ належать наступні:

- збір і обробка інформації про функціонування вузлів і блоків системи пожежогасіння (СПГ);
- відображення, реєстрація і документування інформації про функціонування виконавчих механізмів СПГ;
- надання інформації персоналу об'єкта і диспетчеру ПРЧ про функціонування СПГ при гасінні пожежі;
- надання інформації персоналу об'єкта в режимі нормальної експлуатації і при виникненні позаштатних ситуацій у СПГ;
- реєстрація і документування інформації про наявність первинних засобів і спеціалізованих мобільних засобів пожежогасіння (роботизованих комплексів);

- видача необхідної інформації про стан СПГ за запитами для прогнозу й ухвалення рішення;
- інформаційне забезпечення персоналу за допомогою "програми-порадника";
- обмін інформацією з іншими автоматизованими системами, що входять до складу АСПВБ об'єкта;
- передача інформації в АСУТП, міські й інші об'єктові системи і служби безпеки (АСУ аварійно-рятувальними підрозділами міста; міський штаб ГОЧС; міська поліція; системи охорони об'єкта, обмеження доступу на об'єкт та ін.);
- надання необхідної інформації на запити керівника гасіння пожежі.

До управлінських функцій АСПГ належать наступні:

- формування команд управління виконавчими механізмами системи пожежогасіння;
- запуск окремих виконавчих механізмів і локальних пристроїв пожежогасіння у повітроводах;
- формування команд управління спеціальними пересувними установками пожежогасіння;
- формування команд управління роботизованими і локальними установками пожежогасіння.

До допоміжних функцій АСПГ належать наступні:

- діагностика КТЗ автоматичних установок пожежогасіння;
- діагностика КТЗ локальних пристроїв пожежогасіння;
- діагностика КТЗ роботизованих пристроїв пожежогасіння;
- діагностика КТЗ стаціонарно встановлюваних лафетних стволів;
- зміна програми управління виконавчими механізмами пожежогасіння.

**Основні вимоги до системи пожежогасіння.** Система пожежогасіння (СПГ) повинна функціонувати в усіх режимах роботи об'єкта, включаючи аварійні (аж до

максимальної розрахункової аварії).

СПГ повинна зберігати працездатність при максимальному розрахунковому землетрусі і після нього.

СПГ повинна бути оснащена елементами контролю спрацьовування виконавчих механізмів.

Спонукальна система (система пуску) реалізується, виходячи з необхідної швидкодії установок пожежогасіння. Для приміщень, що не є вибухонебезпечними, доцільно застосовувати систему електропуску з димовими сповіщувачами або сповіщувачами полум'я.

Вид вогнегасної речовини (вода, піна, газ, порошок та ін.) для конкретних приміщень і технологічного устаткування

об'єкта повинен бути обґрунтований технологіями розробника АСПВБ за узгодженням із замовником.

Проектні показники надійності розраховуються з урахуванням вимог пріоритету з резервування устаткування пожежогасіння. Забезпечується резервування всіх основних елементів СПГ. Вибір методу гасіння (локальний, об'ємний, комбінований) проводиться з урахуванням виду і характеристик технологічного устаткування, особливостей об'ємно-планувальних рішень приміщень, що захищаються, наявності і характеру поширення конвективних потоків та ін.

Для приміщень з наявністю шаф електронного устаткування передбачається подача вогнегасної речовини в об'єм приміщення, в об'єми всіх шаф і в кабельні підпілля. Шафи доцільно захищати за допомогою малогабаритних модульних автоматичних систем пожежогасіння (АСПГ), які розташовуються безпосередньо біля стінок шаф і забезпечують подачу вогнегасної речовини у дві суміжні шафи. Відкриті шафи доцільно захищати цими ж АСПГ з подачею вогнегасної речовини через перфорований трубопровід (по периметру шафи).

Тривалість випуску вогнегасної речовини доцільно визначати диференційовано залежно від призначення і

ступеня пожежної небезпеки приміщень, що захищаються, з контролем протікання процесу гасіння системою пожежної сигналізації.

Для випуску вогнегасної речовини в об'єм приміщення, що захищається, застосовуються двострумінні насадки, для локального захисту шаф електронного устаткування – чотирьохструмінні насадки.

Для установок газового пожежогасіння з електропуском передбачається автоматичне включення пускових пристроїв (запірно-пускових головок, розподільних пристроїв по напрямках, що захищаються). З метою виключення помилкових спрацьовувань установок газового пожежогасіння при стрибках напруги в ланцюзі живлення у схемі електропуску передбачається використання стабілізаторів напруги.

Функціонування системи пожежогасіння здійснюється автоматично за сигналами системи сигналізації й автоматизовано за командами персоналу об'єкта.

В АСПГ передбачається превентивне запровадження в дію виконавчих механізмів за прогнозами оперативної обстановки системою пожежної сигналізації.

Зниження числа помилкових спрацьовувань виконавчих механізмів досягається за рахунок стабілізації живильних напруг та підвищення перешкодозахищеності пристроїв управління.

Підвищення швидкодії виконавчих механізмів досягається за рахунок зниження оперативного часу обробки, передачі інформації і підвищення швидкодії механізмів.

Система пожежогасіння повинна зберігати часткову працездатність для забезпечення пожежогасіння устаткування, важливого для безпеки об'єкта, при повному її знеструмленні.

Система пожежогасіння повинна зберігати працездатність в аварійних режимах, аж до максимальної розрахункової аварії. Виконавчі механізми повинні зберігати

працездатність при максимальному розрахунковому землетрусі.

Засоби пожежогасіння та елементи їх включення забезпечуються датчиками сигналізації про їх спрацьовування.

Роботизовані пристрої пожежогасіння включають рухливі лафетні установки і рухливі роботи-розвідники, керовані як автономно, так і за командами оператора з пульта, що входить до складу цього пристрою.

Стаціонарно встановлені лафетні стволи працюють у двох режимах: самонаведення від датчиків, що включаються за

командами від системи сигналізації, які дозволяють задавати траєкторію руху ствола, і управління оператором.

Локальні пристрої пожежогасіння. Локальні пристрої пожежогасіння підрозділяються на:

- пристрої гасіння технологічного устаткування з вогнегасними речовинами – дрібнорозпилена вода, піна, порошок;

- пристрої гасіння герметизованих стійок і шаф електротехнічного й електронного устаткування з вогнегасними речовинами – інертний газ, суміші-інгібітори, порошок.

Способи подачі вогнегасної речовини при локальному гасінні визначаються на стадії технічного проектування з урахуванням технічних і технологічних особливостей, застосовуваних методів.

Локальні пристрої пожежогасіння включають шафи, що самогерметизуються і самоізольуються, за підвищення внутрішньої температури. Ці пристрої повинні функціонувати в режимах: автоматичному, автоматизованому, дистанційному і за місцем. В окремих випадках для управління локальними пристроями пожежогасіння повинні бути створені додаткові лінії зв'язку.

Локальні пристрої пожежогасіння систем вентиляції функціонують у двох режимах: в автономному (за

спрацьовуванням спеціальних датчиків) і автоматизованому (за командами оператора АСПГ і сигналами системи пожежної сигналізації).

Як вогнегасна речовина при локальному пожежогасінні у повітропроводах можуть бути використані пара, перегріта вода, інертний газ, піна. Способи подачі вогнегасної речовини при локальному пожежогасінні у повітропроводах визначаються на стадії технічного проектування СПВБ.

У локальних пристроях пожежогасіння у повітропроводах поряд з вогнегасною речовиною застосовуються керовані вогнестійкі заслінки. Спрацьовування цих заслінок повинно проводитися або автоматично за підвищення температури, або за командами оператора АСПГ і сигналами системи пожежної сигналізації.

Локальні пристрої пожежогасіння систем вентиляції мають у своєму складі засоби виявлення пожежі, обробки інформації, прийняття рішень і пожежогасіння. Управління заслінками проводиться контролерами, розташовуваними в приміщеннях з розвинутою мережею повітропроводів.

Установка автоматичних заслінок допускається тільки в тих місцях, де це не суперечить функціонуванню системи протидимного захисту.

Технічні засоби активного пожежогасіння створюються на базі установок газового, порошкового, водяного і пінного пожежогасіння. Вид вогнегасної речовини повинен бути обґрунтований технологами замовника відповідно до офіційних довідкових даних.

Група приміщень, що захищаються, за ступенем небезпеки розвитку пожежі визначається відповідно до нормативних документів.

Водяне пожежогасіння в кабельних приміщеннях (напівповерххах) здійснюється зрошувачами, що утворюють струмені з діаметром крапель не більше 100 мкм. Компонування і кількість зрошувачів повинні забезпечувати ефективний захист приміщення.

Локалізація пожежі в приміщеннях здійснюється застосуванням заслінок, а у повітропроводах вентиляційних систем – заслінок і клапанів.

Гасіння пожежі в кабельних коробах доцільно здійснювати слабоактивними чи інертними газами (азот, неон, аргон).

Для придушення осередку пожежі в силових трансформаторах доцільно використовувати імпульсні стаціонарні установки порошкового пожежогасіння з автоматичним, дистанційним і за місцем розташування приводів управління, а як додатковий захід використовувати сухотруби з установленими на них розпилювачами для підключення пересувної пожежної автотехніки.

Для придушення осередків пожеж у щитах управління і приміщеннях з електронною й електричною апаратурою доцільно використовувати модульні установки локального газового пожежогасіння.

Площа для визначення витрати води або розчину піноутворювача, що захищається одним зрошувачем, і відстань між зрошувачами повинні відповідати ДБН В.2.5-56-2014. Вимогам цього документа повинні задовольняти мінімальна витрата вогнегасної речовини, розрахункова тривалість роботи установок пожежогасіння, повинен бути відповідний запас вогнегасної речовини, водопостачання установок водяного і пінного пожежогасіння, вузли управління (клапани, електродвигачки і пристрої ручного пуску – дистанційні і за місцем розташування насосів), трубопроводи і запірні арматура [5].

### **1.3.2 Автоматизована система вибухозахисту**

Проведення профілактичних заходів щодо запобігання вибухам газо-, паро- і пилоповітряних сумішей (ці вибухи називають також "вибуховим горінням") не дозволяє цілком виключити небезпеку виникнення цих вибухів у технологічному устаткуванні і виробничих приміщеннях

(найчастіше унаслідок вибухів у технологічному обладнанні), що викликає необхідність застосування активних систем вибухозахисту (СВЗ). Такими СВЗ є системи локалізації і придушення вибухів, що базуються на швидкій реєстрації високочутливими датчиками осередків вибухового горіння в початковий момент їх виникнення, які не є небезпечними для людей і устаткування, що знаходяться усередині приміщень, де виникло вибухове горіння, і наступному впливі на ці осередки, з метою їх локалізації і придушення вибухів.

Локалізація вибухів у середині технологічних апаратів здійснюється шляхом їх примусової розгерметизації і скидання надлишкового тиску, відсікання полум'я в транспортних комунікаціях, а також блокування аварійних апаратів.

Придушення вибухового горіння у середині технологічних апаратів і в приміщеннях здійснюється високошвидкісним розпиленням вогнегасної речовини, яка заповнює весь об'єм апарата, що захищається, або приміщення і нейтралізує швидкопалаючу суміш.

Система вибухозахисту має ієрархічну структуру з територіальним розосередженням технічних засобів і складається з наступних функціональних блоків:

- пристрою розгерметизації, відсікання полум'я і блокування аварійного технологічного устаткування;
- пристрою придушення вибухів;
- системи сигналізації і контролю;
- системи трубопроводів з випускними насадками (розпилювачами) для транспортування вогнегасної речовини і випуску його в об'єм, що захищається;
- системи збереження і подачі вогнегасної речовини;
- системи управління пристроями локалізації і придушення вибухів.

АСВЗ є інформаційно-управлінською частиною системи вибухозахисту і призначена для автоматизованого й автоматичного управління комплексом технічних засобів



локалізації і придушення вибухів у технологічному устаткуванні і виробничих приміщеннях об'єкта.

АСВЗ виконує інформаційні, керуючі і допоміжні функції.

До інформаційних функцій АСВЗ належать наступні:

- збір і обробка інформації про роботу технічних засобів СВЗ;

- відображення, реєстрація і документування роботи виконавчих механізмів СВЗ;

- надання інформації персоналу об'єкта й оператору АСВЗ про функціонування технічних засобів локалізації і придушення вибухів;

- видача необхідної інформації про стан СВЗ за запитами;

- обмін інформацією з іншими автоматизованими системами, що входять до складу АСПВБ об'єкта;

- передача інформації в АСУТП, міські й інші об'єктові системи і служби безпеки;

- видача інформації персоналу об'єкта про спрацьовування пристроїв СВЗ.

До керуючих функцій АСВЗ належать формування команд управління виконавчими механізмами локалізації і придушення вибухів.

До допоміжних функцій АСВЗ належать наступні:

- діагностика комплексу технічних засобів локалізації і придушення вибухів;

- зміна керуючої програми функціонування виконавчих механізмів СВЗ.

**Основні вимоги до АСВЗ.** АСВЗ функціонує в усіх режимах роботи системи вибухозахисту, включаючи аварійні.

Локалізація і придушення вибухів здійснюються автоматично в межах заданого часу.

Технологічні виробничі установки, що містять у своєму складі засоби локалізації і придушення вибухів і

елементи їх включення, забезпечуються датчиками сигналізації про їх спрацьовування.

### **1.3.3 Автоматизована система пожежної сигналізації**

Раннє виявлення пожеж відіграє дуже важливу роль у системі пожежовибухобезпечності об'єктів, оскільки воно забезпечує своєчасне вживання заходів з їх ліквідації і дозволяє зменшити людські і матеріальні втрати від пожеж. Інформація систем пожежної сигналізації (СПС) використовується для управління засобами оповіщення, що дозволяє скоротити час евакуації з зони пожежі людей, не задіяних у гасінні пожежі, а також прискорити виклик підрозділів пожежної охорони. За інформацією СПС може бути зупинений технологічний виробничий процес, відключається вентиляція в аварійних приміщеннях, проводиться пуск автоматичних установок пожежогасіння, здійснюється функціонування системи протидимного захисту.

АСПС є інформаційно-управлінською частиною системи пожежної сигналізації і призначена для автоматизованого й автоматичного виконання функцій з виявлення пожеж на ранній стадії їхнього розвитку, контролю процесів гасіння пожеж і передачі необхідної інформації підрозділам пожежної охорони, персоналу об'єкта АСУТП та іншим системам АСПВБ.

АС пожежної сигналізації входить до складу АСПВБ як автономна система, реалізована на єдиних з нею програмно-технічних засобах.

АСПС виконує інформаційні, керуючі та допоміжні функції.

До інформаційних функцій АСПС належать наступні:

- збір і обробка інформації від первинних засобів пожежної сигналізації;
- реєстрація і документування інформації про час і

місце загоряння, команди управління, результати контролю і профілактичних робіт; позаштатні ситуації, що виникають у системі пожежної сигналізації;

- надання інформації про виявлення пожежі і динаміку її розвитку персоналу об'єкта, диспетчеру ПРЧ та інформування їх про хід ліквідації пожежі;

- надання інформації персоналу об'єкта у випадку виникнення позаштатних ситуацій у системі сигналізації (відмовлення датчиків, відсутність напруги живлення, обриви ліній зв'язку, несанкціоноване втручання в роботу системи тощо);

- надання узагальненої інформації персоналу об'єкта про працездатність системи сигналізації;

- обмін інформацією з АСУТП та іншими автоматизованими системами, що входять до складу АСПВЗ.

До керуючих функцій АСПС належать наступні:

- встановлення і коректування порогів спрацьовування пожежної сигналізації;

- передача команд на відключення окремих сповіщувачів і переключення напрямків сигналізації на резервні.

До допоміжних функцій АСПС належать наступні:

- діагностика КТЗ пожежної сигналізації;

- автоматична реконфігурація структури системи пожежної сигналізації при виникненні несправностей.

Система пожежної сигналізації (СПС) для сучасних об'єктів створюється на базі адресних інтелектуальних пожежних сповіщувачів. У системі використовуються автоматичні пожежні сповіщувачі, спеціалізовані засоби контролю з чутливими елементами, які реагують на різні фактори (випромінювання, дим, температура та ін.), ручні пожежні сповіщувачі та пристрої сигналізації, що спрацьовують при введенні в дію ручних засобів пожежогасіння (наприклад, при витягу вогнегасника з утримувача).

Система пожежної сигналізації має ієрархічну структуру з територіальним розосередженням технічних засобів і виділенням двох основних рівнів: блокового (окремих будівель і споруд) й об'єктового.

Система пожежної сигналізації проектується таким чином, щоб час з моменту виявлення сповіщувачем пожежі до моменту передачі повідомлення персоналу об'єкта не перевищував декількох секунд для блокового рівня і 10-15 секунд для об'єктового рівня. На кожному рівні передбачаються пости управління засобами пожежної сигналізації.

Засоби пожежної сигналізації повинні бути автономні і відділені від виробничого технологічного устаткування.

АСПС забезпечує персонал об'єкта і диспетчера ПРЧ необхідною інформацією для прийняття рішень з ліквідації пожежі і порятунку людей. Спосіб надання інформації вибирається на етапі технічного проектування системи пожежної сигналізації.

Зниження числа помилкових спрацьовувань досягається за рахунок перебудови діапазону чутливості інтелектуальних сповіщувачів пожежної сигналізації (ПС).

Підвищення вірогідності переданої інформації досягається оперативним контролем, виконуваним автоматично або за вимогою оператора.

Підвищення надійності пожежних сповіщувачів досягається їх комплексуванням, логічною обробкою інформації, що знімається з них, і контролем.

Датчики ПС функціонують на стандартній двопровідній або спеціалізованій лінії зв'язку.

СПС оснащується засобами діагностики і самоконтролю, включаючи чутливі елементи пожежних сповіщувачів.

АСПС забезпечує необхідною інформацією персонал об'єкта і диспетчера ПРЧ для прийняття рішень з ліквідації пожежі. Спосіб надання інформації обирається на етапі технічного проектування СПС (включаючи звукову,

світлову сигналізацію, текстову і графічну інформацію з точною вказівкою розташування осередку пожежі, вивід необхідної інформації на друкувальні пристрої).

Електроживлення в СПС організується таким чином, щоб система зберігала часткову працездатність при повному знеструмленні об'єкта для передачі персоналу об'єкта, диспетчеру ПРЧ та АС пожежогасіння інформацію про місце виникнення пожежі.

**Пожежні сповіщувачі.** Основна функція пожежного сповіщувача - формування сигналу про виявлення пожежі. Тип автоматичного пожежного сповіщувача, що відповідає якій-небудь ознаці пожежі (випромінювання, дим, температура та ін.), для конкретного приміщення обирається з урахуванням технологічних і об'ємно-планувальних рішень приміщення, що захищається, мікроклімату (робоча температура, вологість повітря, запиленість, освітленість та ін.) і наявності постійних індустриальних перешкод (електромагнітні наведення, радіація, вібрація тощо). Пожежні сповіщувачі забезпечують:

- передачу сигналу про пожежу й адресу приміщення (або частини приміщення), в якому виникла пожежа;

- зміну порогу спрацьовування датчика за командою з автоматизованого робочого місця, програмувального контролера або центрального обчислювального комплексу АСПВБ;

- можливість зборки датчиків у промені з розгалуженням і адресацією кожного датчика;

- працездатність із заданою чутливістю в приміщеннях з повітряними потоками, що мають швидкість руху повітря від 0 до 10 м/сек;

- чутливість датчиків, достатню для виявлення пожежі на ранній стадії, на якій можливо його придушення автоматичними засобами пожежогасіння.

Пожежні сповіщувачі не повинні спрацьовувати в умовах нормального протікання технологічних процесів на об'єкті за нормальної освітленості і проведення ремонтних

зварювальних робіт.

Пожежні сповіщувачі забезпечують раннє виявлення пожежі у середині закритих шаф з електронним устаткуванням і закритими кабельними прокладками (у коробах, лотках).

Питання про розміщення пожежних сповіщувачів у приміщеннях вирішується на етапі технічного проектування СПС.

Пожежні сповіщувачі повинні бути працездатними в режимі нормальної експлуатації, а також при виникненні аварій, аж до максимальної розрахункової.

До спеціалізованих засобів пожежної сигналізації належать наступні:

- пристрої, які мають підвищену стійкість до випромінювання, засобів дезактивації, перепадів температури, вологості і тиску, що мають високу чутливість до специфічних контрольованих параметрів (концентрація, спектральні характеристики полум'я, інфрачервоні промені, дугові розряди, звукові поля, іонізація, радіошуми тощо);

- пристрої, які формують і передають сигнали про контрольовані параметри з використанням ефекту пасивної ретрансляції акустичних хвиль;

- пристрої, які виявляють локальне нагрівання технологічного устаткування і підвищення температури середовища в протяжних спорудах з перемінним перетином (трубопроводах, кабельних каналах, шахтах тощо).

Неспеціалізовані пожежні сповіщувачі виконують наступні функції:

- виявлення загоряння за однією заданою ознакою (випромінювання, дим, температура та ін.) або за сукупністю ознак, формування і передача сигналу на пристрої аналізу й обробки інформації;

- формування і передача інформації про стан параметрів середовища за запитом;

- функціонування у двох режимах: черговому і контролю;

- передача інформації про перевищення граничних значень контрольованих параметрів;
- передача власної адреси;
- відновлення інформації з циклічністю подачі її на екрани операторів або з циклічністю, необхідною для прогнозування.

**Спеціалізовані засоби СПС.** Спеціалізовані засоби ПС повинні задовольняти вимогам до неспеціалізованих пожежних сповіщувачів і наступним додатковим вимогам:

- передавати інформацію про виникнення пожежі за локальними ознаками (локальний перегрів, дугові явища в електромережах, поява газів, що не є димами, тощо);
- передавати інформацію про відхилення параметрів контрольованого простору без активних джерел енергії (на основі систем акустичних резонаторів);
- забезпечувати формування і передачу сигналів; як за одиночними вимірами контрольованих параметрів (підвищення швидкодії і вірогідності), так і в інтегрованій формі (реалізація функції прогнозування);
- забезпечувати можливість зміни алгоритмів функціонування (бути перепрограмувальними) [5].

### **1.3.4 Автоматизована система протидимного захисту**

За даними американських фахівців, до 80% людей, що гинуть на пожежах, є жертвами отруєнь сильнодіючими отрутними продуктами, що містилися в димі, горіння і термічного розкладання різних речовин і матеріалів. Тому протидимний захист будинків з масовим перебуванням людей є обов'язковою умовою забезпечення пожежовибухобезпечності цих будівель.

Протидимний захист будинків досягається об'ємно-планувальними і конструктивними рішеннями, які забезпечують незадимлення приміщень, евакуаційних шляхів і будинків у цілому, а також видаленням диму при їх задимленні.

Розподіл будівель на протипожежні секції і відсіки, ізоляція пожежо- і вибухонебезпечних приміщень і шляхів евакуації людей від інших приміщень здійснюються на етапі будівництва будівель.

Протидимний захист експлуатованих будинків забезпечується створенням надлишкового тиску повітря в ліфтових шахтах, сходових клітках, тамбурах-шлюзах, відключенням вентиляції і видаленням диму на шляхах евакуації людей, у приміщеннях, що вимагають постійної присутності персоналу, у місцях проведення бойової роботи підрозділів пожежної охорони.

АСПДЗ є інформаційно-управлінською частиною системи протидимного захисту (СПДЗ) і призначена для автоматизованого й автоматичного виконання функцій з забезпечення незадимлення і видалення диму при задимленні приміщень з перебуванням людей і евакуаційних шляхів у будинках.

АСПДЗ входить до складу АСПВБ як автономна система, реалізована на єдиних з нею програмно-технічних засобах.

Димовидалення з будинків може здійснюватися:

- автоматично за сигналами з пожежних сповіщувачів;
- автоматизовано за командами оператора АСПВБ;
- дистанційно при спрацьовуванні ручних пожежних сповіщувачів;
- спеціальними пересувними засобами димовидалення.

АСПДЗ повинна працювати з урахуванням аналізу реальної задимленості приміщень, обумовленої використанням сповіщувачів пожежної сигналізації, прогнозування поширення диму по приміщеннях.

АСПДЗ будується з територіальним розосередженням технічних засобів по окремих приміщеннях, сходових клітках, ліфтових шахтах і евакуаційних шляхах.

АСПДЗ реалізує інформаційні, керуючі і допоміжні функції.



До інформаційних функцій АСПДЗ належать наступні:

- збір і обробка інформації про роботу устаткування димовидалення, датчиків приводу клапанів димовидалення, що блокують пристрої вентиляторів, датчиків закриття дверей;

- відображення, реєстрація і документування поточних подій у роботі виконавчих пристроїв СПДЗ;

- обробка даних про наявність спеціальних пересувних засобів димовидалення (види і продуктивність, види приводу, місцезнаходження і способи виклику);

- надання інформації про роботу СПДЗ персоналу об'єкта і диспетчеру пожежної частини у випадку виникнення пожежі;

- надання інформації персоналу об'єкта в режимі нормальної експлуатації й у випадку виникнення позаштатних ситуацій в АСПДЗ (відмовлення пристроїв, відсутність напруги живлення, обриви ліній зв'язку тощо);

- надання персоналу об'єкта і диспетчеру ПРЧ узагальненої інформації про комплексну працездатність СПДЗ;

- реєстрація і документування інформації про наявність спеціальних пересувних засобів димовидалення і димоосадження (види і продуктивність, види приводу, місцезнаходження і способи виклику);

- видача необхідної інформації про стан СПДЗ за запитом оператора АСПВБ для прогнозу й ухвалення рішення;

- обмін інформацією з іншими автоматизованими системами, що входять до складу АСПВБ;

- передача інформації в АСУТП об'єкта;

- контроль наявності людей у задимлених місцях.

До керуючих функцій АСПДЗ належать наступні:

- формування команд управління устаткуванням і виконавчими механізмами СПДЗ;

- формування команд із запровадження в дію додаткових спеціальних пересувних засобів димовидалення;

– формування команд на блокування люків і дверей для обмеження поширення диму по приміщеннях.

До допоміжних функцій АСПДЗ належать наступні:

– діагностика комплексу технічних засобів СПДЗ (з перевіркою реального спрацьовування виконавчих механізмів за графіком там, де це не викликає порушення нормального функціонування технологічного устаткування об'єкта);

– автоматична реконфігурація структури СПДЗ при виникненні несправностей.

При створенні АСПДЗ враховуються наступні основні вимоги до системи протидимного захисту (СПДЗ) у цілому, включаючи її автоматизовану інформаційно-управлінську частину.

АСПДЗ оснащується засобами діагностики і контролю стану устаткування і ліній зв'язку.

АСПДЗ забезпечує персонал об'єкта і диспетчера ПРЧ необхідною інформацією про своє функціонування. Спосіб надання інформації вибирається на етапі технічного проектування АСПДЗ.

АСПДЗ забезпечується елементами контролю спрацьовування виконавчих пристроїв (кінцеві вимикачі тощо).

В АСПДЗ передбачається можливість перевірки працездатності виконавчих пристроїв за запитами АСПВБ та її оператора.

В АСПДЗ передбачається превентивне запровадження в дію виконавчих механізмів за прогнозами оперативної обстановки.

СПДЗ забезпечується пристроями, що забезпечують створення прорізів необхідних розмірів і конфігурації в стінах і перекриттях приміщень для димовидалення в екстремальних ситуаціях (якщо основні засоби СПДЗ не забезпечують необхідної ефективності димовидалення).

Підвищення надійності СПДЗ досягається вибором елементної бази, комплексуванням, дублюванням і

автоматизованим контролем готовності і працездатності засобів протидимного захисту.

Зниження числа помилкових спрацьовувань СПДЗ досягається за рахунок стабілізації напруги живлення і підвищення перешкодозахищеності пристроїв управління виконавчими механізмами.

Підвищення швидкодії СПДЗ досягається за рахунок зниження оперативного часу обробки інформації і підвищення швидкодії виконавчих механізмів.

СПДЗ повинна зберігати працездатність в аварійних режимах, аж до максимальної розрахункової аварії. Виконавчі механізми повинні зберігати працездатність при максимальному розрахунковому землетрусі.

Засоби димовидалення і димоосадження (ЗДВО). Вибір засобів димовидалення і димоосадження визначається особливостями об'ємно-планувальних рішень і пасивних засобів протидимного захисту, динамікою розвитку пожежі і поширення ОФП, технологією пожежогасіння.

ЗДВО призначені для зниження до необхідних величин щільності диму в приміщеннях, що захищаються, і на шляхах евакуації людей.

До числа параметрів, контроль динаміки яких необхідний для функціонування СПДЗ, належать: оптична щільність диму, швидкість і щільність вентиляційних і конвективних потоків, температура задимленого повітря тощо.

ЗДВО, призначені для димоосадження в приміщеннях, що захищаються, і на шляхах евакуації керуються автоматично від датчиків, що вимірюють щільність диму, або дистанційно. До складу ЗДВО для забезпечення автоматичного режиму входять датчики, що вимірюють щільність диму, пристрої обробки інформації та прийняття рішень, виконавчі механізми; для забезпечення дистанційного управління - виконавчі механізми.

Виконавчі механізми ЗДВО забезпечують імпульсну подачу поверхнево-активних речовин або дрібнодисперсної

води в зону, що захищається.

Спрацьовування виконавчих механізмів ЗДВО не повинно призводити до ураження людей.

Окремі ЗДВО, керовані дистанційно, забезпечують можливість багаторазової імпульсної подачі дрібнодисперсної води в зону, що захищається. Кратність і періодичність спрацьовування цих ЗДВО визначаються часом функціонування системи оповіщення людей і управління евакуацією.

Виконавчі механізми ЗДВО, призначені для димоосадження, спрацьовують синхронно з засобами, призначеними для герметизації приміщення, що захищається, і ліквідації вентиляційних потоків.

ЗДВО, призначені для димовидалення, мають у своєму складі спеціальні засоби для герметизації контрольованих приміщень і відключення вентиляції (керовані заслінки, двері, люки, фрамуги тощо). Ці засоби керуються автоматично або дистанційно від спеціальних замків.

Технічні засоби ЗДВО повинні мати вогнестійкість, обумовлену технологією пожежогасіння і ліквідації пожежонебезпечних ситуацій.

Функціонування ЗДВО здійснюється узгоджено з функціонуванням системи оповіщення й евакуацією людей.

### **1.3.5 Автоматизована система оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей**

Головною метою створення системи пожежовибухобезпечності об'єкта є збереження життя і здоров'я людей, тому їх оповіщення про виникнення пожежі на об'єкті й евакуація з небезпечної зони складають найважливішу частину всіх заходів щодо пожежовибухозахисту об'єкта.

АСОПУЕЛ є інформаційно-управлінською частиною системи оповіщення й евакуації людей (СОЕЛ) і призначена для автоматизованого й автоматичного виконання функцій з оповіщення людей про пожежу на об'єкті, вибору

оптимальних шляхів їх евакуації, управління рухом людей по евакуаційних шляхах, контролю наявності людей в охоплених пожежею і пожежонебезпечних приміщеннях.

АСОПУЕЛ входить до складу АСПВБ як автономна система, реалізована на єдиних з нею програмно-технічних засобах.

АСОПУЕЛ створюється на базі інтелектуальних адресних індикаторних пристроїв і звукових сповіщувачів, що дозволяють позначити шляхи евакуації.

Об'єктом оповіщення і управління є люди, що знаходяться в приміщеннях, для яких пожежа може являти реальну

загрозу. АСОПУЕЛ має ієрархічну структуру з територіальним розосередженням технічних засобів.

АСОПУЕЛ виконує інформаційні, управлінські та допоміжні функції.

До інформаційних функцій АСОПУЕЛ належать наступні:

- збір і автоматизована обробка інформації, що надходить від виконавчих механізмів СОПУЕЛ, з метою визначення їх готовності, і передача її черговому ПРЧ із зазначенням видів, кількості несправних механізмів і місць перебування;

- збір, реєстрація інформації про спрацьовування виконавчих механізмів СОПУЕЛ під час евакуації людей при пожежі і передача її на термінали чергового ПРЧ і персоналу об'єкта;

- обмін інформацією з іншими АС, що входять до складу АСПВБ, з метою прийняття спільних несуперечливих рішень з евакуації і порятунку людей при пожежі.

До управлінських функцій АСОПУЕЛ належать наступні:

- оповіщення персоналу про пожежу на об'єкті за місцевою радіотрансляційною мережею. Включення

оповіщення повинно бути: автоматичним, з місцевого радіовузла, від оператора АСПВБ об'єкта;

- управління роботою світлових табло і покажчиків;
- включення аварійного освітлення в приміщеннях (за необхідності продовження роботи в них) і на шляхах евакуації, незалежно від роботи загального освітлення;

- забезпечення примусового відкриття ліфтів, не пристосованих для евакуації людей, у безпечну зону з наступним їх відключенням;

- автоматична подача команд системі протидимного захисту для видалення диму зі шляхів евакуації;

- автоматична подача команд для включення систем підпору повітря у сходових клітках, тамбурах-шлюзах і приміщеннях персоналу, що здійснює управління технологічним виробничим процесом.

До допоміжних функцій АСОПУЕЛ належать:

- розрахунок необхідного часу і можливих шляхів евакуації людей з урахуванням місця виникнення пожежі і прогнозу її розвитку;

- діагностика проходження сигналів спрацьовування системи оповіщення і наявності напруги на основному й аварійному джерелах живлення;

- діагностика всього комплексу технічних засобів СОПУЕЛ.

Пристрої оповіщення повинні бути працездатними в аварійних режимах, аж до максимальної розрахункової аварії. Пристрої повинні зберігати працездатність при максимальному розрахунковому землетрусі.

АСОПУЕЛ повинна зберігати повну працездатність при знеструмленні об'єкта.

### **1.3.6 Локальні автоматизовані системи протипожежного захисту**

**Призначення та функціональна структура локальних АСППЗ.** Одним з перспективних напрямків у

забезпеченні пожежної безпеки високоризикових об'єктів є створення локальних систем протипожежного захисту (ЛСППЗ) окремих технологічних пристроїв об'єкта: шаф з електротехнічним устаткуванням, електродвигунів, електричних кабелів тощо.

Локальні системи протипожежного захисту розташовуються в безпосередній близькості від устаткування, що захищається, і, власне кажучи, є системами швидкого реагування, оскільки дозволяють більш оперативно і вірогідно виявляти виникнення передпожежного режиму або сам факт загоряння і швидше гасити пожежу (у порівнянні із системами об'ємного пожежогасіння, призначеними для захисту приміщень у цілому) за рахунок наступних факторів:

- мінімальної довжини магістральних трубопроводів для подачі вогнегасної речовини;
- мінімальної кількості запірно-пускової арматури;
- зниження часу на обробку сигналу тривоги і видачу команд виконавчим пристроям пожежогасіння;
- розміщення датчиків пожежної сигналізації у середині устаткування, що захищається, або в безпосередній близькості від нього.

Значно підвищується функціональна ефективність застосування ЛСППЗ для протипожежного захисту окремих пристроїв у порівнянні з об'ємними системами пожежогасіння за рахунок скорочення часу досягнення необхідної концентрації вогнегасної речовини, що дозволяє впливати на осередок загоряння в початковій стадії його розвитку.

Економічна ефективність застосування локальних СППЗ забезпечується зменшенням витрати вогнегасної речовини, а також схороністю устаткування, що захищається, за рахунок локального використання для гасіння пожежі в кожному виді технологічних пристроїв такої вогнегасної речовини, що не призводить до виникнення дефектів і несправностей.

Однак локальні СППЗ, незважаючи на ряд достоїнств,

є системами з обмеженою продуктивністю – їх доцільно використовувати як перший ешелон протипожежного захисту об'єктів. У випадку невиконання цими системами завдань з гасіння осередків загоряння на початковій стадії слід вводити в дію більш продуктивні системи гасіння пожежі (другий ешелон протипожежного захисту).

Локальні системи протипожежного захисту та їх елементи, власне кажучи, є складовими частинами відповідних функціональних систем (запобігання передпожежних режимів, пожежогасіння, пожежної сигналізації тощо), що входять до складу СПВБ об'єкта, тому в узагальненій структурі СПВБ вони не показані як окремі системи, а в узагальненій структурі АСПВБ відповідно не показані локальні автоматизовані системи протипожежного захисту (ЛАСППЗ).

Локальні АСППЗ є інформаційно-управлінськими частинами локальних функціональних СППЗ і призначені для автоматизованого й автоматичного, виконання функцій із забезпечення протипожежного захисту окремих технологічних пристроїв об'єкта.

Локальні АСППЗ можуть функціонувати як в ув'язуванні з АСПВБ об'єкта, так і автономно, незалежно від АСПВБ. У першому випадку ЛАСППЗ мають дворівневу структуру з елементами нижнього рівня, розподіленими по окремих пристроях, що захищаються.

Функції локальної АСППЗ можуть виконуватися у двох режимах:

- автоматичному – без участі персоналу;
- автоматизованому, при якому управління протипожежним захистом здійснюється за рішеннями персоналу.

Локальна АСППЗ як верхній рівень може містити програмувальний контролер (ПК) з інтерфейсами введення (Івв) і виведення (Івив) і спеціалізований пульт управління пристроями системи оператором.



Нижній рівень ЛАСППЗ містить у собі систему пожежної сигналізації, виконавчі механізми, засоби подачі вогнегасної речовини, систему контролю спрацьовування виконавчих механізмів.

У ЛАСППЗ передбачається можливість управління автономно в автоматичному (від програмувального контролера) чи автоматизованому (від виносного пульта оператором) режимі, а у складі АСПВБ – у режимі автоматизованого управління.

Локальні АСППЗ виконують інформаційні, управлінські та допоміжні функції.

До інформаційних функцій ЛАСППЗ належать наступні:

- контроль стану пристрою, що захищається, з ідентифікацією тління, загоряння і пожежі, забезпечуваною групою пожежних сповіщувачів локальної системи інформації;

- контроль стану виконавчих механізмів системи, забезпечуваний групою пожежних сповіщувачів локальної системи інформації;

- відображення на екрані оператора АСПВБ інформації про стан пристрою, що захищається, і виконавчих механізмів системи;

- передача черговому ПРЧ інформації про виникнення передпожежних режимів, осередків загорянь, пожеж;

- обмін інформацією між локальною АСППЗ і АСПВБ об'єкта.

До управлінських функцій ЛАСППЗ належать наступні:

- автоматичне (за допомогою програмувального контролера) чи автоматизоване (за допомогою оператора АСПВБ) управління виконавчими механізмами, що забезпечують запобігання передпожежних режимів, локалізацію і ліквідацію осередків загоряння і гасіння пожежі;

– реконфігурація системи при виявленні відмовлень у локальної АСППЗ і за командами від АСПВБ;

– корекція команд управління виконавчими механізмами на основі аналізу даних локальних систем інформації про зміни станів пристроїв, що захищаються;

– забезпечення пріоритету дій оператора стосовно інших джерел управління;

– санкціонування доступу до пульта управління для проведення операцій з виконавчими механізмами.

До допоміжних функцій ЛАСППЗ належать наступні:

– контроль технічного стану елементів систем за програмами, записаними у постійному запам'ятовуючому пристрої контролера (періодично або за вимогою оператора);

– сортування (класифікація) інформації з пріоритетності для передачі черговому ПРЧ;

– санкціонування доступу до інформації локальної АСППЗ.

Відзначимо деякі функції локальних АСППЗ в автоматичному й автоматизованому режимах.

В автоматичному режимі ЛАСППЗ виконують наступні функції:

– контроль працездатності елементів системи;

– збір інформації від локальної системи інформації;

обробка й аналіз інформації на відповідність штатному режиму, повторний огляд інформації з метою виключення помилкових спрацьовувань на основі зіставлення результатів, отриманих від різних датчиків;

– ідентифікація ознак осередків пожежі;

– підготовка керуючих команд виконавчим механізмам з ліквідації або локалізації осередків пожежі;

– контроль виконання команд;

– обмін інформацією з АСПВБ і прийом команд.

В автоматизованому режимі ЛАСППЗ виконують наступні функції:

– контроль працездатності елементів системи;

- аналіз отриманої інформації;
- прийняття рішень і підготовка керуючих команд;
- контроль виконання керуючих команд;
- оцінка оперативної обстановки в ході виконання команд виконавчими механізмами системи;
- прийняття рішень з корекції керуючих команд;
- передача інформації АСУТП, диспетчеру ПРЧ, керівництву об'єкта про виникнення і розвиток позаштатних ситуацій, прийняті рішення, результати їх виконання.

Розглянемо деякі структурні схеми локальних автоматизованих систем протипожежного захисту.

Побудова локальних АСППЗ у складі АСПВБ об'єкта вимагає забезпечення стикування локальних систем з АСПВБ, прийому, автоматичної реєстрації, збереження і відображення інформації. Для вирішення зазначених завдань доцільно використовувати програмувальні контролери, що мають те істотне достоїнство, що їх структуру й алгоритми функціонування можна програмувати за допомогою спеціальних пристроїв (програмакторів) як при їх виробництві, так і при експлуатації.

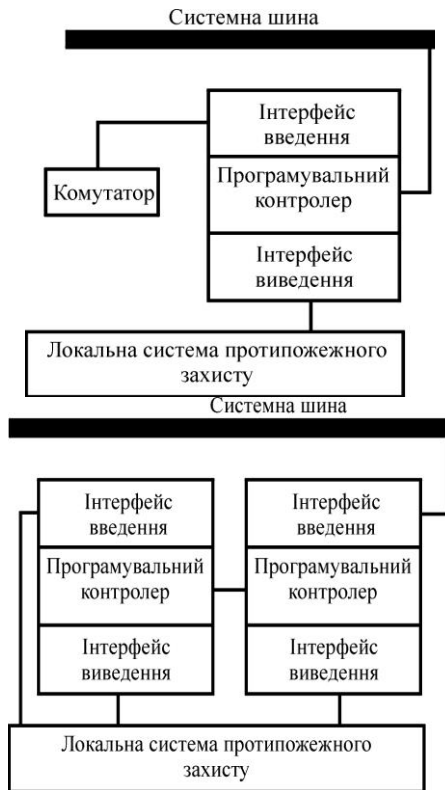
За допомогою програмактора можна також перепрограмувати контролер на виконання іншого алгоритму, не змінюючи сам дорогий контролер.

Програмувальний контролер, володіючи великими логічними й обчислювальними можливостями, високою швидкодією, дозволяє будувати різноманітні структури при реалізації локальних АСППЗ. На вході контролера через інтерфейсні блоки можуть подаватися сигнали з датчиків (пожежних сповіщувачів), на підставі яких контролер підготовляє і передає керуючі сигнали автоматичним установкам пожежогасіння.

Через обмеженість інтерфейсів уведення ( $I_{\text{ВВ}}$ ) програмувального контролера (ПК) для управління процесом забезпечення пожежної безпеки можуть бути використані наступні два підходи:

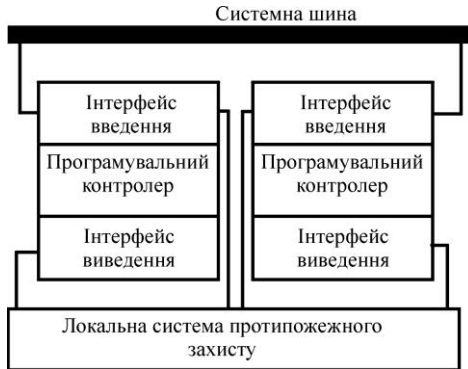
- установка комутатора на вході  $I_{\text{ВВ}}$  (рис. 1.2, а);

– збільшення числа ПК із забезпеченням додаткового зв'язку між ними, що може здійснюватися або безпосередньо між ними (рис. 1.2, б), або через системну шину зв'язку (рис. 1.2, в).



а)

б)



в)

Рис. 1.2 – Структурна схема локальної автоматизованої системи протипожежного захисту:

а) з комутатором; б) з організацією зв'язку між програмувальними контролерами; в) з організацією зв'язку через системну шину

Інтерфейс виведення (Івив) ПК забезпечує узгодження за потужністю вихідних сигналів ПК і сигналів, необхідних для управління виконавчими механізмами ЛСППЗ. Кількість виводів Івив визначається кількістю входів виконавчих механізмів. У випадку обмеженого числа виводів Івив або збільшується число програмувальних контролерів, або ущільнюються вхідні канали виконавчих механізмів.

На рис. 1.3 наведена схема включення ПК, у якій число його виводів більше або дорівнює числу входів виконавчих механізмів ЛСППЗ.

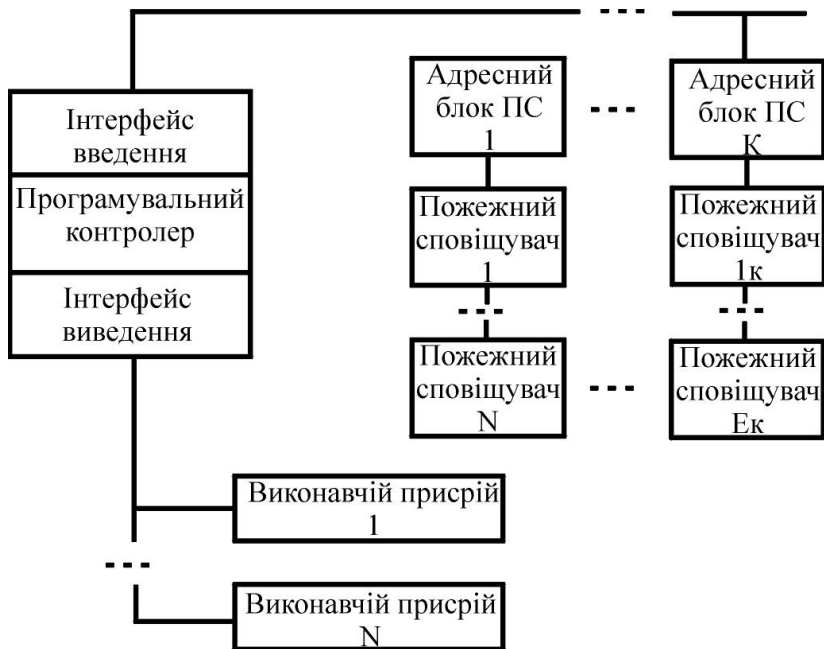


Рис. 1.3 – Структурна схема з прямим підключенням виконавчих пристроїв до програмувального контролера

За великої кількості входів виконавчих механізмів, що перевищує кількість вихідних каналів ПК, доцільно здійснювати ущільнення входних каналів виконавчих пристроїв, використовуючи адресні блоки (рис. 1.4), комутатори (рис. 1.5) чи адресні блоки і комутатори спільно (рис. 1.6).

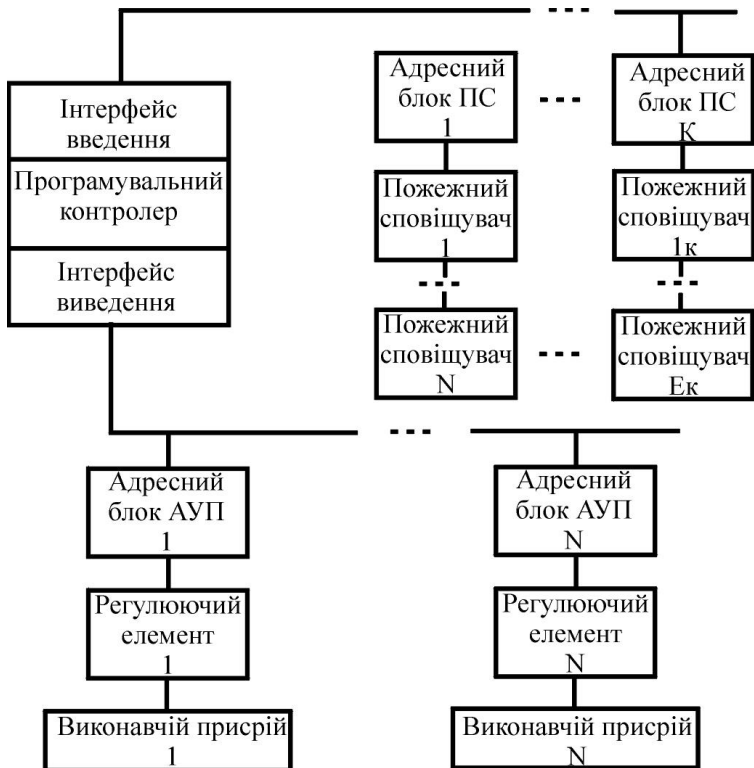


Рис. 1.4 – Структурна схема ЛАСПЗ з адресними блоками

Датчики і виконавчі механізми, розподілені по технологічних пристроях, що захищаються, являють собою локальну

мережу з виходом на програмувальний контролер і спеціалізований пульт управління. Конструктивне виконання і параметри датчиків і виконавчих механізмів забезпечують виконання наступних функцій:

- виявлення осередку загоряння і видача сигналу на ПК для наступної обробки;
- подача вогнегасної речовини в зону виникнення осередку пожежі;

- створення і підтримка необхідної концентрації вогнегасної речовини протягом необхідного часу;
- можливість перевірки працездатності, а також контролю спрацьовування датчиків і виконавчих механізмів;
- резервування й оперативна заміна елементів, що вийшли з ладу, устаткування.

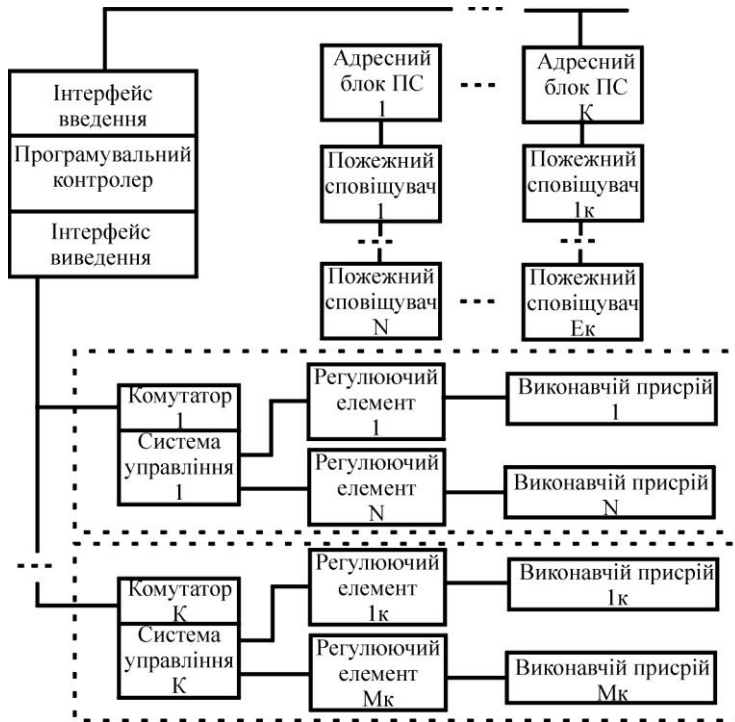


Рис. 1.5 – Структурна схема ЛАСПЗ із комутаторами

До складу локальних АСППЗ входять різні системи (структурні елементи), що забезпечують протипожежний захист окремих технологічних пристроїв, цехів, виробничих ділянок тощо: локальна АС інформації, локальна система роботизованих засобів, локальні АС протипожежного захисту електричних кабелів і шаф з електротехнічним устаткуванням, запобігання передпожежних режимів



електродвигунів тощо.

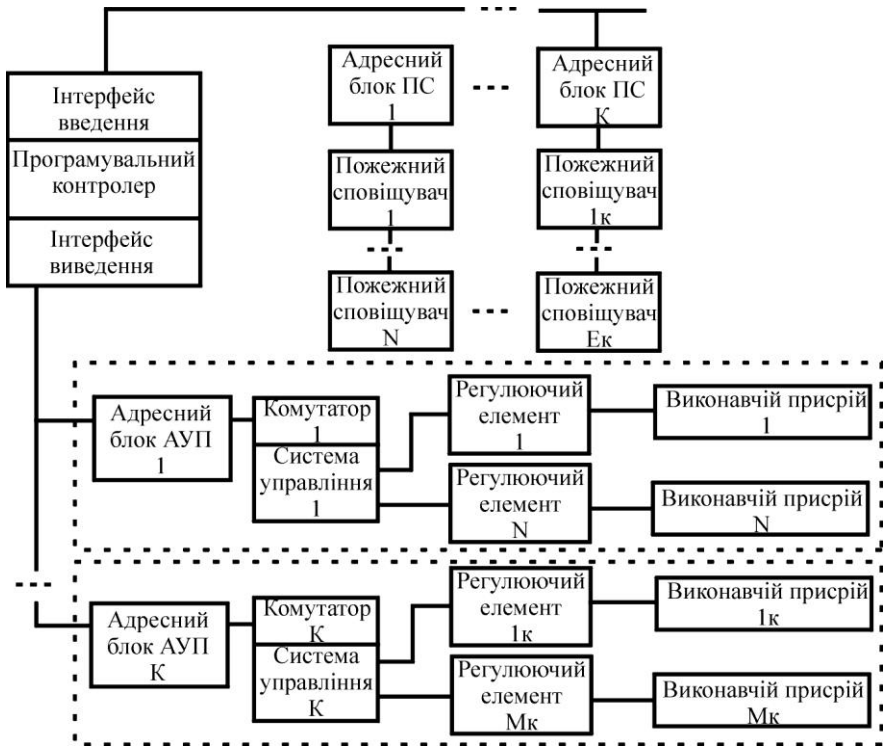


Рис. 1.6 – Структурна схема ЛАСППЗ з адресними блоками і комутаторами

**Локальна АС інформації.** Дана система призначена для раннього виявлення передпожежних режимів і загорянь, а також контролю роботи виконавчих механізмів локальної АСППЗ та їх діагностики.

До числа основних функцій, виконуваних локальною системою інформації, належать наступні:

– виявлення джерел запалювання, ознак тління, піролізу, загоряння і пожежі в контрольованому пристрої за допомогою пожежних сповіщувачів;

– контроль стану працездатності виконавчих механізмів локальної АСППЗ за допомогою датчиків, що визначають цілісність обмоток, реле, ниток пірозапалів, контакторів тощо, аналогові сигнали яких перетворюються в цифрові коди;

– контроль вихідного і кінцевого положень механізмів ЛСППЗ, що визначають стан замкнутості контактної пари;

– запобігання передпожежних режимів за допомогою температурних датчиків витоку струму, що визначають ступінь локального нагрівання електроустановки в контрольованій точці;

– контроль працездатності пристроїв і підсистем локальної АСППЗ у штатному режимі.

До технічних засобів локальної АС інформації пред'являються наступні вимоги:

– датчики обираються з урахуванням їх інерційних властивостей;

– датчики включають у свій склад пристрої попередньої обробки інформації та її перетворень;

– кінцеві контакти повинні подавати однозначну інформацію про положення будь-якого виконавчого механізму;

– кінцеві контакти і датчики виконують функції контролю вихідного і кінцевого положень виконавчих механізмів та їх працездатності в умовах вібрації.

**Локальна система роботизованих засобів пожежогасіння.** Локальна система роботизованих засобів пожежогасіння призначена для здійснення автоматичного чи автоматизованого пожежогасіння за допомогою роботизованих лафетних стволів та інших засобів. Структурна схема локальної системи роботизованих засобів пожежогасіння наведена на рис. 1.7.

Система роботизованих засобів пожежогасіння виконує наступні основні функції:

– прийом команд від програмувального контролера й

оператора;

– управління лафетними стволами.

В основний склад локальної системи роботизованих засобів пожежогасіння входять:

- керовані лафетні стволи;
- трубопроводи з вузлами управління;
- місцеві пульти управління;
- пристрої управління виконавчими механізмами.

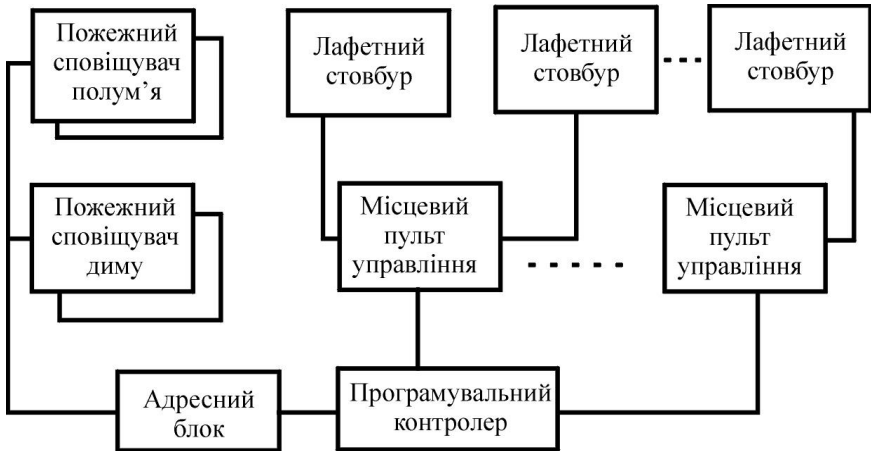


Рис. 1.7 – Структурна схема локальної системи роботизованих засобів пожежогасіння

Витрата води в системі визначається характеристиками пожежного навантаження і площею осередку пожежі. Дальність подачі води повинна складати близько 40 м, ефективний діаметр струменя в зоні осередку пожежі повинен бути близько 0,5 - 1,0 м.

До локальної системи роботизованих засобів пожежогасіння пред'являються наступні вимоги:

- управління виконавчими механізмами здійснюється персоналом з місцевого пульта управління за програмою, записаною в ПЗП цього пульта, або автоматично за

програмою, записаною в ПЗП програмувального контролера;

- виявлення загоряння і визначення координат осередку загоряння здійснюються локальною АС інформації;

- кути розвороту лафетних стволів забезпечують подачу води в будь-яку точку простору, що захищається;

- швидкість розвороту лафетних стволів не призводить до порушення компактності водяного струменя;

- тривалість подачі води забезпечує гарантоване придушення осередку загоряння (пожежі) до прибуття особового складу ПРЧ;

- тривалість функціонування лафетного ствола в автоматичному режимі визначається умовами оптимального придушення осередку загоряння і пожежі;

- тривалість функціонування лафетного ствола в автоматизованому режимі визначається оператором;

- при відмовленні одного лафетного ствола передбачається можливість включення іншого лафетного ствола; черговість включення лафетних стволів в автоматичному режимі визначається програмою оптимального придушення осередку загоряння (пожежі), записаною в ПЗУ програмувального контролера; черговість включення лафетних стволів в автоматизованому режимі визначається оператором.

## **РОЗДІЛ 2. ДАТЧИКИ ПЕРВИННОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО СТАН ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ**

Вибір засобів виявлення передпожежних і вибухонебезпечних режимів здійснюється на етапі технічного проектування системи. Він визначається особливостями технологічного регламенту об'єкта і граничних значень, уставок режимних параметрів.

До числа основних режимних параметрів, контроль динаміки яких дозволяє знайти, ідентифікувати і спрогнозувати передпожежні і вибухонебезпечні режими, належать: температура, геометрія і координати локального нагрівання; тиск у системах технологічного устаткування; рівень та витрати речовин у припустимих межах; концентрація вибухонебезпечних сумішей, координати місць їх витоків; амплітудні і частотні характеристики вібраційних процесів частин механізмів технологічного устаткування, що обертаються, рухаються або стаціонарно встановлені; координати місць вібрації; токові характеристики електроустановок; струми витоків у кабелях та ізоляції електроустановок; тиск і швидкість потоків у повітропроводах системи вентиляції; амплітудно-частотні характеристики сейсмічних процесів; характеристики вихідної потужності трансформаторів та ін.

Метрологічні характеристики засобів виявлення передпожежних і вибухонебезпечних режимів повинні кореспондуватися з вимогами до аналогічних характеристик АСУТП об'єкта.

Ці засоби виробляють інформацію про контрольовані параметри в обсязі, достатньому для ідентифікації передпожежного і вибухонебезпечного режимів, і забезпечують можливість контролю працездатності засобів виявлення. Видача інформації надається періодично за запитами системи або ініціативно (при перевищенні уставок на контрольовані параметри).

Періодичність знімання інформації в режимі нормальної

експлуатації визначається особливостями контрольованого технологічного процесу і ступенем його пожежовибухонебезпечності.

Засоби виявлення передпожежних і вибухонебезпечних режимів забезпечують можливість зміни періодичності знімання інформації і точності вимірів контрольованих параметрів.

Вірогідність інформації, вироблюваної яким-небудь одним засобом виявлення передпожежних чи вибухонебезпечних режимів, підтверджується інформацією від інших засобів, якщо вони використовуються. У тих випадках, коли технологічні умови дозволяють установити групу ідентичних засобів виявлення, вірогідність інформації визначається вибіркою декількох значень параметрів, одержуваних від різних засобів.

Періодичність опитування в аварійному та передаварійному режимах установлюється з урахуванням інерційності вимірювальних пристроїв засобів виявлення передпожежних і вибухонебезпечних режимів.

Проектні показники надійності засобів виявлення розраховуються з урахуванням вимог пріоритету з резервування устаткування системи пожежної сигналізації.

В окремих випадках може використовуватися наступна структура засобів виявлення: чутливий елемент, пристрій перетворення і логічної обробки, пристрій передачі інформації.

Автоматизовані засоби запобігання передпожежних і вибухонебезпечних режимів повинні мати показники надійності не нижче, ніж в АСПВБ у цілому.

## **2.1 Способи та пристрої для виміру температури**

### **2.1.1 Історія розвитку термометрії**

Температура – величина, яка характеризує ступінь нагрівання тіла. Залежність між середньою кінетичною енергією молекул, що поступально рухаються, і

температурою ідеального газу визначається виразом:

$$E = (3/2)kT,$$

де  $k = 1,380 \cdot 10^{-23}$  Дж·Кг<sup>-1</sup> – постійна Больцмана;  
 $T$  – абсолютна температура тіла, К.

Якщо тіла мають різну температуру, то при їх контактї відбувається вирівнювання енергій: тіло, що має більш високу температуру, а виходить і велику середню кінетичну енергію молекул, передає свою теплоту (енергію) тілу, що має меншу температуру, а виходить, і меншу середню кінетичну енергію молекул. Таким чином, температура є параметром, що характеризує як якісну, так і кількісну сторону процесів теплообміну, теплопереносу. Однак вимірити температуру безпосередньо не можна; можна визначити її значення тільки за якимись іншими фізичними параметрами тіла, що змінюються однозначно залежно від температури. Такими параметрами, що залежать від температури, є, наприклад, обсяг, довжина, електричний опір, термоелектрорушійна сила, енергетична яскравість випромінювання та ряд інших.

Дотикальна приступність температури відома з давніх часів. До першого тисячоріччя до нашої ери відноситься поява понять про основні складові навколишнього світу, у числі яких поряд із землею, водою і повітрям був вогонь, якому в багатьох зовнішніх проявах приписувалися властивості, що узагальнюються сучасним поняттям температури. Демокрит і Левкіпп оперували поняттям елементарного вогню в загальнофізичних уявленнях, Гішпократ – стосовно до медичних проблем. Однак, очевидно, не ними було введено поняття температури, тому що Аристотель під час обговорення чотирьохелементного світу посилається на «древніх» без згадування імен. Труднощі «древніх» у складанні чіткого уявлення про поняття температури порозумівалися багатьма причинами, пов'язаними, зокрема, з відсутністю будь-якої

вимірювальної техніки, презирливим ставленням до експерименту – заняття «рабського», неприпустимого для філософів, і внутрішнім протиріччям інформації про теплові прояви в навколишньому світі. Температура є показником інтенсивності, тобто якісною характеристикою. Тому поняття температури у простих уявленнях зміщується з поняттям кількості теплоти, що лежить в основі дотикальних відчуттів. Теплоті властива суперпозиція, температури – ні. Важко було зрозуміти, чому нагріті на вогні вода, олія чи смола при короткочасному дотику до них впливали помітно сильніше, ніж сам вогонь. У середні століття багаторазово був описаний дослід, у якому пропонувалося одну руку витримати в теплій воді, а іншу – у холодній. Після цього змішана вода відчувається однією рукою як холодна, інша – як тепла. Приміщення глибокої печери, підвалу уявляється взимку теплим, а влітку прохолодним. У зв'язку з великою параметричною чутливістю організму до теплового впливу головні поняття довго перебували на суб'єктивній основі. Це перешкоджало побудові уявлень у чіткій, логічно замкнутій послідовності умовиводів. Для порівняння можна навести вимір кута нахилу екліптики Ератосфеном: за 22 сторіччя ця величина уточнилася до теперішнього часу тільки на 6 кутових хвилин. Через чисто фізіологічні причини, пов'язані з терморегуляцією, теплокровні організми здатні дуже гостро реагувати на зміну теплового впливу навколишнього середовища з переходом від нагрівання до охолодження, і навпаки. За температури, близької до тілесної, організм здатний реагувати на зміни порядку 0,1 К. Задовго до появи перших інструментів для виміру температури з повсякденного досвіду були відомі головні її параметричні властивості, зокрема прагнення теплоти до температурної рівноваги в результаті її переходу від гарячих тіл до холодних. Рівноважна температура чітко вважалася нижче температури спершу гарячого тіла і вище спершу холодного. Подібні ідеї всюди сприймалися настільки однаково, що



рівною мірою глибоко увійшли в усі відомі мови з найдавніших часів.

На основі почуттєвого сприйняття навколишніх явищ природно прийшли до послідовності таких понять, як зимова холоднеча, капель, літня прохолода, червоне і біле розжарювання, температури, що відповідають здоровій нормі і пропасному стану тіла людини. На такій природній шкалі кожному тілу в його стані може бути знайдене цілком визначене місце між більш і менш нагрітими тілами, що дозволяє порівнювати відносну кількість енергії, що міститься в тілі, і здатність тіла сприймати чи віддавати енергію в якісному розумінні, тобто незалежно від кількісних характеристик: розмірів, об'єму і маси тіла.

Потреба у вимірах температури з пізнавальною метою виникла лише в середині XVI ст. Щоб робити такі виміри, можна було скористатися будь-якою відомою зі спостережень залежністю якого-небудь параметра від температури. Ще Герону Олександрійському (I ст.) була відома властивість повітря розширюватися при нагріванні, чим він пояснював прагнення вогню нагору. Зміна об'єму зі зміною температури за постійного тиску в газах, зокрема в повітрі, виражена сильніше, ніж у рідких і твердих тіл. На цій основі в 1597 р. Галілеєм був запропонований термоскоп для порівняльних температурних досліджень, що складався зі скляного балончика, заповненого повітрям і сполученого тонкою трубкою із судиною, у якому знаходилася зафарбована рідина (вода або спирт). Зміна температури повітря в балончику супроводжувалася зміною рівня зафарбованої рідини в трубці. Істотним недоліком цього першого з відомих термометрів була чутливість до зміни атмосферного тиску.

У 1631 р. французький лікар Ре описав термометр, дія якого базувалася на використанні властивості термічного розширення води. Конструкція термометра, подібного до розповсюджених тепер рідинно-скляних, створена в 1654 р. Його появу пов'язують з ім'ям учня Галілея герцога

тосканського Фердинанда II. Термометр являв собою герметично запаяну судину з вертикальним вказівним капіляром. Як робоча рідина використовувався винний спирт. Збереглися відомості про те, що при снігопаді він показував 20, а в самий пекучий день – 80 градусів. Розподіли градусів були нанесені емалевими крапельками прямо на трубку капіляра. Збереглася гравюра флорентійського термометра, у якому капіляр звитий у 12 витків по гвинтовій лінії, а розподіли шкали нанесені у вигляді вертикальних скляних брусочків, припаяних до капіляра, які робили усю конструкцію досить стійкою.

Метрологічну основу термометрії заклав падуанський лікар Санкторіо. Використовуючи термоскоп Галілея, він увів дві абсолютні точки і регламентував систему перевірки, відповідно до якої усі флорентійські термометри градуювались за зразковим санкторіансько-галілеєвським приладом. Значення фіксованих точок не збереглися. Відомо, що флорентійські термометри задовольняли основній метрологічній вимозі: в однакових умовах – однакові показання. Флорентійські термометри відразу ж знайшли широке застосування в метеорологічних вимірах; з літописів можна встановити, що точка танення льоду відповідала 13,5 градусам флорентійської шкали.

На початку XVIII ст. зареєстрований ряд пропозицій, спрямованих на прив'язку термометричної шкали до декількох легко і надійно відтворених точок, що надалі одержали найменування реперних. У 1701 р. Ньютон запропонував зв'язати шкалу з температурами танення льоду і тіла людини. Вибір останньої був обумовлений описом походження людини «за образом і подобою» у Біблії – офіційним документом того часу.

У 1703 р. французький академік Амонтон, ґрунтуючись на тому, що теплота являє собою одну з форм руху, прийшов висновку, що нульова точка температурної шкали повинна відповідати стану, за якого припиниться

всякий рух часток. Він думав, що при цьому частки будуть займати найменший об'єм або у випадку газу – справляти найменший можливий тиск на обмежуючі його стінки. Амонтон уперше почав спробу визначити положення абсолютного нуля щодо точки танення льоду.

Значна роль у становленні температурних вимірів належить Фаренгейтові. Він народився в 1686 р. у Гданську (Данцизі), від зрілості і до старості (1736 р.) прожив у Голландії й Англії. Основним його заняттям було неогоціанство. Наукою ж він займався для задоволення цікавості. Сполучення дарування вченого з підприємницькими здібностями дозволило йому вперше налагодити серійне виробництво уніфікованих термометрів з відтвореними показаннями. Ним же була вперше застосована ртуть як робоча рідина (1714 р.) і створена відтворена температурна шкала. У шкалі Фаренгейта як нуль було обрано температуру суміші снігу з нашатирем, друга точка (за Ньютоном) відповідала температурі тіла здорової людини, а проміжок був розділений на 12 градусів. При цьому були зафіксовані температури танення чистого льоду (у первинній шкалі 4 градуси) і кипіння води.

Спочатку шкала Фаренгейта давала можливість грубої оцінки температури. Для більш тонких відліків Фаренгейт тричі послідовно поділяв градуси навпіл, що привело до восьмикратного зменшення одиниці. При цьому температура танення льоду стала рівною 32 градусам, а температура тіла людини – 96 градусам. Температура танення льоду в ті часи вважалася ненадійною, оскільки вже були відомі випадки переохолодження рідин. Температура кипіння води була спочатку величиною похідною і рівною 212 градусам. Фаренгейт провів вишукування надійних фіксованих точок шкали й установив, що температура суміші льоду з водою стабільна за значної варіації зовнішніх умов, а температура кипіння води залежить від барометричного тиску. Шкала Фаренгейта одержала широке поширення. У 1736 р. точки замерзання і кипіння води за

фіксованого барометричного тиску були прийняті як основні для всіх шкал.

Близько 1760 р. Ламберт, німецький астроном, оптик і зодчий, дійшов висновку про достатність в абсолютній шкалі однієї фіксованої точки. Другою такою точкою повинен бути абсолютний нуль. Температура танення льоду була обрана рівною 1000 градусів, при цьому температура кипіння води виходила величиною похідною і рівною 1370 градусам. Незважаючи на очевидні достоїнства, практичного застосування шкала Ламберта не одержала.

Після встановлення фіксованих точок шкали природно виникли питання інтерполяції, що привело до ретельних досліджень стекол і термометричних рідин. Спостереження, проведені на термометрах з однакового скла, що заповнювалися водою, олією, спиртами, ртуттю, показали різний хід меніска рівня рідини за проміжних температур. У цих дослідженнях була виявлена температурна інверсія щільності води при 4 °С.

Одна з перших пропозицій метрологічної основи інтерполяції була зроблена пізанським професором Ренальдіні в 1694 р. Вона полягала в тому, що проміжне значення показання термометра визначалося пропорційним часткам суміші, складеної з киплячої води і води, зливої з льоду, що тане. При очевидних принципових достоїнствах практична реалізація такого методу виявилася пов'язаною з нездоланими труднощами.

Шведський математик і геодезист Цельсій у 1742 р. запропонував розбити у ртутному термометрі діапазон між точками кипіння води і танення льоду на 100 рівних частин. У цій шкалі точці плавлення льоду відповідало 100 градусів, а точці кипіння води – 0. У 1750 р. шкала була «обернена» Стремером – одним зі співробітників і учнів Цельсія. Подібна шкала з нулем при кипінні води і 150 градусами при її замерзанні була запропонована раніше, у 1740 р., французьким академіком Іслем. Значенневу основу такого зверненого уявлення загублено.

До початку XX ст. нарівні зі стоградусною шкалою Цельсія була поширена шкала, запропонована в 1730 р. французьким зоологом і фізиком Реомюром для термометрів, заповнених 80 %-вим водяним розчином етилового спирту. У шкалі Реомюра система розподілу на градуси була прийнята такою ж, як і у флорентійському термометрі: один градус відповідав зміні об'єму рідини на одну тисячну частку. За початок відліку Реомюр прийняв температуру льоду, що тане; температура кипіння води відповідала 80 градусам.

На початку XIX ст. у пошуках «абсолютного» метрологічного приладу повернулися до ідеї газового термометра. Відкриті на той час закони Гей-Люсака і Шарля дозволяли припускати, що в газових термометрах показання не буде залежати від виду газового заповнення. Однак при подальшому уточненні методів виміру в газах були виявлені істотні індивідуальні відхилення. Ретельні дослідження французького фізика Реньо показали, що коефіцієнти розширення газів залежать від їх щільності і ступеня віддалення за температурою від стану скраплення. Підвищення температури і зниження тиску наближають гази до ідеального. Так, при 320 °C і нормальному тиску Реньо не вдалося знайти різниці в показаннях газових термометрів, заповнених воднем, повітрям і вуглекислим газом. У тих же умовах сірчистий газ відрізнявся від водню не тільки значенням коефіцієнта, а й мінливістю цієї величини. Реньо встановив, що зі зниженням тиску це розходження стає менш помітним. Таким чином, розподіл температурної шкали не одержав бажаної обґрунтованості аж до кінця XIX ст. Проведені на підставі експериментальних даних Реньо розрахунки пружності водяної пари дали температурну шкалу, яка настільки відрізнялася від звичних шкал газових і рідинних термометрів, що вона не одержала поширення.

Порівняльні виміри показали, що в основному діапазоні 0... 100 °C показання водневого термометра систематично нижче, ніж показання термометрів,

заповнених іншими газами. За межами фундаментального діапазону показання термометра були тим вище, ніж легше газ. У точках 0 і 100 °С показання всіх термометрів вважалися однаковими.

Одночасно з чисто експериментальними дослідженнями проводилися і теоретичні пошуки непорушної шкали. У цьому відношенні заманливо було скористатися функцією Карно, що не залежить від речовини і є функцією однієї тільки температури.

У 1848 р. Томсон (лорд Кельвін) запропонував вибрати градус температурної шкали таким чином, щоб у його межах ефективність ідеальної теплової машини була однаковою, тобто щоб значення температури приймалося пропорційним значенню ефективності теплової енергії. Надалі він звернув увагу на те, що звична температура досить близько йде за величиною, зворотною функції Карно. Зворотна функція Карно і була запропонована як основа для абсолютної температурної шкали в 1854 р. Пряме здійснення такої шкали за допомогою ідеальної теплової машини, здатної працювати на порівняно малих перепадах у широкому діапазоні температур, практично неможливе. У 1862 р. Томсон разом з англійським фізиком Джоулем розробив експериментальний метод оцінки відхилення реального газу від ідеального (ефект Джоуля – Томсона). Перші ж дослідження ефекту Джоуля – Томсона на різних газах показали, що значення температур за шкалою повітряного термометра за нормального тиску несуттєво відхиляються від абсолютної термодинамічної температурної шкали, а за шкалою водневого термометра відхилення нехтовно малі.

На підставі досліджень Джоуля і Томсона з урахуванням відомих даних про неідеальність різних газів у 1887 р. Міжнародним комітетом мір і ваг було прийнято рішення про затвердження як температурного еталону водневого термометра постійного об'єму (щільності) з початковим тиском (при 0 °С) 1 м рт. ст. і стоградусним

рівномірним за тиском розподілом шкали в проміжку між точками танення льоду і кипіння води за нормального тиску. Таким чином, був створений технічний засіб передачі термодинамічної температурної шкали практичним вимірам. Громіздкість, складність і повільність вимірів привели до необхідності створення проміжного засобу такої передачі у вигляді еталонованих скляних ртутних термометрів. Проведені дослідження показали, що максимальний розкид показань ртутних еталонованих термометрів з верредура різних плавок при 50 °С не перевищує 0,02 К.

У 1906 р. Штоком і Нільсеном був запропонований термометр із використанням пружності пари насичення. У середині ХХ ст. такі термометри широко застосовувалися на транспорті, зокрема автомобільному. Потім їх замінили біметалічні термовібраційні елементи. На сьогодні принцип виміру температури за тиском насиченої пари використовується лише в лабораторній практиці в галузі низьких температур.

У 1827 р. німецький фізик Ом знайшов залежність електричного опору різних провідників від їх температури. Перший термометр опору був виготовлений Сіменсом у 1871 р. для виміру температури в печах. Платинові термометри опору знайшли застосування як прецизійний інструмент після докладних досліджень англійського фізика Каллендара (1886 р.).

Існування металів з настільки слабо вираженою залежністю опору від температури, що нею можна знехтувати (для константану вона приблизно в 100 разів менше, ніж для платини, срібла, міді), дозволяє реалізувати ефективний мостовий інструмент для прецизійних вимірів, включаючи метрологічні. Значним внеском у підвищення чутливості таких приладів стало застосування напівпровідників. Температурний коефіцієнт напівпровідникових елементів на порядок вище, ніж чистих металів. У 1948 р. фірма «Дженерал моторс» (США) випустила першу партію таких приладів, назвавши їх

термісторами.

У 1821 р. німецький фізик Зеєбек відкрив термоелектричний ефект і вказав на можливість використання цього ефекту для виміру температури. Практичні виміри на основі термоелектрики були проведені лише наприкінці XIX ст. майже одночасно і незалежно один від одного французькими вченими Беккерелем і Ле Шательє в 1887 р., Барусом у 1889 р. Великий проміжок часу між відкриттям ефекту і його застосуванням для виміру температури порозумівається непорозумінням, пов'язаним з помилковими публікаціями Реньо. Авторитетне твердження Реньо викликало недовіру до першого досліджу термоелектричного виміру температури, проведеного ще в 1836 р. французьким фізиком Пуйє.

Докладні дослідження дозволили обрати біля десятка термоелектродних матеріалів, що мають практично прямолінійні температурні характеристики. Особлива перевага термопар полягає в можливості виміру практично в точці. Об'єм спаю термопар у багато разів менше резервуара ртутного термометра, тому вони знайшли широке застосування як у промисловій, так і (особливо) у лабораторній дослідницькій практиці. На даний час переважна більшість температурних вимірів проводиться за допомогою термопар.

В другій половині XIX ст. застосування ймовірнісно-статистичного підходу дозволило на новій основі одержати багато теоретичних результатів. З них для термометрії важливими виявилися узагальнення законів випромінювання, отриманого Планком, і фундаментальне рівняння Найквіста, що пов'язує основні параметри шумових явищ. Ці результати поряд з ідеальним газовим термометром могли бути основою для абсолютної термодинамічної температурної шкали. Наступний розвиток ймовірнісно-статистичного методу привів до виникнення понять про нерівновагу і негативну абсолютну температури.



Температура є інтенсивним параметром. Інші шість основних метрологічних параметрів – довжина, маса, час, сила світла, кількість електрики, кількість речовини – за своєю природою екстенсивні і мають властивість суперпозиції. Додавання і розподіл основних одиниць, наприклад, кілограма, забезпечує надійну метрологічну основу виміру маси за довільно великих і малих значень вимірюваної величини. Температура такою властивістю суперпозиції не володіє, і це завжди викликало великі труднощі у проведенні вимірів.

Під час досліджень з'ясувалося, що температурні шкали, що були побудовані на тих самих реперних точках, але використовували різні термометричні речовини, давали різні значення температури. Це порозумівається тим, що термометричні властивості речовин по-різному змінюються з температурою, причому всі ці залежності нелінійні. У зв'язку з цим виникла проблема створення температурної шкали, яка не залежала від термометричних властивостей речовин. Така шкала була запропонована в 1848 р. Кельвіном і називалася термодинамічною. В основу побудови термодинамічної шкали Кельвін узяв ідеальний цикл Карно, у якому робота, отримана в цьому циклі, залежить тільки від температур початку і кінця процесу. Таким чином, термодинамічна шкала, запропонована Кельвіном, не залежала від термометричних властивостей, однак для практичного виміру температури вона була незручною: потрібно було або вимірювати кількість теплоти, або при використанні термометрів, заповнених реальними газами, вводити для кожного значення температури різні виправлення.

Як еталонний засіб виміру для області температур від 13,81 до 903,89 К (630,74 °С) застосовують термометр опору, виготовлений із платинового дроту. Для області температур від 630,74 до 1064,43 °С як еталон застосовується платинородій-платиновий термоелектричний термометр. Для області температур від 1337,58 К (1064,3 °С)

до 6300 К застосовується квазімонохроматичний пірометр.

Для діапазону 0,01–0,8 К встановлена температурна шкала термометра магнітної сприйнятливості (ТШТМС), принцип якої базується на залежності магнітної сприйнятливості термометра з цері-магнієвого нітрату від температури.

У діапазоні від 1,5 до 4,2 К застосовується шкала конденсаційного термометра  $^4\text{He}$  1958 р., принцип якої базується на залежності тиску насичених пар ізотопу гелію-4 від температури.

Температурна шкала германієвого термометра електричного опору (ТШГТО) базується на залежності опору германієвого термометра від температури  $T$  і встановлена для діапазону температур від 4,2 К до 13,81 К.

Температурна шкала пірометра мікрохвильового випромінювання (ТШПМВ) базується на залежності спектральної щільності енергії випромінювання  $L(T)$  чорного тіла від температури  $T$  в мікрохвильовому діапазоні випромінювання і встановлена для діапазону від 6300 до 100 000 К.

Для практичних цілей поряд з теоретичною термодинамічною температурною шкалою вводилися шкали, пов'язані з певною системою реперних крапок і засобів реалізації інтерполяції. У 1889 р. Перша міжнародна конференція по мірах і вагах затвердила «Нормальну водневу шкалу». Наступні корективи в редакції температурних шкал вносилися після ретельної попередньої підготовки на міжнародних офіційних зборах, та приймалася Міжнародна практична температурна шкала, позначена скорочено МПТШ.

У широкому діапазоні вимірів газовий термометр тривалий час був єдиним засобом передачі термодинамічної температурної шкали. Про складність роботи з ним можна судити по тому, що цей інструмент вимагає кондиціонованого приміщення площею декілька десятків квадратних метрів. Ця обставина привела до того, що

передача шкали охоплена складною системою реперних точок і засобів інтерполяційної передачі у вигляді термометрів опору і термопар. Природний для метрологів консерватизм став гальмом подальшого розвитку. Якими ж можуть бути очікувані шляхи розвитку метрології?

Дотепер тільки три фундаментальних явища можуть бути покладені в основу передачі. Вони виражені рівняннями Клапейрона, Планка і Найквіста. Значне підвищення культури теплотричних і частотно-спектральних вимірів за допомогою нової апаратури відкриває можливості перерозподілу діапазонів передачі шкали. На підставі закону Стефана – Больцмана (окремий випадок закону Планка) можна провести надійну передачу з похибкою, що несуттєво перевищує  $10^{-4}$  вимірюваної величини абсолютної температури, починаючи з 200 К і вище, без обмеження.

### **2.1.2 Засоби виміру температури**

На сьогодні у різних галузях науки й у промисловості застосовуються десятки різних способів виміру температури. У табл. 2.1 наведені найбільш розповсюджені у промисловості засоби виміру температури і зазначені межі застосування серійних засобів виміру. У дужках зазначені межі застосування засобів виміру для спеціальних цілей. Засіб вимірів температури, призначений для вироблення сигналу у формі, зручній для сприйняття спостерігачем, автоматичної обробки, передачі і використання в автоматичних системах управління, називається термометром.

Засіб для дистанційного виміру температури за тепловим електромагнітним випромінюванням називається пірометром. Пірометри застосовуються для безконтактного виміру температури.

Таблиця 2.1 – Межі застосування промислових засобів

## виміру температури

Тип засобу виміру	Різновид засобу виміру	Межа тривалого застосування, °С	
		нижня	верхня
Термометри розширення	Рідинні скляні термометри	-200	600
	Манометричні термометри	-200 (-272)	1000
Термометри опору	Металічні (провідникові) термометри опору	-260	1100
	Напівпровідникові термометри опору	-272	600
Термоелектричні термометри	Термоелектричні термометри	-200 (-270)	2200 (2800)
Пірометри	Квазімонохроматичні пірометри	700	6000 (100 000)
	Пірометри спектрального відношення	300	2800
	Пірометри повного випромінювання	-50	3500

**Термометри розширення. Скляні рідинні термометри.** Принцип дії скляних рідинних термометрів базується на розширенні термометричної рідини, вміщеної в термометр, залежно від температури. Скляні термометри за своєю конструкцією бувають кийові і з вкладеною шкалою. Скляний термометр із вкладеною шкалою складається зі скляного резервуара і припаяного до нього скляного капіляра (рис. 2.1). Уздовж капіляра розташована шкала, яка, як правило, наноситься на пластині молочного скла. Резервуар, капіляр і шкала містяться у скляній оболонці, що припаюється до резервуара. Кийові скляні термометри виготовляються з товстостінних капілярів, до яких припаюється резервуар. Шкала термометра наноситься на зовнішній поверхні капіляра. Температура вимірюваного середовища, у яку поміщені резервуар і частина капіляра, визначається за зміною об'єму термометричної рідини, відлічуваною за положенням рівня рідини в капілярі, що

відградуйовано в градусах Цельсія. У зв'язку з тим, що одночасно з розширенням термометричної рідини відбувається також розширення резервуара і капіляра, фактично ми судимо про температуру не за зміною об'єму рідини, а за видимою зміною об'єму термометричної рідини у склі. Тому видиме розширення рідини трохи менше дійсного. У табл. 2.2 наведені деякі термометричні рідини та їх характеристики.

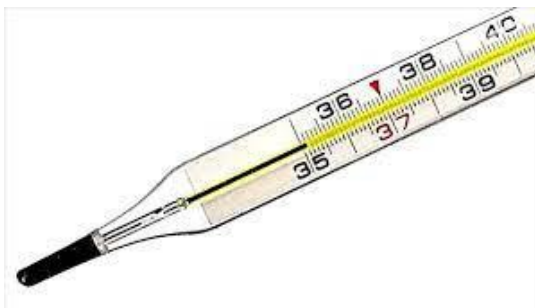


Рис. 2.1 – Ртутний термометр

Серед рідинних термометрів найбільшого поширення одержали ртутні скляні термометри. Хімічно чиста ртуть як термометрична речовина має ряд достоїнств: вона залишається рідиною в широкому інтервалі температур, не змочує скло, легко може бути отримана в чистому вигляді. Однак ртуть має відносно малий температурний коефіцієнт об'ємного розширення, що вимагає виготовлення термометрів з тонкими капілярами. Нижня межа виміру ртутних термометрів  $-35^{\circ}\text{C}$  визначається температурою затвердіння ртуті. Верхня межа виміру  $+600^{\circ}\text{C}$  визначається характеристиками міцності скла. У зв'язку з тим, що температура кипіння ртуті за атмосферного тиску значно менше верхньої межі застосування ртутних термометрів, у термометрах, призначених для виміру високих температур, капіляр над ртуттю заповнюється інертним газом,

наприклад, азотом. При цьому для виключення утворення пари ртуті в капілярі тиск газу повинен бути тим більше, чим вище верхня межа виміру. Для термометрів з верхньою межею виміру 600 °С тиск газу над ртуттю перевищує 3 МПа (30 кгс/см<sup>2</sup>).

Таблиця 2.2 – Термометричні рідини

Термометрична рідина	Середня температура, °С		Межі застосування, °С		Середній температурний коефіцієнт об'ємного розширення, 10 <sup>5</sup> , К <sup>-1</sup>	
	затвердіння	кипіння	нижня	верхня	дійсний	видимий
Ртуть	-38,9	356,6	-35	600	18	16
Толуол	-97,2	109,8	-90	200	109	107
Етиловий спирт	-114,5	78,0	-80	70	105	103
Керосин	–	До 325	-60	200	95	93
Петролейний ефір	–	До 70	-120	25	152	150
Пентан	-200	36	-200	20	92	90

Ртуть використовують найчастіше, оскільки вона існує у чистій формі, не погіршується з часом і не взаємодіє зі склом. Діапазон температур, у межах якого можливе застосування ртуті, становить -38,8-+356,7 °С. При вимірюванні низьких температур перевагу мають спирт (-117,3-+78,5 °С) або толуол (-95,1-+110,5 °С). Але останні дві речовини не такі стійкі, як ртуть, і можуть повільно розкладатися на сонці.

Скляні термометри з органічними термометричними рідинами застосовуються в інтервалі температур від -200 до +200°С. Однак ці рідини змочують скло і тому вимагають застосування капілярів з відносно великим діаметром каналу.

До достоїнств скляних рідинних термометрів належать висока точність виміру, простота і дешевина. Недоліками скляних термометрів є відносно погана видимість шкали, практична неможливість передачі показань на відстань і, отже, неможливість автоматичної реєстрації показань, а також неможливість ремонту термометрів.

Залежно від галузі застосування за методикою градування термометри поділяються на дві групи: термометри, які градуються при повному зануренні, і термометри, які градуються при неповному зануренні (як правило, за певної довжини занурення нижньої частини). Термометри першої групи застосовуються, як правило, у лабораторних умовах і дозволяють забезпечити більш високу точність. Глибина їх занурення повинна змінюватися за зміни температури. Термометри другої групи – технічні – застосовуються для виміру температур у промисловості; глибина їх занурення повинна бути постійною. У зв'язку з цим конструктивно технічні термометри виконані таким чином, що діаметр їх нижньої («хвостової») частини істотно менше діаметра їх верхньої частини, у якій розташована шкала. Ці термометри занурюються у вимірюване середовище на глибину нижньої частини. Розходження у градуванні і застосуванні скляних термометрів викликане тим, що при вимірі температури можуть мати місце систематичні похибки, характерні для даного засобу виміру. Однією з них є похибка за рахунок виступаючого стовпчика термометра. Якщо термометр градувався при повному його зануренні у вимірюване середовище до відлічуваної температурної оцінки, а на практиці він не був занурений до цієї оцінки і частина стовпчика термометричної речовини знаходилася поза вимірюваним середовищем, виступала з неї, то може мати місце похибка за рахунок виступаючого стовпчика. Ця похибка існує, коли температура виступаючої частини стовпчика термометричної рідини і частини, зануреної у вимірюване середовище, була різною, а виходить, буде різним і розширення зануреної і виступаючої частин

рідини.

Іншою похибкою, характерною для скляних термометрів розширення, є зсув нульової точки термометра. Цей зсув спостерігається після нагрівання термометра до температур, близьких до верхньої межі виміру. При наступному охолодженні термометра до  $0^{\circ}\text{C}$  скляний капіляр не відразу набуває тих же розмірів, що він мав до нагрівання. Тому ртуть, об'єм якої став дорівнювати початковому, буде розташована в капілярі, перетин якого ще не зменшився до початкового – трохи нижче оцінки  $0^{\circ}\text{C}$ . Цей зсув нульової точки термометра може досягати в технічних термометрах зі шкалою  $0\text{--}600^{\circ}\text{C}$  значення  $3^{\circ}\text{C}$ . У термометрів з меншою верхньою межею виміру цей зсув менше.

На даний час випускаються наступні різновиди скляних термометрів.

1. Технічні ртутні термометри із вкладеною шкалою прямі і кутові (рис. 2.2) випускаються 11 модифікацій зі шкалами від  $-90$  до  $+30$ ; від  $-60$  до  $+50$ ; від  $-30$  до  $+50$ ; від  $0$  до  $100$ ; від  $0$  до  $160$ ; від  $0$  до  $200$ ; від  $0$  до  $300$ ; від  $0$  до  $350$ ; від  $0$  до  $450$ ; від  $0$  до  $500$  і від  $0$  до  $600^{\circ}\text{C}$ .



Рис. 2.2 – Технічні скляні термометри (прямий та кутовий)



2. Лабораторні ртутні термометри кийові і з вкладеною шкалою призначені для виміру температур від  $-30$  до  $+600^{\circ}\text{C}$ . Ці термометри занурюються у вимірюване середовище до відлічуваної температурної оцінки. Термометри підрозділяються на чотири групи. Термометри з ціною розподілу  $0,1^{\circ}\text{C}$  мають діапазон виміру  $55^{\circ}\text{C}$  (наприклад,  $0-55^{\circ}\text{C}$  чи  $200-255^{\circ}\text{C}$ ) з верхньою межею виміру не більше  $305^{\circ}\text{C}$ . Для великих діапазонів виміру  $0-500^{\circ}\text{C}$ ,  $0-600^{\circ}\text{C}$  ціна розподілу шкали  $2^{\circ}\text{C}$ .

3. Рідинні (не ртутні) термометри випускаються кийові, із вкладеною шкалою і з зовнішньою шкальною пластиною на межі виміру від  $-200$  до  $+200^{\circ}\text{C}$  з ціною розподілу від  $0,2$  до  $5^{\circ}\text{C}$ .

4. Термометри ртутні підвищеної точності і зразкові випускаються з вузькими діапазонами виміру (від  $4$  до  $50^{\circ}\text{C}$ ) і з ціною розподілу від  $0,01$  до  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

5. Термометри ртутні електроконтактні (рис. 2.3) випускаються для підтримки постійної температури або сигналізації заданої температури в інтервалі від  $-30$  до  $+300^{\circ}\text{C}$ . Термометри випускаються з постійним робочим і з рухливим робочим контактами, які можуть бути встановлені на будь-якому значенні температури в межах шкали.

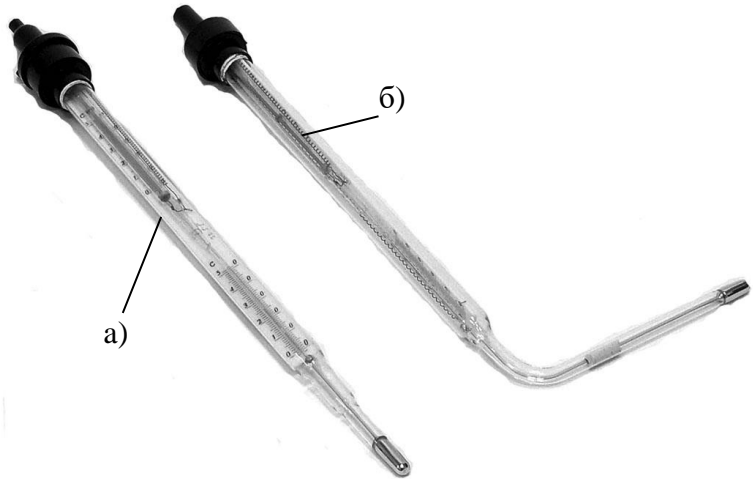


Рис. 2.3 – Технічні скляні електроконтактні термометри:  
а) прямий, б) кутовий.

6. Спеціальні термометри; медичні (максимальні), метеорологічні (максимальні, мінімальні, психрометричні, ґрунтові та ін.) та іншого призначення.

Похибки технічних термометрів, що допускаються, не повинні перевищувати розподілу шкали.

Скляні термометри є одним з найточніших засобів виміру температури.

**Манометричні термометри.** Принцип дії манометричних термометрів базується на залежності тиску термометричної речовини в герметично замкнутому об'ємі від температури. Термосистема манометричного термометра (рис. 2.4) складається з термобалона 1, капіляра 2 і манометричної пружини, один кінець якої з'єднаний з капіляром, а другий, запаяний кінець пружини, з'єднаний зі стрілкою вимірювального приладу 3.



Рис. 2.4 – Манометричний термометр

Схема конструктивного оформлення манометричного термометра, що показує, приведена на рис.2.5, а. Манометрична термосистема термометра складається з термобалона – 1, капіляра – 2 і манометричної пружини – 10. Температура термобалона, зануреного в досліджуване середовище (рис. 2.5, б), функціонально перетвориться в тиск робочої речовини манометричної системи. Сполучний капіляр передає зміна тиску на манометричну пружину. Тримач 3 з'єднує внутрішню порожнину закріпленого кінця пружини з капіляром. Вільний герметизований кінець пружини шарнірно пов'язаний повідцем 5 із зубцюватим сектором 4, що знаходиться в зачепленні з трубкою 10. На осі трубки насаджена стрілка – показчик 8. Зазор у передавальному механізмі вибирається спіральною пружинкою 7.

Термобалон має циліндричну форму, його діаметр і довжина залежать від роду термометричної речовини і діапазону що вимірюються температур. Термобалон

звичайно виконують із сталі 1Х18Н9Т.

Манометрична пружина має перетин овальної форми (рис. 2.5, в) або у виді вісімки (рис. 2.5, г). Профіль, перетини пружини останнього виду має перевагу.

При зміні температури термобаллона змінюється тиск усередині манометричної системи, відбувається деформація (розкручування або закрутка) пружини 10. Вільне переміщення кінця пружини за допомогою передавального механізму (ланка 5-7) перетворить до обертання стрілки-показчика 8 відносно шкали, що оцифрована у градусах Цельсія. Варіація температури середовища, у якому знаходиться пружина, тобто відхилення температури пружини від її нормального значення 20°C, компенсується за допомогою термоміметалевого компенсатора (рис.1.5, в).

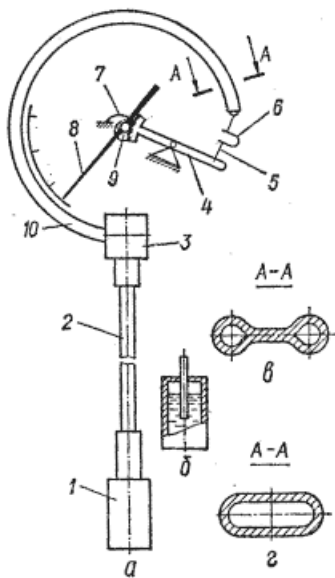


Рис. 2.5. Схема улаштування манометричного

термометру, що показує:

а – термосистема; б – термобаллон;

в, г – профілі пружини;

1 – термобаллон; 2 – капіляр; 3 – тримач; 4 – сектор; 5 – поводок; 6 – компенсатор; 7 – спіральний волосок; 8 – вказуюча стрілка; 9 – трубка; 10 – манометрична пружина.

Манометричні термометри залежно від виду робочої (термометричної) речовини, яка заповнює термосистему, підрозділяються на газові, рідинні і конденсаційні (табл.

2.3). Манометричні термометри виготовляються для виміру температур від  $-200$  до  $+600^{\circ}\text{C}$ , конкретні діапазони виміру визначаються заповнювачем термосистеми. Термометри зі спеціальним заповнювачем застосовуються для виміру температур від  $100$  до  $1000^{\circ}\text{C}$ .

Таблиця 2.3 – Види промислових манометричних термометрів

Тип термометру	Діапазон вимірів, $^{\circ}\text{C}$	Робоча речовина	Довжина капіляру, м
Газові ТГП, ТГС, ТГ	від $-150$ до $+600$	азот, аргон	0,6-60
Рідинні ТПЖ, ТЖС, ТЖ	від $-150$ до $+300$	пропіловий спирт, мета ксилол, ртуть, поліметилсилоксанова рідина	до 10
Конденсаційні ТКП, ТПП	від $-50$ до $+300$	пропілен ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ), фреон-22 ( $\text{CHF}_2\text{Cl}$ ), хлористий метил ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ )	до 25

Термобалон термометра занурюється у вимірюване середовище, і робоча речовина, що знаходиться в термобалоні, приймає температуру вимірюваного середовища. При цьому в термосистемі встановлюється тиск, обумовлений температурою вимірюваного середовища. За підвищення температури тиск підвищується, за зменшення температури – знижується. Зміна тиску робочої речовини через гнучкий капіляр передається на вимірний прилад, що є частиною манометричного термометра. Вимірювальний прилад є пружинним манометром, розрахованим на ті діапазони виміру тиску, що мають місце в термосистемах манометричних термометрів.

Газові манометричні термометри призначені для виміру температури від  $-200$  до  $+600^{\circ}\text{C}$ . Як робоча речовина в газових термометрах застосовується азот. Залежність тиску газу від температури за постійного об'єму описується лінійним рівнянням:

$$p_t = p_0(1 + \beta t),$$

де  $p_t$  і  $p_0$  – тиск газу за температур  $0$  і  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\beta$  – температурний коефіцієнт розширення газу,

$$\beta = 1/273, \text{ чи } 0,00366 \text{ K}^{-1}.$$

Рівняння шкали газового манометричного термометра буде також лінійним:

$$p_k - p_n = p_n \frac{\beta(t_k - t_n)}{1 + \beta t_n},$$

де  $p_n$  і  $p_k$  – тиск газу за температур, що відповідають початку  $t_n$  і кінцю  $t_k$  шкали термометра.

У зв'язку з тим, що за зміни температури за рахунок теплового розширення змінюється об'єм термобалона, а також змінюється з тиском внутрішній об'єм манометричної пружини, об'єм термосистеми не постійний. Тому реальне рівняння шкали трохи відрізняється від лінійного. Однак це відхилення незначне і можна вважати, що шкали газових манометричних термометрів є рівномірними. Діапазон зміни робочого тиску в термосистемі може бути збільшений шляхом збільшення початкового тиску азоту в термосистемі. Це дозволяє уніфікувати манометричні пружини, а також зменшує барометричну похибку манометричного термометра. Пружинні манометри вимірюють надлишковий тиск, і тому зміна барометричного тиску може викликати зміну їх показань. Якщо вимірюваний тиск буде значним, то коливання барометричного тиску практично не будуть впливати на показання приладу.

Зміна температури навколишнього повітря буде впливати на розширення робочої речовини в капілярі і манометричній пружині, що буде викликати зміну тиску в

термосистемі і відповідну зміну показань термометра. Для зменшення цього впливу прагнуть зменшити відношення внутрішнього об'єму пружини і капіляра до об'єму термобалона. Для цього збільшують довжину термобалона чи його діаметр. Довжина термобалона газового манометричного термометра не повинна перевищувати 400 мм, а діаметр термобалона обирається з ряду 5, 8, 10, 12, 16, 20, 25 і 30 мм (ГОСТ 8624-80). Довжина капіляра може складати від 0,6 до 60 м. Для зменшення температурної погрішності в деяких вимірювальних приладах усередині встановлюють термокомпенсатори. Спеціально виготовлені газові манометричні термометри можуть застосовуватися і для виміру температур більш низьких, чим  $0^{\circ}\text{C}$ . Наприклад, водневий газовий термометр може застосовуватися до  $-250^{\circ}\text{C}$ , а гелієвий – до  $-267^{\circ}\text{C}$ .

Рідинні манометричні термометри призначені для виміру температури від  $-150$  до  $+300^{\circ}\text{C}$ . Як робочу речовину, що заповнює термосистему, застосовують ртуть, пропиловий спирт, метаксилол та інші рідини. Робоча речовина рідинних манометричних термометрів практично нестислива. Тому зміна об'єму робочої рідини в термобалоні за зміни температури на величину, що відповідає діапазону виміру, викликає таке збільшення тиску в термосистемі, за якого манометрична пружина змінить свій внутрішній об'єм на величину зміни об'єму рідини. Тиск, за якого це буде мати місце, залежить від твердості пружини і для різних манометричних пружин може бути різним.

У рідинних манометричних термометрах похибка, викликана зміною барометричного тиску, як правило, відсутня, тому що тиск у системі значний. Похибка, викликана зміною температури навколишнього середовища, має місце й у рідинних манометричних термометрах. Для її зменшення застосовують ті ж способи, що й у газових манометричних термометрах: зменшують відносний об'єм рідини, що знаходиться за температури навколишнього середовища, зменшуючи внутрішній об'єм термокапіляра і

пружини, чи усередину вимірювального приладу вбудовують спеціальні термокомпенсатори похибки.

У рідинних манометричних термометрах може мати місце гідростатична похибка, що виникає за різних рівнів розташування термобалона і вимірювального приладу. Для зниження можливих гідростатичних похибок довжину капіляра зменшують до 10 м. Відстані, що допускаються, по висоті між термобалоном і вимірювальним приладом вказуються в інструкціях до приладів.

Конденсаційні манометричні термометри призначені для виміру температур від  $-50$  до  $+300$  °С. Термобалон термометра приблизно на  $3/4$  заповнений низькокиплячою рідиною, а інша частина заповнена насиченою парою цієї рідини. Кількість рідини в термобалоні повинна бути такою, щоб за максимальної температури не вся рідина переходила в пару. Як робочу рідину застосовують фреон-22, пропилен, хлористий метил, ацетон і етилбензол. Капіляр і манометрична пружина заповнюються, як правило, іншою рідиною. Тиск у термосистемі конденсаційного манометричного термометра буде дорівнювати тиску насиченої пари робочої рідини, обумовленому у свою чергу температурою, за якої знаходиться робоча рідина, тобто температурою вимірюваного середовища з поміщенням у неї термобалоном. Ця залежність тиску насичення пари від температури має нелінійний вид, вона однозначна, коли вимірювана температура не перевищує критичну.

У зв'язку з тим, що тиск у термосистемі залежить тільки від вимірюваної температури, на показання термометра не буде впливати температура навколишнього середовища. Практично невелика похибка буде мати місце за рахунок механізму передачі усередині манометра, але сам принцип виміру забезпечує незалежність від температури навколишнього середовища. Гідростатична похибка викликається різницею висот розташування термобалона і вимірювального приладу, причому ця похибка буде залежати від показань приладу: на початку шкали вона буде



більше, а наприкінці – менше. Довжина капіляра для зменшення цієї похибки не перевищує 25 м. Барометрична похибка у конденсаційних манометричних термометрів може мати місце на початковій ділянці шкали, коли тиск у термосистемі невеликий. В інших випадках вплив тиску буде нехтовно малим. Спеціально виготовлені конденсаційні манометричні термометри застосовуються для виміру наднизьких температур. Конденсаційні термометри, заповнені гелієм, використовуються для виміру температур від 0,8 К.

Манометричні термометри відрізняються простотою пристрою, можливістю дистанційної передачі показань і автоматичного запису. Однією з важливих переваг є можливість їх використання в пожежо- і вибухонебезпечних приміщеннях. До недоліків відносяться труднощі ремонту при розгерметизації системи, обмежена відстань дистанційної передачі показань і в багатьох випадках великі розміри термобалона. Газові і рідинні манометричні термометри мають клас точності 1; 1,5 і 2,5, конденсаційні – 1,5; 2,5 і 4.

**Термоелектричні термометри.** Застосування термоелектричних термометрів для виміру температури базується на залежності термоелектрорушійної сили термопари від температури. Термоелектрорушійна сила (термо-ЕРС) виникає в ланцюзі, складеному з двох різнорідних провідників за нерівності температур у місцях з'єднання цих провідників (рис. 2.6). Сучасна фізика пояснює термоелектричні явища в такий спосіб. З одного боку, унаслідок розходження рівнів Фермі в різних металах при їх зіткненні виникає контактна різниця потенціалів. З іншого боку, концентрація вільних електронів у металі залежить від температури. За наявності різниці температур у провіднику виникає дифузія електронів, що приводить до утворення електричного поля. Таким чином, термоелектрорушійна сила складається із суми стрибків потенціалу в контактах (спаях) термопари і суми змін

потенціалу, викликаних дифузією електронів, і залежить від роду провідників та їх температури.

Якщо в ланцюзі (рис. 2.6) температури місць з'єднання провідників  $a$  і  $b$  будуть однакові й рівні  $t$ , то й різниці потенціалів будуть рівні за значенням, але мати різні знаки:

$$e_{ab}(t) = -e_{ba}(t),$$

а сумарна термо-ЕРС і струм у ланцюзі будуть дорівнювати нулю:

$$E_{ab}(t, t) = e_{ab}(t) - e_{ba}(t) = 0.$$

Якщо  $t \neq t_0$ , то сумарна термо-ЕРС не дорівнює нулю:

$$E_{ab}(t, t_0) = e_{ab}(t) - e_{ab}(t_0) \neq 0,$$

тому що різниці потенціалів для тих самих провідників за різних температур не рівні:  $e_{ab}(t) = e_{ba}(t_0)$ . Результуюча термо-ЕРС залежить для даних провідників  $a$  і  $b$  від температур  $t$  і  $t_0$ . Щоб одержати однозначну залежність термо-ЕРС від вимірюваної температури  $t$ , необхідно іншу температуру  $t_0$  підтримувати постійною.

Для виміру термо-ЕРС у ланцюг термоелектричного термометра включають вимірювальний прилад, причому його включення вводить у ланцюг принаймні ще один, третій провідник.

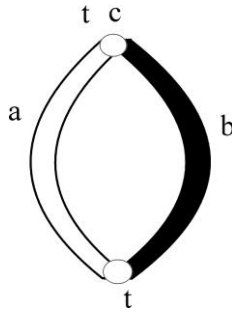


Рис. 2.6 – Термоелектричний ланцюг

Для того щоб з'ясувати, як впливає включення в ланцюг термоелектричного термометра третього провідника, розглянемо ланцюг, складений із трьох різних провідників  $a$ ,  $b$ ,  $c$  (рис. 2.7,а). Термо-ЕРС такого ланцюга за рівності температур усіх місць з'єднання буде:

$$E_{abc}(t) = e_{ab}(t) + e_{bc}(t) + e_{ca}(t) = 0;$$

Чи

$$e_{ab}(t) = -e_{bc}(t) - e_{ca}(t).$$

Розглянемо термоелектричний ланцюг із трьох провідників, коли температура місць приєднання третього провідника  $c$  не дорівнює вимірюваній температурі (рис. 2.7, б):

$$E_{abc}(t, t_0) = e_{ab}(t) + e_{bc}(t_0) + e_{ca}(t_0).$$

З цього випливає, що

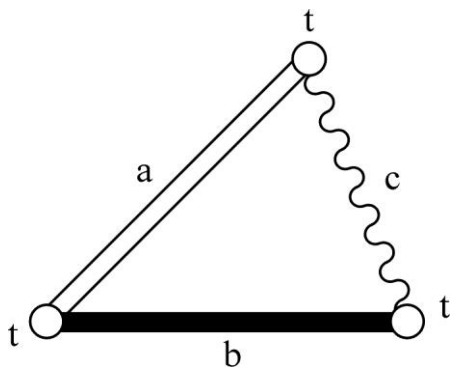
$$e_{bc}(t_0) + e_{ca}(t_0) = -e_{ab}(t_0).$$

Тоді можна записати:

$$E(t, t_0) = e_{ab}(t) - e_{ab}(t_0),$$

тобто термо-ЕРС ланцюга, складеного з трьох різнорідних провідників, не відрізняється від термо-ЕРС ланцюга, складеного з двох провідників, якщо температури місць приєднання третього провідника рівні. З закономірностей включення третього провідника можна зробити наступні висновки: включення одного, двох чи декількох провідників у ланцюг термоелектричного термометра не викликає перекручування термо-ЕРС термометра, якщо місця приєднання кожного з цих провідників будуть мати однакову температуру; робочий кінець термоелектричного термометра можна виготовляти шляхом зварювання або пайки, якщо температура у всіх точках спаю буде однакою.

На підставі особливостей включення третього провідника в ланцюг термоелектричного термометра можуть бути використані два варіанти включення вимірювального приладу ВП у ланцюг термоелектричного термометра: у розрив електрода (рис. 2.7, а) і в розрив спаю (рис. 2.7, б).



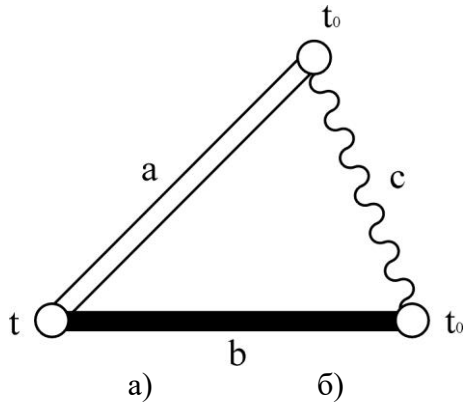


Рис. 2.7 – Включення третього провідника в ланцюг термопары

У першому випадку вимірювана температура (температура робочого кінця) буде  $t$ , температура вільних кінців, підтримувана постійною,  $t_0$  і температури місць приєднання третього провідника з вимірювальним приладом  $t_1'$  і  $t_1''$ . Щоб не було перекручування термо-ЕРС, що розвивається, температури  $t_1'$  і  $t_1''$  повинні бути рівні,  $t_1' = t_1''$ , а температура вільних кінців  $t_0 = \text{const}$ . В другому випадку третій провідник з вимірювальним приладом включається в розрив вільних кінців, тому місця приєднання третього провідника одночасно є вільними кінцями термоелектричного термометра. Ці температури повинні бути однакові як кінці третього провідника і постійні як вільні кінці. Якщо виконані ці умови, то включення вимірювального приладу не створює термо-ЕРС термометра.

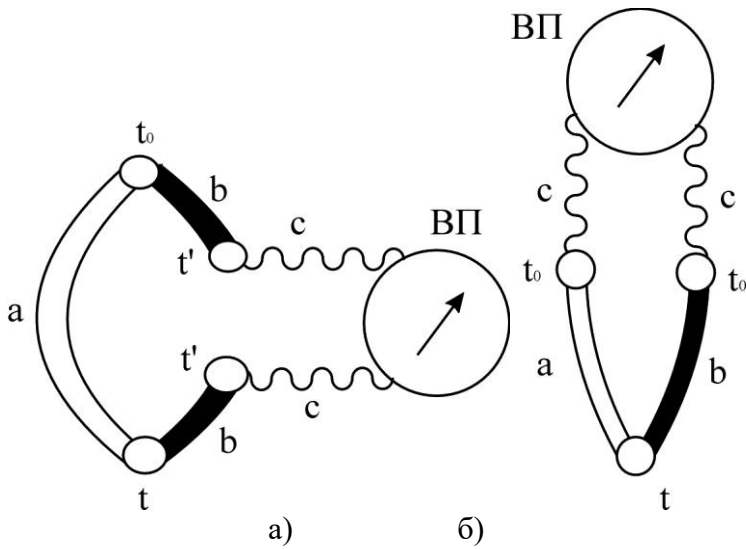


Рис. 2.8 – Включення вимірювального приладу в ланцюг термоелектричного термометра

Для виміру температури термоелектричним термометром необхідно вимірити термо-ЕРС, що розвивається термометром, і температуру вільних кінців. Якщо температура вільних кінців термометра при вимірі температури дорівнює  $0^{\circ}\text{C}$ , то вимірювана температура визначається відразу з градуювальної характеристики (таблиць, графіків) (рис. 2.9), що встановлює залежність термо-ЕРС від температури робочого спаю.

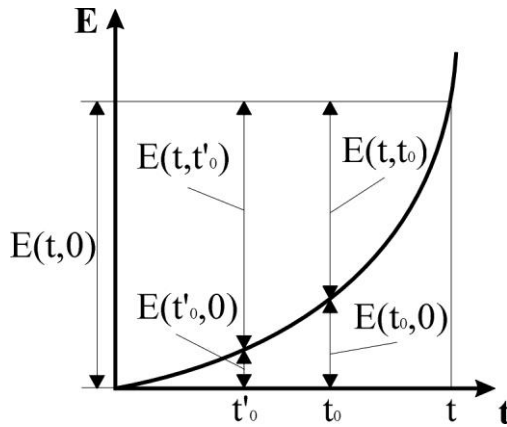


Рис. 2.9 – Уведення виправлення на температуру вільних кінців термоелектричного термометра

Градувальні характеристики термоелектричних термометрів визначені, як правило, за температури вільних кінців, рівній  $0^{\circ}\text{C}$ . Якщо температура вільних кінців на практиці відрізняється від  $0^{\circ}\text{C}$ , але залишається постійною, то для визначення температури робочого кінця за градувальною характеристикою необхідно знати не тільки термо-ЕРС, що розвивається термометром, а й температуру вільних кінців  $t_0$ . Щоб увести виправлення на температуру вільних кінців  $t_0$ , якщо  $t_0 \neq 0$ , необхідно до термо-ЕРС, що розвивається термоелектричним термометром  $E(t, t_0)$ , додати  $E(t_0, 0)$ , щоб одержати значення термо-ЕРС  $E(t, 0)$ :

$$E(t, t_0) + E(t_0, 0) = E(t, 0).$$

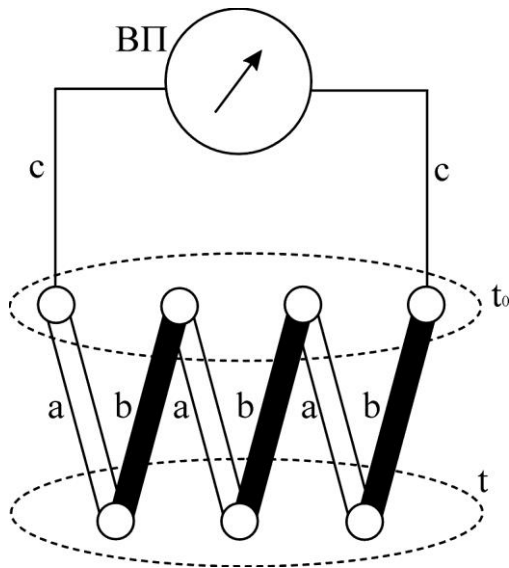


Рис. 2.10 – Термобатарея

Таку термо-ЕРС  $E(t,0)$  розвиває термоелектричний термометр за температури робочого спаю  $t$  і температури вільних кінців  $0^{\circ}\text{C}$ , тобто за умов градуювання.

Якщо в процесі виміру температура вільних кінців прийме якесь нове значення  $t_0'$ , то термо-ЕРС, що розвивається термометром, буде  $E(t, t_0')$  (рис. 2.7) і величина виправлення на температуру вільних кінців буде  $E(t_0',0)$ , а термо-ЕРС, що відповідає умовам градуювання:

$$E(t, t_0') + E(t_0', 0) = E(t, 0).$$

Значення виправлення на температуру вільних кінців термоелектричного термометра залежить від градуювальної характеристики термометра, обумовленої матеріалами провідників, з яких виготовлений термоелектричний термометр. Незалежно від способу уведення виправлення (розрахункового чи автоматичного) методика уведення виправлення залишається незмінною: визначається



розрахунковим шляхом чи автоматично у схемі виходить значення  $E(t_0, 0)$ , яке потім сумується з термо-ЕРС термопар. Сумарна термо-ЕРС  $E(t, 0)$  відповідає градууювальному значенню. Для рішення окремих задач вимірів температури застосовуються різні способи з'єднання термоелектричних термометрів. Найбільш розповсюджені з них – термобатарея і диференціальна термопара. Для збільшення коефіцієнта перетворення термоелектричного термометра застосовують послідовне включення декількох термопар (термобатарею) (рис. 2.10). При цьому термо-ЕРС, що розвивається термопарами, сумується, тобто термо-ЕРС термобатареї, що складається з  $n$  термопар, у  $n$  раз більше термо-ЕРС окремої термопари. Таке включення застосовують для вимірів за малих різниць температур робочого  $t$  і вільного  $t_0$  кінців. Однак, як правило, температури в різних точках розташування робочих і вільних кінців не зовсім однакові, внаслідок неоднорідності температурних полів. Тому термобатарея, збільшуючи термо-ЕРС термометра, дозволяє зменшити похибку виміру термо-ЕРС, але не підвищує істотно точності виміру температури.

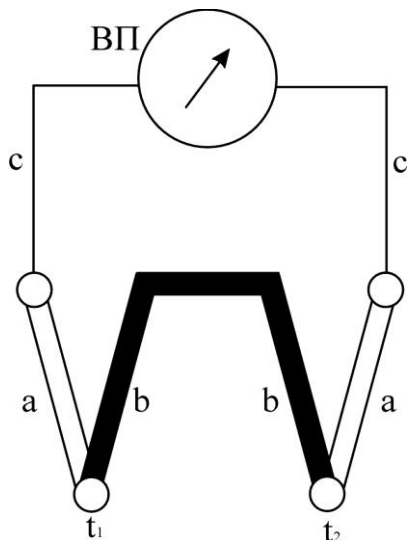


Рис. 2.11 – Диференціальний термоелектричний термометр

У деяких випадках виникає необхідність виміру різниці температур у двох точках. Для цього розташовують робочий спай термопари в одній із точок, а вільні кінці – в іншій точці (рис. 2.11). У цьому випадку термо-ЕРС, що розвивається термометром, буде визначатися температурами робочого спаю  $t_1$  і вільних кінців  $t_2$ :

$$E(t_1, t_2) = e(t_1) - e(t_2).$$

Якщо в інтервалі температур  $t_1 - t_2$  залежність термо-ЕРС від температури може бути апроксимована лінійною залежністю, то рівняння прийме вид:

$$E(t_1, t_2) = k (t_1 - t_2).$$

Така лінійна апроксимація звичайно справедлива для будь-якої термопари за різниці температур, що не перевищує 20–25 °С.

**Будова термоелектричних термометрів і**

**застосовувані матеріали.** Два будь-яких різнорідних провідники можуть утворити термоелектричний термометр. Як же вибрати, які з провідників можуть бути використані для виготовлення термоелектричних термометрів і з яких провідників доцільніше виготовляти термоелектричні термометри? До матеріалів, використовуваних для виготовлення термоелектричних термометрів, пред'являється цілий ряд вимог: жаростійкість, жароміцність, хімічна стійкість, відтворюваність, стабільність, однозначність і лінійність градуювальної характеристики і ряд інших. Серед них є обов'язкові і бажані вимоги. До числа обов'язкових вимог належать стабільність градуювальної характеристики і (для стандартних термометрів) відтворюваність у необхідних кількостях матеріалів, що мають цілком певні термоелектричні властивості. Всі інші вимоги є бажаними. Наприклад, можуть бути дуже жароміцні матеріали, відтворені з однозначною і лінійною градуювальною характеристикою і високим коефіцієнтом перетворення. Але якщо градуювальна характеристика цих матеріалів нестабільна, то вимірювати таким термометром не можна. З іншого боку, матеріали, що мають низький коефіцієнт перетворення, нелінійну градуювальну характеристику, але стабільну характеристику, використовуються для термоелектричних термометрів.

Відповідно до стандартів будуть застосовуватися наступні стандартні термоелектричні термометри.

Мідь-копелеві та мідь-міднонікелеві типу Т (близькі до мідь-константанових) термоелектричні термометри застосовуються головним чином для виміру низьких температур у промисловості і лабораторній практиці. Застосування цих термометрів для температур менше  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  ускладнюється істотним зменшенням коефіцієнта перетворення зі зменшенням температури. За температур понад  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  починається інтенсивне окислювання міді, що обмежує застосування термометрів цих типів.

Залізо-міднонікелеві, близькі до залізо-константанових термоелектричних термометрів типу J, застосовуються в широкому діапазоні температур від  $-200$  до  $+700$  °C, а короткочасно – і до  $900$  °C. Вони мають досить великий коефіцієнт перетворення (близько  $55$  мкВ/°C). Верхня межа виміру обмежена окислюванням заліза та міднонікелевого сплаву.

Таблиця 2.4 – Стандартні термоелектричні термометри

Тип терморпарі термоелектричного термометра	Позначення	Робочий діапазон тривалого режиму роботи, °C	Максимальна температура короткочасного режиму роботи, °C
1	2	3	4
Мідь-копелева	–	$-200 \div +100$	–
Мідь-міднонікелева	T	$-200 \div +400$	–
Залізо-міднонікелева	J	$-200 \div +700$	900
Хромель-копелева	(ХК)	$-50 \div +600$	800
Нікельхром-міднонікелева	E	$-100 \div +700$	900
Нікельхром-нікельалюмінієва (хромель-алюмелева)	K (ХА)	$-200 \div +1000$	1300
Платинородій (10 %)-платинова	S (ПП)	$0 \div +1300$	1600
Платинородій (30 %)-платиноро-дієва (6 %)	B(ПР)	$300 \div 1600$	1800
Вольфрамрений (5 %)-вольфрам-ренієва (20 %)	(ВР)	$0 \div 2200$	2500

Хромель-копелеві термоелектричні термометри мають найбільший коефіцієнт перетворення з усіх стандартних термометрів (близько  $70-90$  мкВ/°C). Для термометрів з

термоелектродами діаметром менше 1 мм верхня межа тривалого застосування менше 600 °С і складає, наприклад, для термоелектродів діаметром 0,2–0,3 мм тільки 400°С. Верхня межа застосування визначається стабільністю характеристик копелевого термоелектрода.

Нікельхром-міднонікелеві (тип Е), близькі до хромель-константанових і нікельхром-нікельалюмінієвих (тип К) термометрів, які раніше називались хромель-алюмелевими, застосовуються для виміру температури різних середовищ у широкому інтервалі температур. Термоелектрод з нікель-алюмінієвого дроту менш стійкий до окислювання, ніж нікельхромовий. Верхні межі застосування залежать від діаметра термоелектродів. Для термоелектродів діаметром 3–5 мм верхня межа тривалого застосування нікельхром-нікельалюмінієвих термометрів складає 1000 °С, а для діаметра 0,2–0,3 мм – не більше 600 °С. Для нікельхром-міднонікелевої термопари він не перевищує 700 °С.

Усі перераховані вище термоелектричні термометри з неблагородних матеріалів добре стоять в інертній і відбудовній атмосфері, в окисній атмосфері їх термін служби обмежений. Крім того, термоелектричні термометри хромель-копелеві та нікельхром-нікельалюмінієві (хромель-алюмелеві) відрізняються досить високою стабільністю градууювальної характеристики за високої інтенсивності іонізуючих випромінювань.

Платинородій-платинові термоелектричні термометри (тип S) можуть довгостроково працювати в інтервалі температур від 0 до 1300 °С, а короткочасно – до 1600 °С. Позитивний термоелектрод являє собою сплав, що складається на 10 % з родію і на 90 % із платини, негативний термоелектрод складається з чистої платини. Ці термометри зберігають стабільність градууювальної характеристики в окисному і нейтральному середовищах. У відбудовній атмосфері платинородій-платинові термометри працювати не можуть, тому що відбувається істотна зміна термо-ЕРС термометра. Так само несприятливо впливає на

платинородій-платинові термометри контакт із вуглецем, парами металів, з'єднаннями вуглецю і кремнію, а також низкою інших матеріалів, що забруднюють термоелектроди. Слід зазначити, що градуювальна характеристика типу S не збігається з градуювальною характеристикою ПП, що застосовувалася раніше.

Платинородій-платинородієві термоелектричні термометри (тип В) застосовуються довгостроково в інтервалі температур від 300 до 1600°C, короткочасно – до 1800 °С. Позитивний електрод – сплав з 30 % родію і 70 % платини, а негативний – з 6 % родію і 94 % платини. Ці термометри відрізняються більшою стабільністю градуювальної характеристики, ніж платинородій-платинові, але вони також погано працюють у відбудовному середовищі. У зв'язку з тим що термо-ЕРС, що розвивається платинородій-платинородієвими термометрами в інтервалі температур 0–100 °С, незначна, при технічних вимірах їх можна застосовувати без термостатування вільних кінців. Наприклад, якщо температура вільних кінців 70 °С і виправлення на неї не вводиться, то за температури робочого спаю 1600 °С це викликає похибку близько 2,1 °С. Градуювальна характеристика типу В також не збігається з градуювальною характеристикою ПР.

Вольфрамрений-вольфрамрениєві термоелектричні термометри призначені для тривалого виміру температур від 0 до 2200 °С і короткочасно до 2500°C в вакуумі, у нейтральному і відбудовному середовищах. Позитивний термоелектрод – сплав з 95% вольфраму і 5% ренію, негативний – сплав з 80% вольфраму і 20% ренію.

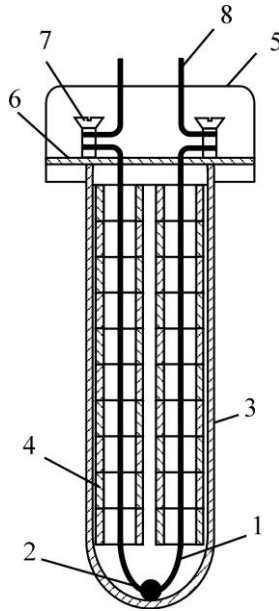


Рис. 2.10 – Будова термоелектричного термометра

Для зручності застосування термоелектричний термометр спеціальним чином армується. При цьому переслідуються наступні цілі: електрична ізоляція термоелектродів, захист термоелектродів від шкідливого впливу вимірюваного і навколишнього середовищ; захист термоелектродів і затисків виводів термоелектродів від забруднень і механічних ушкоджень; надання термоелектричному термометру необхідної механічної міцності; забезпечення зручності монтажу на технологічному устаткуванні та зручності підключення сполучних проводів. На рис. 2.10 показана будова термоелектричного термометра. Термоелектроди 1 розташовані так, що їх спай 2 стосується захисного чохла 3. На термоелектроди одягнуті ізоляційні намиста 4. На кінці захисного чохла кріпиться головка термометра 5. У головці розташована колодка 6 із затисками 7 для термоелектродів і сполучних проводів 8.

Робочий спай термоелектричного термометра найчастіше виготовляється шляхом зварювання, в окремих випадках застосовують пайку.



Рис. 2.11 – Зовнішній вигляд деяких термоелектричних термометрів

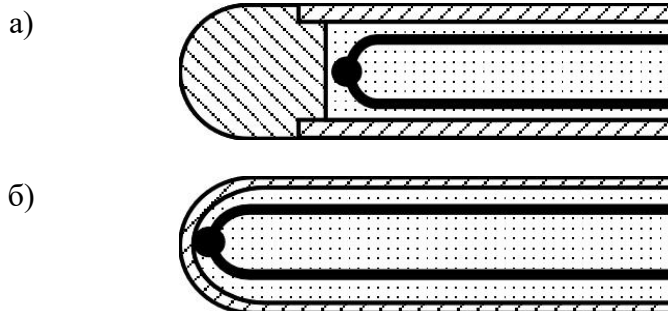


Рис. 2.12 – Будова термометрів кабельного типу:  
а) з ізолюваним спаєм, б) – з неізолюваним спаєм

Для захисту термоелектродів від впливу вимірюваного середовища їх поміщають у захисний чохол з газонепроникних матеріалів, що витримують необхідні високі температури і тиски середовища. Захисні чохла



виготовляють найчастіше з різних марок сталі для температур до 1000 °С. За більш високих температур застосовуються спеціальні чохла з тугоплавких з'єднань. Ці чохла виготовляються з діборида цирконію з молібденом для виміру температури сталі, чавуну і відбудовного газового середовища до 2200 °С. Для виміру розплавленого скла й окисного газового середовища до 1700 °С застосовуються чохла з дісиліцида молібдену. Більшість конструкцій захисної арматури термоелектричних термометрів на даний час уніфіковані. Вони відрізняються в основному конструкцією захисних чохла, розрахованих на різні тиски, і конструкцією штуцерів. Головка до захисних чохла для багатьох модифікацій та сама.

**Термометри опору і методи виміру опору.** Принцип дії термометрів опору базується на здатності різних матеріалів (у першу чергу металів) змінювати свій електричний опір зі зміною температури. Параметр, що характеризує зміну електричного опору з температурою, називають температурним коефіцієнтом електричного опору. Для матеріалів, у яких температурний коефіцієнт не залежить від температури, він може бути визначений як

$$\alpha = (R_t - R_0)/(R_0 t),$$

де  $R_t$  і  $R_0$  – опір за температури  $t$  і  $0^\circ\text{C}$ .

Для матеріалів, у яких температурний коефіцієнт залежить від температури, він може бути визначений тільки для кожного значення температури як

$$\alpha = (1/R_0)(dR_t / dt).$$

Температурний коефіцієнт виражається в  $^\circ\text{C}^{-1}$  чи  $\text{K}^{-1}$ . Для більшості чистих металів температурний коефіцієнт знаходиться в межах  $0,0035\text{--}0,0065 \text{ K}^{-1}$ . У сплавів цей

коефіцієнт істотно менше й у деяких випадках наближається до нуля (для манганіну складає  $2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ). Для напівпровідникових матеріалів температурний коефіцієнт негативний і на порядок більше, ніж у металів ( $0,01-0,15 \text{ K}^{-1}$ ).

Термометри опору з чистих металів, як правило, виготовляють шляхом спеціального намотування тонкого дроту на каркас з ізоляційного матеріалу. Для запобігання ушкодженням дрiт разом з каркасом поміщають у захисну оболонку. На даний час застосовуються й інші конструкції термометрів опору.

Матеріали, застосовувані для виготовлення технічних термометрів опору, повинні відповідати тим же обов'язковим вимогам, що пред'являються до матеріалів, які йдуть на виготовлення термоелектричних термометрів. По-перше, це вимога стабільності градуувальної характеристики і, по-друге, вимога відтворюваності. Якщо не виконується хоча б одна з цих вимог, матеріал не може бути використаний для серійного виготовлення технічних термометрів. Всі інші вимоги: висока чутливість, лінійність градуувальної характеристики, великий питомий опір та ін. – є не обов'язковими, а бажаними. На сьогодні для виготовлення термометрів опору застосовуються наступні метали: мідь, платина і нікель. Мідь є дешевим матеріалом, що може бути високої чистоти. Вона може бути отримана у вигляді тонких дротів у різній ізоляції. Опір міді змінюється з температурою практично лінійно:

$$R_t = R_0(1 + \alpha_0 t),$$

де  $R_t$  і  $R_0$  – опір термометра за температури  $t$  і  $0^\circ\text{C}$ ;  
 $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору мідного дроту,  $\alpha = 4,28 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

У зв'язку з окислюваністю міді вона використовується для виміру температур не вище  $200^\circ\text{C}$ . До числа недоліків міді слід віднести малопитомий опір:  $\rho = 0,17 \times 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

Питомий опір впливає на габарити термометра опору: чим менше питомий опір, тим більше потрібно дроту, щоб намотати такий же опір, тим більше габарити термометра.

Мідні термометри опору можуть застосовуватися для тривалого виміру температури від  $-200$  до  $+200$  °С. Вони випускаються II і III класів. Номінальні опори при 0°С складають 10, 50 і 100 Ом.

Межа основної похибки, що допускається, обирається з ряду 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10 і  $\pm 20$  С. Для термометрів II класу він, як правило, складає 0,3 чи 0,5 °С, а для III класу 1 чи 2°С.

На теперешній час випускаються нікелеві термометри опору на інтервал температур від  $-60$  до  $+180$  °С. Вони випускаються III класу. Номінальні опори при 0°С складають 50 і 100 Ом. Нікель володіє високим температурним коефіцієнтом, що сягає  $\alpha = 6,75 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ , і великим питомим опором  $\rho = 1,28 \times 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , що дозволяє одержувати досить малогабаритні термометри з великим коефіцієнтом перетворення. Номінальне відношення  $R_{100}/R_0$  для слабо легovanого нікелю встановлено  $1,617 \pm 0,004$ .

Чиста платина є одним з найбільш розповсюджених металів, застосовуваних для виготовлення термометрів опору. Платина відповідає обов'язковим вимогам, пропонованим до матеріалів для виготовлення термометрів опору. Платинові термоперетворювачі опору застосовуються для виміру температур від  $-260$  до  $+1100$  °С. Опір платини має складну нелінійну залежність від температури.

Платинові термометри опору можуть мати наступні опори при 0°С: 1, 5, 10, 50, 100 і 500 Ом. Цим термоперетворювачам опору привласнені наступні умовні позначки номінальної статичної характеристики перетворення: 1П, 5П, 10П, 50П, 100П і 500П (термометри з опором  $R_0 = 46$  Ом позначаються гр. 21). Одним з недоліків платини є її забруднення у відбудовному середовищі парами металів, окислами вуглецю та інших

речовин. Особливо сильно це виявляється за високих температур.

Крім металів для виготовлення термометрів опору, застосовують також напівпровідникові матеріали: германій, окисли міді, марганцю, кобальту, магнію, титана та їх суміші. Більшість напівпровідникових матеріалів має великий негативний температурний коефіцієнт опору і також дуже великий питомий опір. Тому можна виготовляти дуже малі за розмірами чутливі елементи термоперетворювачів опору, що мають значний коефіцієнт перетворення. Залежність опору напівпровідникового термоперетворювача (терморезистора) від температури може бути описана виразом:

$$R_t = R_0 \exp\left(B \frac{T_0 - T}{T_0 T}\right).$$

Значення  $R_0$  визначається опором термометра за температури  $T_0$  [як правило,  $T_0=293$  К ( $20^\circ\text{C}$ )], а значення  $B$  залежить від матеріалу напівпровідника, з якого виготовляється термометр. У зв'язку з тим, що технологія одержання напівпровідникових термоперетворювачів опору не дозволяє виготовляти їх з ідентичними характеристиками (вони не відповідають цілком вимозі відтворюваності), усі напівпровідникові термоперетворювачі опору мають індивідуальні градувальні характеристики. Особливо великого поширення одержали германієві терморезистори для виміру температур від 1,5 К і вище. Для інтервалу від 4,2 до 13,81 К вони застосовуються для відтворення температурної шкали. Германієві терморезистори, застосовувані для технічних вимірів, мають межу похибок, що допускаються,  $\pm (0,05-0,1)$  К. Для виміру температур від  $-100$  до  $+300$   $^\circ\text{C}$  застосовуються окисні напівпровідникові матеріали. Коефіцієнти перетворення напівпровідникових терморезисторів можуть бути на кілька порядків вище, ніж у

термометрів опору з чутливим елементом з металевого дроту. Однак необхідність індивідуального градування (або визначення значень А і В) істотно обмежує можливості широкого застосування напівпровідникових терморезисторів для виміру температури.

Напівпровідникові терморезистори знаходять широке застосування в системах температурної сигналізації. Це викликано тим, що вони мають здатність змінювати свій опір за досягнення певної температури стрибкоподібно в кілька разів, що викликає відповідне збільшення струму і спрацьовування системи сигналізації (релейний ефект).

Чутливий елемент металевого термометра опору складається, як правило, з дроту або стрічки, намотаної на каркас зі скла, кварцу, кераміки, слюди чи пластмаси. Від чутливого елемента йдуть виводи до затисків головки термометра, до яких приєднуються проводи, що йдуть потім до вимірювального приладу. Варіант пристрою термометра опору приведений на рис. 2.13. Чутливий елемент термометра опору виконується у вигляді спіралі з дроту, поміщеної в чотирьохканальний керамічний каркас. Для захисту від механічних ушкоджень і шкідливого впливу вимірюваного чи навколишнього середовища чутливий елемент поміщений у захисну оболонку, ущільнену керамічною втулкою. Виводи чутливого елемента проходять через ізоляційну керамічну трубу. Усе це знаходиться в захисному чохлах 1, установленому на об'єкті виміру за допомогою різьбового штуцера 3. На кінці захисного чохла розташовується сполучна головка термометра. У головці знаходиться ізоляційна колодка 2 із гвинтами для кріплення виводів термометра і підключення сполучних проводів. Головка закривається кришкою. Сполучні проводи виводяться через штуцер. Для зменшення впливу зовнішніх електричних і магнітних полів чутливі елементи термометрів опору роблять з безіндуктивним намотуванням.

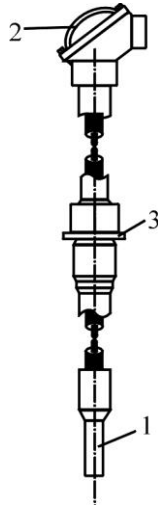


Рис. 2.13 – Будова термометра опору

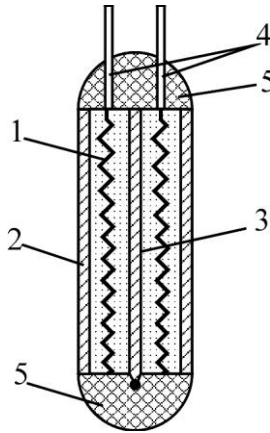


Рис. 2.14 – Чутливий елемент платинового термометра опору

Чутливий елемент мідного термометра опору складається з мідного ізолюваного дроту діаметром 0,1 мм, намотаного в кілька шарів на циліндричний каркас з пластмаси або металу. Шари дроту скріплюються між собою і каркасом лаком. До обох кінців дроту припаюються мідні

виводи діаметром 1–1,5 мм. Чутливий елемент поміщають у захисну оболонку. Крім каркасних випускаються безкаркасні чутливі елементи мідних термометрів опору. Чутливий елемент виготовляється з ізольованого дроту діаметром 0,08 мм безіндуктивним безкаркасним намотуванням. Окремі шари скріплені лаком, і потім весь чутливий елемент обернутий фторопластовою плівкою. Чутливий елемент поміщають у тонкостінну захисну металеву оболонку, яка засипається керамічним порошком і герметизується.

Чутливий елемент платинових термометрів складається з двох чи чотирьох платинових спіралей, розташованих у капілярних каналах керамічного каркаса 2 (рис. 2.14). Канали каркаса заповнюються керамічним порошком 3, що служить ізолятором і створює підпружування спіралей. До кінців спіралей припаяні виводи 4 із платинового або іридієво-родієвого дроту. Чутливий елемент у керамічному каркасі герметизується спеціальною глазур'ю 5. Така конструкція забезпечує гарну герметичність через малу газопроникність кераміки каркаса і глазури. Закріплення спіралі тільки у двох точках забезпечує незначну механічну напругу. Чутливі елементи виявляються внаслідок щільного засипання простору між спіралями і каркасом керамічним порошком досить міцними і вібростійкими. Вони можуть застосовуватися в інтервалі температур від  $-260$  до  $+1000^{\circ}\text{C}$ . Спеціально для низькотемпературних вимірів розроблені конструкції мініатюрних платинових термометрів опору.

В експлуатації застосовуються чутливі елементи платинових термометрів опору зі слюдяним каркасом, на якому намотаний спеціальним чином неізольований платиновий дріт. У лабораторній практиці застосовуються платинові термометри опору з каркасом з кварцу або спеціального скла також з неізольованим платиновим дротом. Труднощі покриття платини ізоляційними лаками та емаллями не давали можливості одержувати платиновий дріт

в ізоляції, що істотно утрудняло розробку малогабаритних і надійних платинових термометрів опору.

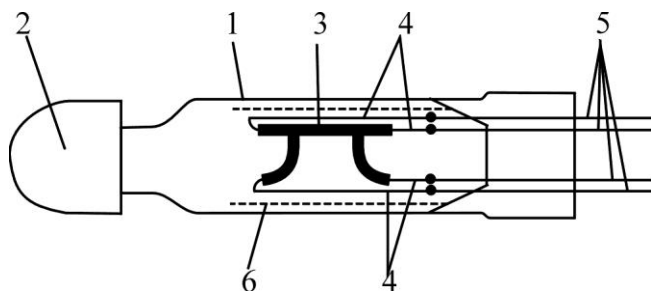


Рис. 2.15 – Чутливий елемент германієвого термометра опору

Германієві термометри опору для низькотемпературних вимірів являють собою мідну луджену гільзу (рис. 2.15), що заповнена газоподібним гелієм і закрита герметичною пробкою 2. Усередині гільзи знаходиться монокристал германія 3, легований сурмою. До кристала приварені чотири золотих провідники 4, до яких припаяні платинові виводи 5. Кристал ізолюваний плівкою 6. Такі термометри застосовуються для виміру температур від 1,5 до 50 К.

У лабораторній практиці іноді зустрічаються платинові термометри закордонного виробництва, які являють собою платиновий дріт або стрічку, запаяну у скло. Такі термометри можуть надійно працювати до 500–600 °С. За більш високих температур скло стає електропровідним і, крім того, температурні напруги можуть істотно спотворити результати виміру.

**Пірометри.** Усі розглянуті вище термометри для виміру температури (термометри розширення, термоелектричні й опору) передбачають безпосередній контакт між чутливим елементом термометра і вимірюваним тілом чи середовищем. Тому такі методи виміру температури іноді називаються контактними. Верхня межа



застосування контактних методів обмежується значеннями 1800–2200 °С. Однак у ряді випадків у промисловості і при дослідженнях виникає необхідність вимірювати більш високі температури. Крім того, часто неприпустимий безпосередній контакт термометра з вимірюваним тілом чи середовищем. У цих випадках застосовуються безконтактні засоби виміру температури, що вимірюють температуру тіла чи середовища за тепловим випромінюванням. Такі засоби виміру називаються пірометрами. Пірометри, що серійно випускаються, застосовуються для виміру температур від 20 до 6000 °С.

Безконтактні методи виміру теоретично не мають верхньої межі виміру і можливості їх використання визначаються відповідністю спектрів випромінювання вимірюваних тіл чи середовищ і спектральних характеристик пірометрів. Якщо для яких-небудь умов можуть бути використані і контактні, і безконтактні методи виміру, то, як правило, перевагу слід віддати контактним, тому що вони дозволяють забезпечити більш високу точність виміру.

Усі тіла випромінюють електромагнітні хвилі різної довжини  $\lambda$  чи частоти  $\nu$ . Електромагнітне випромінювання, порушуване тепловим рухом молекул, називають тепловим випромінюванням. Це випромінювання має місце за температур до 4000 °С як результат коливального або обертального руху молекул. За більш високих температур випромінювання викликається в основному процесами дисоціації та іонізації.

Якщо випромінювання якого-небудь тіла падає на інше, непрозоре для цього випромінювання тіло, то воно поглинається на поверхні і перетворюється на теплоту. Взагалі процеси поглинання і випромінювання взаємно оборотні. Промені, що падають ззовні на поверхню тіла, можуть цілком або частково відбиватися від поверхні, поглинатися тілом, проходити через тіло.

Існує велике число різних методів виміру температури

тіл за випромінюванням, але для виміру високих температур у реальних технологічних процесах застосовуються наступні типи пірометрів: квазімонохроматичний, повного випромінювання і спектрального відношення. У ряді випадків у зв'язку з технічними труднощами реалізації методу повного випромінювання застосовуються пірометри часткового випромінювання.

Залежно від методу виміру, пірометри поділяються на квазімонохроматичні, спектрального відношення (чи спектрального розподілу), повного (чи часткового) випромінювання.

У назві пірометра може вказуватися тип приймача випромінювання, наприклад фотоелектричний (фотоелемент, фоторезистор, фотодіод тощо) чи термоелектричний (термобатарей). Іноді в назві пірометра вказується спосіб порівняння випромінювання об'єкта виміру з випромінюванням еталонного джерела, наприклад пірометр зі зникаючою ниткою або пірометр з оптичним клином.

**Квазімонохроматичний пірометр зі зникаючою ниткою.** На рис. 2.16 представлена принципова схема оптичного пірометра. Випромінювання від об'єкта виміру 1 проходить через об'єктив 2 і фокусується в площині 3. У цій же площині розташована нитка пірометричної лампи 4. Зображення об'єкта виміру і нитки пірометричної лампи може бути розглянуто спостерігачем 6 (пірометристом) через окуляр 5. Між ниткою пірометричної лампи й окуляром розташовується червоний світлофільтр 7. Між об'єктивом і ниткою пірометричної лампи може вводитися поглинаюче скло 8. Для зміни розжарення нитки застосовується реостат 9, який змінює струм, що проходить через нитку пірометричної лампи від джерела живлення 10. Значення струму вимірюється приладом 11, відградуїтованим у значеннях яскравісної температури.

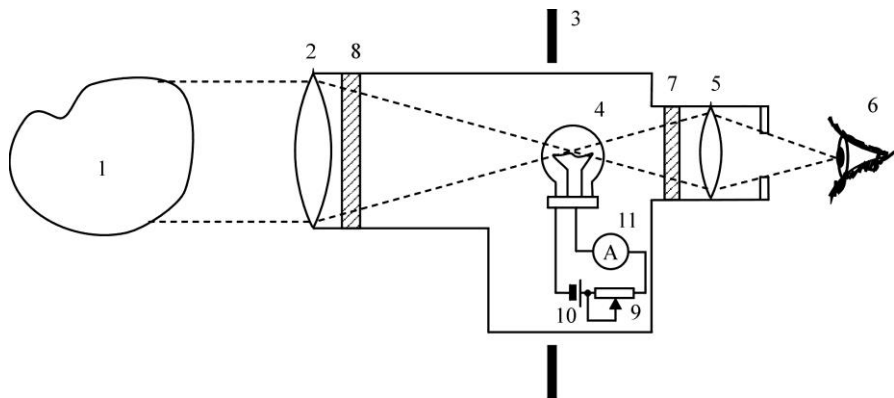


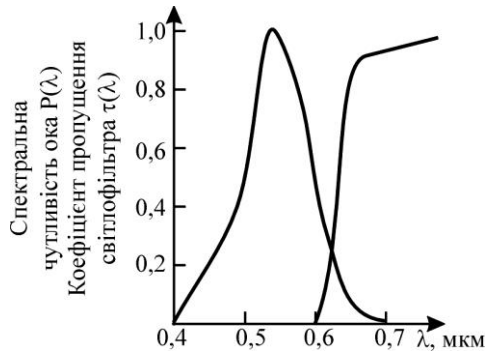
Рис. 2.16 – Принципова схема квазімонохроматичного пірметра

Перед початком вимірів проводиться настроювання оптичної системи (об'єktiv-окуляр) таким чином, щоб зображення об'єкта виміру і нитка пірметричної лампи знаходилися в одній площині. Це досягається переміщенням об'єктива. Крім того, необхідно, щоб нитка пірметричної лампи на зображенні об'єкта виміру була видна спостерігачу чітко, різко. Це досягається переміщенням окуляра.

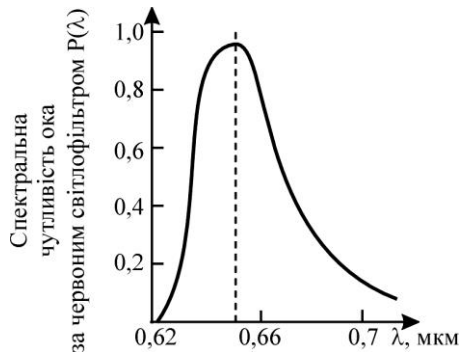
Квазімонохроматичний пірметр передбачає вимір температури по спектральній енергетичній яскравості тіла, тобто по випромінюванню за певної довжини хвилі. Для монохроматизації (виділення певної довжини хвилі) випромінювання в пірметрі встановлюється червоний світлофільтр. На рис. 2.17, а представлені спектральні характеристики людського ока  $P(\lambda)$  і червоного світлофільтра і показано, що через червоний світлофільтр людське око сприймає випромінювання у вузькій ділянці спектра з ефективною довжиною хвилі  $\lambda_{\text{эф}} = 0,65 \text{ мкм}$  (рис. 2.17, б). Принципово в пірметрі може бути застосований будь-який світлофільтр (синій, зелений), який виділяє вузьку смугу довжин хвиль. Червоний світлофільтр зручний тим, що має різку границю пропусчення поблизу краю видимого

оком спектра. Крім того, якщо порівняти спектральні енергетичні яскравості в червоному і синьому світлі, то за температур 800 – 1000 К вони розрізняються на шість-сім порядків. Тому з червоним фільтром можна вимірювати більш низькі температури, а виходить, можна понизити нижню межу виміру пірометра.

Процес виміру зводиться до зміни розжарення нитки пірометричної лампи, а виходить, і її яскравості доти, поки око спостерігача не перестане розрізняти нитку пірометричної лампи на тлі об'єкта виміру: нитка «зникає» на тлі об'єкта виміру. У цей момент роблять відлік значення температури, тому що спектральна енергетична яскравість реального тіла (об'єкта виміру) і спектральна енергетична яскравість нитки пірометричної лампи рівні.



a)



б)

Рис. 2.17 – Спектральні характеристики:

а) людського ока  $P(\lambda)$  і червоного світлофільтра  $\tau(\lambda)$ ; б) випромінювання, сприйманого оком через червоний світлофільтр

Пірометр градується за випромінюванням абсолютно чорного тіла, тому можна вважати, що при «зникненні» нитки пірометричної лампи на тлі об'єкта виміру наступила рівність спектральної енергетичної яскравості реального тіла і спектральної енергетичної яскравості абсолютно чорного тіла. Хоча сама нитка пірометричної лампи не є абсолютно чорним тілом, але в процесі градування випромінювання нитки за певних значень струму розжарення зіставлено з випромінюванням абсолютно чорного тіла за його відповідних температур. Тому відомо, що при даному розжаренні нитки спектральна енергетична яскравість її випромінювання відповідає випромінюванню абсолютно чорного тіла за певної температури. Струм розжарення в пірометрі не може бути більше певного значення, яке відповідає яскравішій температурі близько 1500 °С. Для можливості виміру більш високих температур у пірометрі між об'єктивом і пірометричною лампою встановлюється поглинаюче скло 8. Це скло ослабляє випромінювання від об'єкта виміру. Ступінь ослаблення енергетичної яскравості об'єкта виміру визначається коефіцієнтом пропусчення  $\tau_\lambda$  поглинаючого скла. Звідси можна записати:

$$1/T' - 1/T = 1/C_2 \ln \tau_\lambda = A,$$

де  $T'$  – температура за шкалою пірометра з поглинаючим склом, К;

$T$  – температура за шкалою пірометра без поглинаючого скла, К;

$A$  – пірометричний коефіцієнт ослаблення,  $K^{-1}$ .

Квазімонохроматичні пірометри випускаються з

різними верхніми межами виміру до 5000 °С з використанням поглинаючих стекол з різними коефіцієнтами пропускання.

Розглянутий варіант квазімонохроматичного пірометра передбачає порівняння спектральних енергетичних яскравостей реального і чорного тіл (чи нитки пірометра, відградуйованої по випромінюванню чорного тіла) людським оком.

На даний час існує велика група автоматичних пірометрів, які називаються фотоелектричними. У зв'язку з тим що псевдотемпература, показувана пірометром, визначається в першу чергу методом, а не засобом виміру, у ГОСТ 13417-76 немає засобів виміру за назвою «фотоелектричний пірометр», тому в назві будь-якого пірометра повинен обов'язково вказуватися метод виміру, наприклад квазімонохроматичний фотоелектричний пірометр чи фотоелектричний пірометр часткового випромінювання, чи фотоелектричний пірометр спектрального відношення, де зазначено, за яким методом здійснюється вимір. У фотоелектричних пірометрах як світлочутливий елемент застосовуються фотоелементи, фотодіоди, фототранзистори і фотопомножувачі. Залежно від функції, виконуваної світлочутливим елементом, усі фотоелектричні пірометри можна розділити на дві групи: в одній фотоелемент порівнює світлові потоки від двох джерел випромінювання і працює в режимі нуль-приладу, а інший фотоелемент виробляє сигнал, який однозначно залежить від світлового потоку, а виходить, від температури вимірюваного тіла. У першому випадку будова приладу виявляється більш складною, але зате його показання не залежать від характеристик фотоелемента й електронної схеми та їх зміни в часі. В другому випадку будова приладу простіше, але його показання можуть істотно мінятися в процесі експлуатації.

Розглянемо принципову схему *квазімонохроматичного фотоелектричного пірометра* типу ФЕП-4 (рис. 2.18).

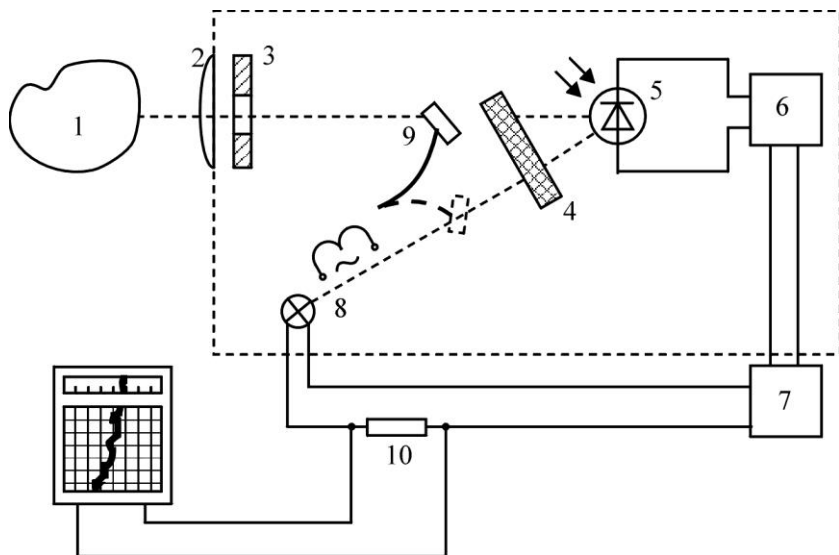


Рис. 2.18 – Принципова схема квазімонохроматичного фотоелектричного пірометра

Відмінною рисою цього пірометра є те, що спектральні характеристики фотоелемента і червоного світлофільтра дозволяють одержати ефективну довжину хвилі (за якої пірометр сприймає випромінювання), близьку чи практично рівну ефективній довжині хвилі квазімонохроматичного пірометра зі зникаючою ниткою (рис. 2.16). Тому яскравісна температура, відлічена за ФЕП, і яскравісна температура, визначена за пірометром зі зникаючою ниткою, будуть близькі або для пірометра з нижньою межею виміру  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  практично рівні.

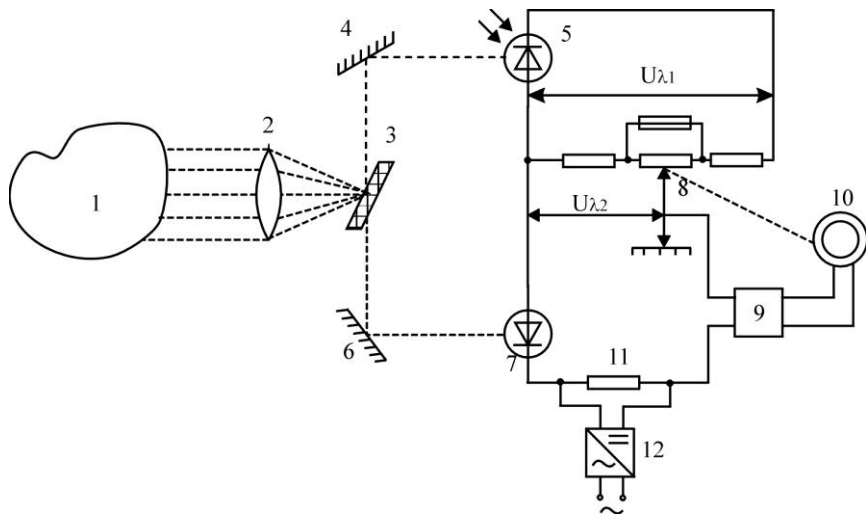


Рис. 2.19 – Принципова схема пірометра спектрального відношення

Випромінювання вимірюваного тіла 1 через об'єктив 2 і діафрагму 3 направляється через червоний світлофільтр 4 на фотоелемент 5. На цей же фотоелемент надходить випромінювання від випромінювача порівняння 8. Фотострум, що виникає у фотоелементі, підсилюється в підсилювачі 6 і надходить на силовий блок 7, який змінює струм живлення випромінювача порівняння (лампи зворотного зв'язку) 8.

Світлові потоки від вимірюваного тіла і випромінювача порівняння надходять на фотоелемент не одночасно, а по черзі. Для цього у схемі передбачений електромагнітний вібратор 9 із заслінкою, що відкриває світловий потік то від вимірюваного тіла, то від випромінювача порівняння. Якщо світлові потоки від вимірюваного тіла і випромінювачі порівняння не рівні, то й імпульси фотострумів у відповідні моменти часу будуть також не рівні. У цьому випадку підсилювач 6 і блок 7 будуть змінювати струм живлення випромінювача 8 доти,



поки фотоструми у фотоелементі в обидва напівперіоди не будуть рівні. За рівності фотострумів в обидва напівперіоди зміни струму живлення випромінювача не відбувається. Таким чином, струм живлення випромінювача порівняння однозначно визначається світловим потоком від вимірюваного тіла, що у свою чергу залежить від температури вимірюваного тіла. Струм живлення випромінювача порівняння вимірюється автоматичним потенціометром за спаданням напруги на зразковому резисторі 10.

Пірометри ФЕП градууються за випромінюванням абсолютно чорного тіла, тому температура, відлічена на автоматичному потенціометрі, при вимірі реальних тіл буде яскравісною температурою цього реального тіла. Перехід до дійсної температури може бути здійснений за виразом:

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{T_y} = \left[ \ln \left( \varepsilon_{\lambda T} / \varepsilon_{\lambda 2T} \right) \right] / \left[ C_2 \left( \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) \right];$$

слід мати на увазі, що в пірометрах з діапазоном виміру 800–4000 °С ефективна довжина хвилі 0,65 мкм та їх показання порівняні з показаннями візуальних квазімонохроматичних пірометрів. У пірометрах ФЕП з нижньою межею виміру нижче 800 °С ефективна довжина хвилі лежить в інтервалі 0,9–1,1 мкм, тому їх показання трохи відрізняються від показань візуальних пірометрів.

Пірометри типу ФЕП широко застосовуються для безупинного виміру температури в прокатному виробництві. Час установлення показань приладу складає близько 1 с, основна похибка 1% за верхньої межі виміру до 2000 °С або 1,5% за верхньої межі більше 2000 °С. Переважна більшість закордонних фотоелектричних пірометрів працюють як пірометри часткового випромінювання з робочим діапазоном довжин хвиль шириною від 0,2 до 2 мкм.

*Пірометри спектрального відношення для промислових*

вимірів температури, як правило, випускаються автоматичними. Тому їх вірніше називати фотоелектричними пірометрами спектрального відношення. Залежно від спектральних характеристик фотоелементів, вони сприймають випромінювання у видимій чи в інфрачервоній області спектра. Існує велике число різних за принципом побудови схем пірометрів спектрального відношення, кожна з яких має свої позитивні і негативні властивості. Розглянемо одну зі схем фотоелектричного пірометра спектрального відношення (рис. 2.20). Випромінювання від вимірюваного тіла 1 надходить в об'єктив 2 пірометра і потім на фільтр із фосфіду індію 3, на якому світловий потік частково відбивається і через дзеркало 4 направляється на кремнієвий фотоелемент 5, на якому під впливом світла виникає фото-ЕРС  $U_{\lambda_1}$ . Інша частина світлового потоку частково пропускається фільтром 3 і через дзеркало 6 направляється на фотоелемент 7, на якому виникає фото-ЕРС  $U_{\lambda_2}$ . Ефективна довжина хвилі відбитого фільтром 3 випромінювання  $\lambda_1 = 0,888$  мкм, а довжина хвилі випромінювання, що пройшло через фільтр 3,  $\lambda_2 = 1,034$  мкм. Вихідна напруга  $U_{\lambda}$  фотоелемента 7 врівноважується частиною вихідної напруги фотоелемента 5 на реохорді 8 компенсатора напруг. Положення движка реохорда 8 пропорційно відношенню  $U_{\lambda_2} / U_{\lambda_1}$ , тобто пропорційно відношенню спектральних енергетичних яскравостей  $B_{0, \lambda_2, T_{\text{ц}}} / B_{0, \lambda_1, T_{\text{ц}}}$  яке визначається колірною температурою  $T_{\text{ц}}$  вимірюваного тіла. Якщо  $U_{\lambda_2}$  не врівноважено на реохорді 8, то на вхід підсилювача 9 буде надходити сигнал, що буде обертати реверсивний двигун 10, який переміщає движок реохорда 8 до настання зрівноважування. У ланцюг фотоелемента 7 додатково подається опорна напруга до резистора 11 від стабілізатора напруги 12.

*Колірні пірометри* випускаються на межу виміру від 200 до 2800°C з піддіапазонами по 200–800 °C. Межа основної похибки колірних пірометрів не перевищує 1 %

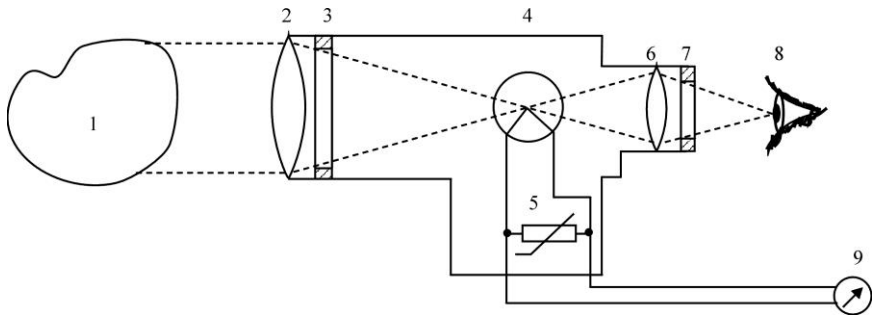
верхньої межі виміру кожного піддіапазону.

На даний час одержав поширення так званий *пірометр істинної температури ПІТ-1*, який являє собою пірометр спектрального відношення, що здійснює автоматичне введення виправлень, які обчислюються на основі інформації, що зберігається в пам'яті приладу. Пірометр розрахований на діапазон виміру 800–2000 °С. Похибка виміру істинної температури внаслідок зміни коефіцієнта теплового випромінювання вимірюваного тіла від 0,3 до 1 не перевищує  $\pm 1\%$ .

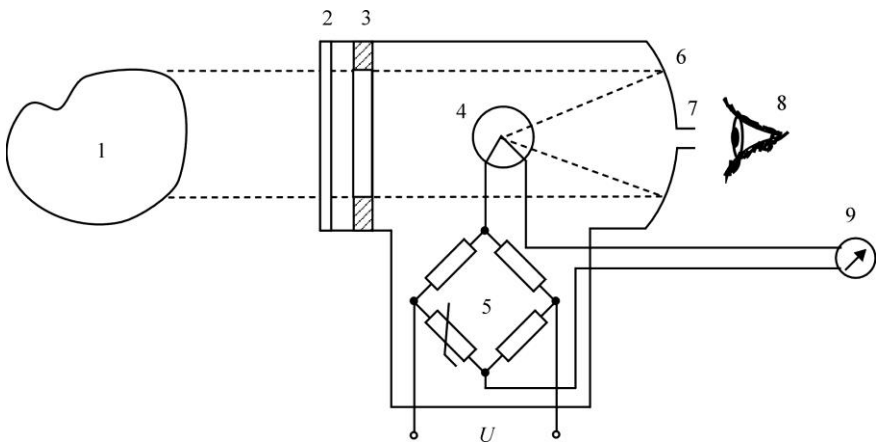
*Пірометри повного випромінювання* є найбільш простими за будовою. Комплект пірометра складається з первинного перетворювача (телескопа) і вторинного приладу. Як чутливий елемент, що сприймає випромінювання, застосовуються найчастіше термобатарей з декількох термоелектричних термометрів або спеціальних термозалежних резисторів – болометрів. Для концентрації випромінювання на спаях термобатарей чи на чутливому елементі болометра застосовують рефракторні (з лінзою, що збирає) чи рефлекторні (з увігнутим дзеркалом) оптичні системи. Для того, щоб одержати однозначну залежність термо-ЕРС термобатарей (чи опору болометра) від потоку випромінювання, необхідно підтримувати вільні кінці термобатарей (чи корпус болометра) за постійної температури.

Принципова схема рефракторного пірометра з термобатарейою наведена на рис. 2.20, а, а рефлекторного пірометра – на рис. 2.20, б. Випромінювання від вимірюваного тіла 1 надходить на об'єкт (лінзу) телескопа 2 (рис. 2.20, а) і через діафрагму 3 фокусується на гарячих спаях термобатарей 4, укладеної в спеціальну колбу. Паралельно до термобатарей включений мідний резистор 5, призначений для автоматичної компенсації зміни температури корпусу пірометра, за якої знаходяться вільні кінці термобатарей. Термо-ЕРС надходить на вимірювальний прилад 9. Для візування телескопа на об'єкт виміру служать окуляр 6 і діафрагма 7, через які спостерігач 8

здійснює візування.



а)



б)

Рис. 2.20 – Принципові схеми пірометрів повного випромінювання:

а) рефракторного; б) рефлекторного

У рефлекторному телескопі (рис. 2.20, б) випромінювання через інфрачервоний фільтр 2 і діафрагму 3 попадає на рефлектор (увігнуте дзеркало) 6, відбивається, а потім фокусується на гарячих спаях термобатарей 4. Місток 5 з мідним опором служить для автоматичного уведення виправлення на температуру вільних кінців, що знаходяться

в корпусі. Візування телескопа здійснюється спостерігачем 8 через отвір для візування 7.

Пірометри повного випромінювання, що випускаються серійно, типу АПІР-С призначені для виміру температури в діапазоні від 30 до 2500 °С. Спеціально виготовлені пірометри застосовуються в інтервалі від –100 до 3500 °С. У систему АПІР-С входять також пірометри часткового випромінювання зі спектральним діапазоном сприйманого випромінювання 0,7–1,1 і 0,8–1,8 мкм і тому псевдотемператури, вимірювані цими пірометрами, не порівняні ні з  $T_p$ , ні з  $T_y$ .

Для зменшення методичної похибки пірометрів повного випромінювання, викликаною невизначеністю інтегрального коефіцієнта теплового випромінювання, часто в промислових умовах створюються умови, що наближаються до випромінювання чорного тіла. Наприклад, для виміру температури поверхонь використовуються вогнетривкі чи металеві блоки (рис. 2.21, а), для виміру температури газів і рідких середовищ – вогнетривкі трубки (рис. 2.21, б), на денце яких візується телескоп пірометра.

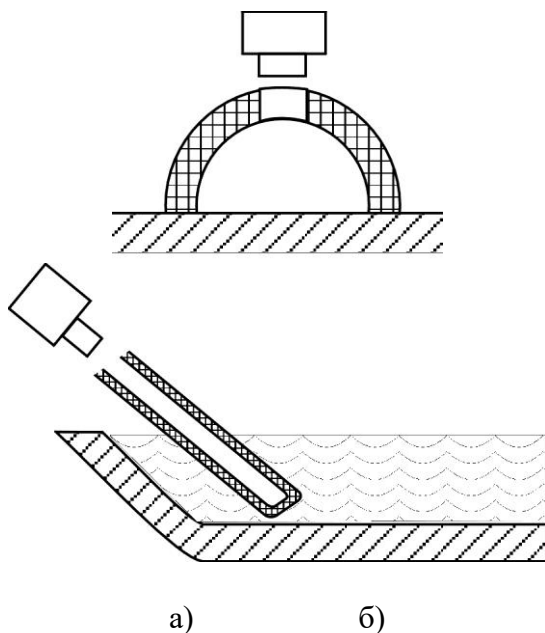


Рис. 2.21 – Пристрій для наближення випромінювання реальних тіл до випромінювання чорного тіла:

а) порожнина чорного тіла; б) чорна трубка

За певної шорсткості поверхні чи блока трубки і за малого відношення  $d/l$  коефіцієнт теплового випромінювання такої штучної порожнини чорного тіла наближається до 1, і немає необхідності уводити виправлення в показання пірометра на нечорність випромінювання, тому що псевдотемпература, що показується пірометром, буде практично дорівнювати дійсній температурі тіла.

**Термометри і пірометри для спеціальних вимірів температури.** Практичні виміри температури відрізняються надзвичайною розмаїттю умов виміру і вимог, пропонуваніх до засобів виміру. Усе це змушує ретельно аналізувати й удосконалювати методи і засоби виміру стосовно конкретних умов і вимог. У більшості випадків

намагаються використовувати термометри і пірометри, що серійно випускаються приладобудівними заводами. Однак у ряді випадків через особливості умов виміру температури застосовуються термометри спеціального призначення. Деякі з найбільш характерних особливих умов виміру, застосовувані методи і засоби виміру розглянуті нижче.

**Вимір температури поверхонь.** Вимір температури поверхонь здійснюється як контактними, так і безконтактними методами. При вимірі температури поверхонь контактними термометрами звичайно існують дві проблеми: 1) забезпечення рівності температур термометра і вимірюваної поверхні; 2) виключення можливого перекручування температури чи температурного поля поверхні в місці виміру термометром.

Для забезпечення рівності температур термометра і вимірюваної поверхні необхідно створити найкращі умови теплопередачі від поверхні об'єкта виміру до термометра. У зв'язку з цим навіть дуже малі повітряні зазори або шари матеріалів з низькою теплопровідністю між вимірюваною поверхнею і термометром можуть істотно спотворити результати виміру. Для забезпечення гарного теплового контакту бажано спеціально виготовлений термометр приклеювати, припаювати або приварювати до поверхні. Можливе механічне закарбування спаю на поверхні об'єкта, але тільки у випадку неокислюваності поверхонь об'єкта і термометра в умовах виміру.

Перекручування температури чи температурного поля поверхні об'єкта виміру буде відбуватися в тому випадку, якщо термометр служить причиною додаткового підведення чи відведення теплоти від вимірюваної поверхні. У зв'язку з цим намагаються створити такі умови, щоб не було додаткового теплообміну в місці виміру температури поверхні. Іноді, коли не можна уникнути теплообміну через термометр, намагаються перенести цей теплообмін із точки (місця) виміру температури в іншу точку. На рис. 2.22

показана зміна температури поверхні за рахунок відведення теплоти по електродах термоелектричного термометра. У точці торкання електродами поверхні А температура поверхні  $t'_n$  істотно відрізняється від значення  $t_n$ , що має місце у відстані від точки А. У точці А температура  $t_n$  може навіть наближатися до температури навколишнього середовища  $t_{oc}$ . На відстані  $l$  від точки А температура поверхні і рівна їй температура термометра мають значення  $t_T$ . Температура поверхні в точці виміру в цьому випадку практично дорівнює температурі поверхні без термометра.

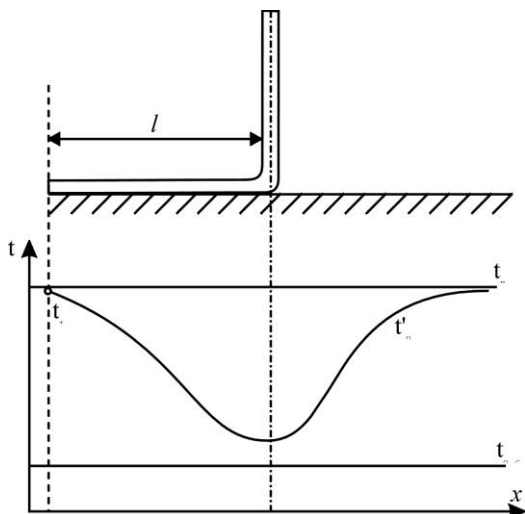


Рис. 2.22 – Зміна температури поверхні при відведенні теплоти по електродах термоелектричного термометра

Для безупинного виміру температури поверхні, наприклад, трубопроводу термометр часто притискають до поверхні спеціальним затиском (рис. 2.23). Наявність ізоляції трубопроводу практично виключає відведення (чи підведення) теплоти від місця виміру, і тому термометр не спотворює температури поверхні, а гарний тепловий контакт між термометром і поверхнею шляхом затиску забезпечує рівність температур термометра і поверхні.



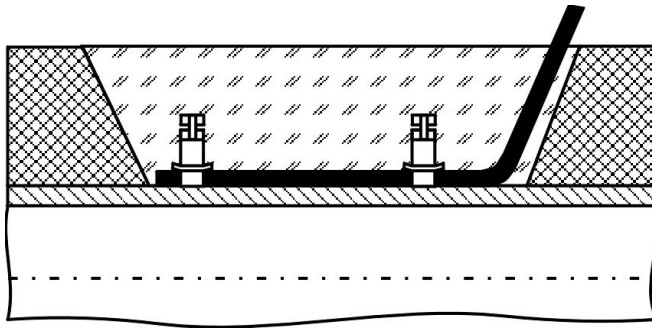


Рисунок 2.23 – Поверхневий термометр із затиском на трубопроводі

У лабораторних умовах і при дослідженнях особливо малі похибки мають місце при застосуванні плівкових термометрів, розташованих безпосередньо на вимірюваній поверхні. Ці термометри опору або термоелектричні термометри напіляють на вимірювану поверхню. Іноді застосовують додаткові покриття, щоб забезпечити ту ж випромінювальну здатність і теплопровідність, як і в інших ділянках поверхні, що прилягають до місця виміру. Слід мати на увазі, що часто термо-ЕРС і температурний коефіцієнт у дуже тонких плівок, напіляних на поверхню, будуть залежати від товщини напиленого шару, термічної обробки і теплового розширення матеріалу, на який виконувалося напилювання. Вимір температури поверхонь, що рухаються, має свої специфічні проблеми. Найкраще для цього застосовувати безконтактні методи виміру – за випромінюванням. Однак у багатьох випадках застосування безконтактного методу не може бути здійснено, тому що немає прямої видимості вимірюваної поверхні або його застосуванню перешкоджають інші причини. Тому досить широко застосовуються контактні термометри. При цьому, як правило, виникає або проблема забезпечення теплового контакту між термометром і тілом,

що рухається, або проблема передачі вимірювального сигналу з тіла, що рухається, на стаціонарну вимірювальну установку. Якщо термометр жорстко закріплений на вимірюваній поверхні (з урахуванням викладених вище особливостей виміру температури поверхонь) і його температура практично дорівнює температурі поверхні, виникає задача передачі показань термометра на стаціонарну вимірювальну установку. Це можна здійснити при малих поступальних переміщеннях гнучкими сполучними проводами. При обертальному русі передача сигналу здійснюється через обертовий контактний пристрій, найпростішим варіантом якого є контактні кільця. Прикладом може служити схема, зображена на рис. 2.24.

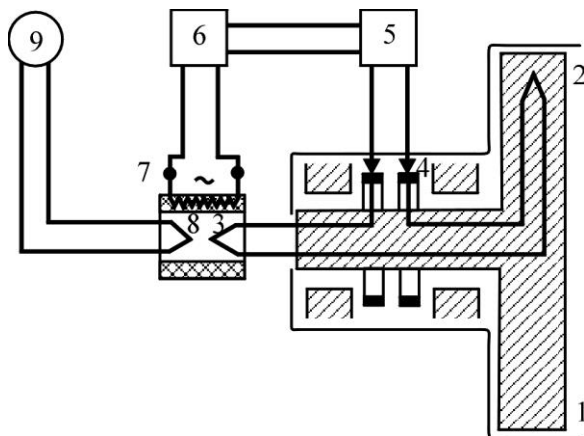


Рис. 2.24 – Схема виміру температури обертових деталей термоелектричним термометром

На обертовій деталі 1 розташований робочий спай термоелектричного термометра 2. Вільні кінці термометра утворюють інший спай 3 термометра, що обертається разом з деталлю. У розрив одного з електродів через контактні кільця 4 включений електронний підсилювач 5. За наявності

різниці температур спаїв 2 і 3 підсилювач 5 через електронний блок 6 змінює нагрівання печі 7, у якій знаходиться обертовий спай 3, доти, поки вимірювальний струм у ланцюзі не буде дорівнювати нулю, тобто поки температури спаїв 2 і 3 не будуть рівні. Температура в печі вимірюється термометром 8 і вимірювальним приладом 9. Вона буде дорівнювати температурі спаю 2. Відсутність струму в ланцюзі виключає вплив перехідних опорів контактних кілець. Передача сигналу може здійснюватися і безконтактним способом за допомогою телеметричної, найчастіше індуктивної, системи. Однак безконтактні системи для термоелектричних термометрів складні і не знайшли широкого застосування.

**Вимір температури полум'я.** Виміри температури полум'я мають свої специфічні особливості і труднощі. При виборі методу виміру аналізуються рівень вимірюваних температур, бажана точність і тип полум'я. Температура горіння природного газу, рідкого палива і вугілля, як правило, нижче 2100 °С. Виключення складає температура полум'я, збагаченого киснем, що може сягати великих значень. Температура смолоскипа чи полум'я в більшості промислових установок лежить в інтервалі 1600–1900 °С.

Полум'я являє собою частково прозоре середовище з просторовим температурним полем, що міняється в часі. Вимір температури полум'я може здійснюватися пірометрами випромінювання або контактними термометрами. При вимірі температури полум'я по випромінюванню відбувається просторове усереднення температури уздовж осі візування пірометра. На результати виміру будуть впливати випромінюючі компоненти (частки сажі, двоокис вуглецю, водяна пара та інші тверді частки), що знаходяться в полум'ї. Велике значення має вибір довжин хвиль, сприйманих пірометром. Невипромінюючі гарячі чи холодні зони газів принципово не можуть бути обмірювані пірометрами випромінювання без спеціального їх підфарбовування.

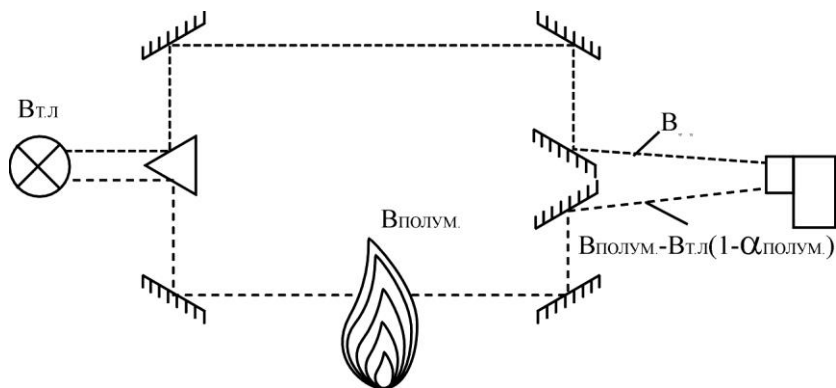


Рис. 2.25 – Вимір температури полум'я способом випромінювання-поглинання

Розглянемо деякі способи виміру температури полум'я із зазначенням їх особливостей і можливих похибок. Одним з цих способів є так званий спосіб випромінювання – поглинання. Ідея методу полягає у зрівнюванні спектральних енергетичних яскравостей температурної лампи, що спостерігається крізь полум'я і безпосередньо (рис. 2.25). Позначивши через  $B_{пл}$  – спектральну енергетичну яскравість полум'я, а через  $B_{т.л.}$  – спектральну енергетичну яскравість стрічки температурної лампи, можна записати, що спектральна енергетична яскравість стрічки лампи, що спостерігається крізь полум'я, становить:

$$B_{пл} + B_{т.л.}(1 - \alpha_{пл}),$$

де  $\alpha_{пл}$  – коефіцієнт поглинання полум'я (значення  $\alpha_{пл}$  невідомо).

Змінюючи температуру стрічки температурної лампи таким чином, щоб виконувалася умова:

$$B_{пл} + B_{т.л.}(1 - \alpha_{пл}) = B_{т.л.}$$

Одержимо

$$B_{т.л} = B_{пл}/\alpha_{пл}.$$

Отже, температура полум'я дорівнює яскравісній температурі температурної лампи. Цей метод дозволяє залишати невідомим коефіцієнт поглинання полум'я, що у реальних умовах практично невизначений. Тому методична похибка є незначною. Однак практична реалізація методу на промислових установках пов'язана з труднощами здійснення такої оптичної системи, у якій обидва канали не тільки мали б однакові спектральні характеристики, а й однаково змінювали б їх у процесі експлуатації. Цей метод передбачає застосування квазімонохроматичного пірометра, і тому полум'я повинно випромінювати за тих самих довжин хвиль, за яких працює пірометр. У різновиді цього методу можливе застосування пірометрів повного випромінювання, однак у цьому випадку можуть мати місце методичні похибки, обумовлені відхиленням випромінювальних властивостей полум'я від сірого випромінювання.

Для виміру температури не світлового полум'я або нагрітого газу застосовують метод звертання спектральних смуг. Для реалізації цього методу в полум'я вводяться солі натрію, наприклад поварену сіль, що офарблюють полум'я в жовтий колір. Далі використовують температурну лампу і спектропірометр і зрівнюють спектральну енергетичну яскравість за довжини хвилі випромінювання натрію для лампи і полум'я. Температура лампи буде дорівнювати температурі полум'я за рівності спектральних енергетичних яскравостей. В усіх цих випадках полум'я повинне бути не зовсім оптично щільним, щоб можна було спостерігати через нього.

Пірометри спектрального відношення можуть застосовуватися для виміру світлого полум'я, наприклад підсвіченого сажею. Слід зазначити, що застосування будь-яких методів виміру температури полум'я по

випромінюванню вимагає попереднього дослідження спектральних характеристик полум'я й умов, у яких будуть проводитися виміри, з метою виявлення факторів, що впливають на результати виміру (інших джерел випромінювання, проміжного середовища, пилу тощо).

Одним з недоліків виміру температури полум'я пірометрами випромінювання є усереднення температури уздовж оптичної осі. Тому не можна визначити, до якої точки полум'я відноситься отриманий результат. У цьому відношенні застосування невеликих за розмірами термоелектричних термометрів має істотні переваги. Однак температура такого термометра може істотно (на 100–200 °С) відрізнятись від температури газу, тому що вона буде визначатись за тепловим балансом термометра. У зв'язку з тим що розрахунок пов'язаний з необхідністю одержання додаткової інформації про швидкість газу (полум'я) у точці виміру, випромінювальних здібностях полум'я і термометра, одержали поширення способи виміру, які дозволяють виключити ці параметри з розрахункових виразів. Для цього застосовуються два термометри з різним діаметром термоелектродів (розміри спаю в цьому випадку повинні дорівнювати діаметру термоелектродів), що розташовуються практично в одній і тій же точці полум'я (газу). Тоді дійсна температура:

$$t_D = t_1(t_1 - t_2) / \left[ \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^{0,6} \frac{T_2^4 - T_{cm}^4}{T_1^4 - T_{cm}^4} - 1 \right]. \quad (2.1)$$

Ці вирази передбачають теплообмін випромінюванням між термоелектродами і стінкою і не враховують теплообмін між термометром і полум'ям. Це справедливо для прозорих, несвітлових пламенів і газів. В оптично щільному полум'ї термометр «не бачить» стінок і тому застосовувати вираз (2.1) недоцільно. У зв'язку з цим запропоновано вимірювати

температуру одним термометром, а виправлення оцінювати за залежністю (2.1).

**Вимір температур в енергетичних реакторах.** Вимір температур в енергетичних реакторах і активній зоні має свої специфічні особливості. По-перше, це питання радіаційної безпеки, які вимагають застосування методів і засобів виміру температури, що відрізняються високою надійністю, по-друге, – забезпечення тривалої роботи засобів виміру температури зі стабільними чи практично стабільними градувальними характеристиками.

Питання надійності засобів виміру температури зводяться в основному до створення такої конструкції термометрів, що забезпечувала б безвідмовну роботу як протягом тривалої експлуатації, так і при аварійних ситуаціях.

Однією з найбільш важливих і самих теплонапружених частин реактора є тепловиділяючі елементи (твели). Оскільки в них розташована речовина, що поділяється, то вони є і найбільш відповідальними частинами реактора. Припустимий рівень температури палива й оболонки визначається застосовуваними матеріалами. Товщина оболонки – від 0,1 мм для сталевих оболонки до 1 мм для цирконієвих сплавів. Значення температури залежно від виду реактора і його конструктивних особливостей складають від 350 до 1200 °С. Зниження температури оболонки щодо розрахункової приводить до падіння потужності реактора. Підвищення температури може викликати руйнування оболонки і привести до аварійної ситуації. Тому вимір температури оболонки твелів є однією з найважливіших задач виміру температури в енергетичних реакторах. Найбільш прийнятними для цієї мети є кабельні термоелектричні термометри, що мають підвищену стійкість до теплових ударів, вібрацій, механічних навантажень. Важливими достоїнствами кабельних термометрів є можливість одержання малих їх діаметрів їх (до 0,5 мм), різного

поперечного перерізу – круглих, плоских, овальних тощо, а також можливість виготовлення перемінного за довжиною діаметра. Кабельні термоелектричні термометри мають достатню довжину і гнучкість для прокладки в самих важкодоступних місцях. Залежно від конструкції твелів застосовуються різні способи закладення кабельних термометрів в оболонку твелів. Це може бути закладення термометра 1 (рис. 2.26, а) у дистанціонуюче ребро 2 на оболонці 3 твела, у якому знаходиться паливо 4. Можливе кріплення термометра 1 до оболонки 3 способом плазменого напилювання (рис. 2.26, б) та інші способи. Варіанти кріплення і розміри термометра визначаються конструкцією і розмірами оболонки твела, а також забезпеченням мінімального перекручування температури оболонки в місці виміру самим термометром і його кріпленням. Крім звичайних, випускаються кабельні багатозонні термоперетворювачі діаметром 3 і 6 мм із числом робочих спаїв 3 і 5, відстанню між спаями 1000 і 1500 мм і максимальною довжиною термоперетворювача 25 м.

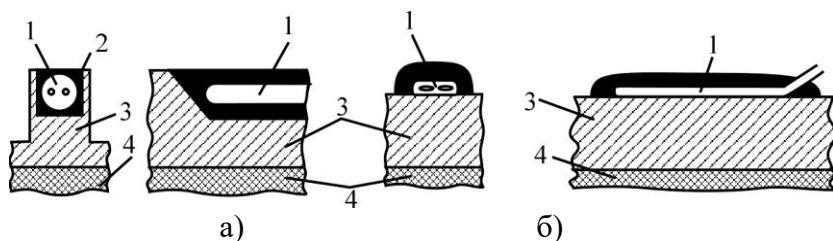


Рис. 2.26 – Термоелектричні термометри для виміру температури оболонок твелів:

а) забитий у дистанціонуюче ребро; б) закріплений плазменним напилюванням

Багатозонні кабельні термометри дозволяють вимірювати температури в різних точках активної зони (наприклад, розподіли температури графітової кладки реактора за висотою) одним термометром. Температура є



важливим параметром, який характеризує властивості графітового сповільнювача. Особливості її виміру визначаються відносно високим значенням температури (до 800 °С), науглецюванням матеріалів конструкції термометра, опроміненням, що іонізує, і практичною неможливістю доступу до місць вимірів. Крім того, велике значення має вибір найбільш характерних точок виміру у графітовій кладці.

Для виміру максимальної температури графіту застосовується термоелектричний термометр 1, розташований за допомогою направляючого пристрою 2 у центрі каналу 3 осередку графітової кладки (рис. 2.27). При цьому слід враховувати можливі методичні похибки, викликані термічним опором шару газу між робочим спаєм і поверхнею графітової кладки. Інші варіанти конструкції, що забезпечують безпосередній контакт із поверхнею графіту, не знайшли широкого застосування у зв'язку з ускладненням конструкції і зменшенням ресурсу роботи.

Для виміру температурних режимів пристроїв теплового і біологічного захисту, а також металоконструкцій реактора найчастіше застосовуються також кабельні термоелектричні термометри, що іноді армуються додатково захисним чохлам.

Велике число температурних вимірів у реакторах припадає на контроль температур теплоносія в різних точках першого і другого контурів. Для цього застосовуються різні конструктивні варіанти «класичних» термоелектричних термометрів: термоелектроди – ізоляційні намиста або трубки – захисна гільза. У зв'язку з вимогами радіаційної безпеки виникла необхідність розробити спеціальні конструктивні рішення герметичного виводу термоелектродів з реактора. Термоелектричні термометри укладені в герметичні трубки. Сполучні лінії термометрів виводяться через спеціальні патрубки, вмонтовані в отвори кришки. Кінці труб приварюються до трубної дошки. Для контролю ущільнення є відвід до сигналізатора протечок.

При порушенні герметичності закладення труб вступає в роботу резервне ущільнення. Для умов вібрації розроблені високонадійні дугоподібні гільзи великої стійкості, що складаються з двох конічних частин і циліндричної частини малого діаметра (рис. 2.28). Для забезпечення герметичності контуру з активним середовищем і високої надійності засобів виміру широке застосування знаходять багатоелементні термометри і багатозонні кабельні термометри, які дозволяють скоротити число свердлінь у трубопроводах і ємностях устаткування АЕС.

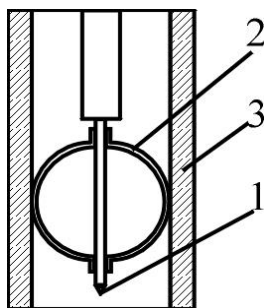


Рис. 2.27 – Вимірювання температури графітової кладки реактора

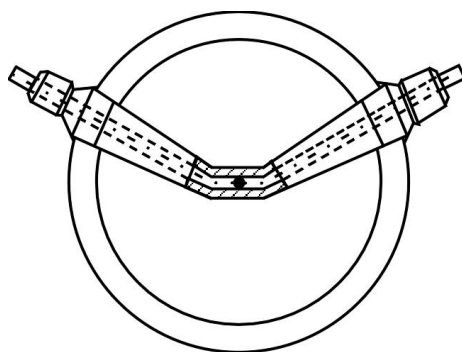


Рис. 2.28 – Термоелектричний термометр із дугоподібною гільзою

Як зазначалося вище, велике значення при вимірі температури в реакторах має питання стабільності градувальних характеристик засобів виміру в умовах іонізуючих випромінювань великої потужності. Термометри, розташовані в активній зоні піддаються впливу нейтронного потоку, осколків розподілу, електронів та інших часток, впливу  $\gamma$ -випромінювання. У результаті цього може відбуватися зміна структури, складу і відповідно зміна фізичних властивостей і метрологічних характеристик термометрів. У термоелектричних термометрах під впливом радіації можуть виникати тимчасові відхилення вихідного сигналу і тривалі, чи інтегральні, відхилення. Тимчасові відхилення спостерігаються в термометрах при впливі випромінювання і зникають при припиненні випромінювання за незмінної вимірюваної температури. Тривалі чи інтегральні відхилення вихідного сигналу термометра мають місце при тривалому впливі випромінювання, коли термометр «набрав» певний флюенс випромінювання (кількість іонізуючих часток). Ці відхилення вихідного сигналу термометра залишаються і при припиненні випромінювання за постійної вимірюваної температури. Інтегральне відхилення викликається, як правило, радіаційним переродженням окремих елементів, що входять до складу термоелектродів. Це відхилення не може бути знято термообробкою електродів.

Як показали дослідження, тимчасові відхилення вихідного сигналу термоелектричних термометрів у більшості випадків не перевищують 1 % вимірюваної температури. Висловлюється припущення про те, що ці відхилення викликані розігрівом термометрів у результаті  $\gamma$ -опромінення. Зменшення цього відхилення досягається зменшенням радіального термічного опору термометра, а також зменшенням тепловиділення в самому чутливому елементі.

Аналіз інтегральних відхилень вихідних сигналів показав, що практично не мають інтегральних відхилень

хромель-алюмелеві термоелектричні термометри, що піддавалися опроміненню з щільністю потоку іонізуючих часток до  $4,5 \cdot 10^{24} \text{ c}^{-1} \text{ m}^{-2}$  за температури  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . За тих самих умов інтегральні відхилення платинородій-платинових термометрів склали  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ці результати підтверджуються дослідженням радіаційного переродження матеріалів термоелектродів через переродження родію. Найменша зміна складу відзначалася в парі хромель-алюмель, вона порозумівається стійкістю нікелю, що складає основу цих сплавів, до радіоактивного розпаду. Таким чином, застосування хромель-алюмелевих термоелектричних термометрів у реакторних вимірах дозволяє практично виключити інтегральні відхилення вихідного сигналу термометра.

Термометри опору для внутрішньореакторних вимірів практично не застосовуються, у зв'язку з істотною зміною електричного опору під впливом іонізуючих випромінювань. У результаті ядерних перетворень електричний опір зростає, що приводить до завищення показань термометрів опору. Через кращу стабільність і більший діапазон виміру перевага віддається платиновим термометрам. Мідні термометри для виміру температур на АЕС не застосовуються.

**Вимір криогенних температур.** Криогенними називаються температури нижче  $90 \text{ K}$ . Вимір таких температур має свої специфічні особливості і труднощі, що зростають при наближенні до абсолютного нуля. Найбільшого поширення для виміру низьких температур одержали термометри опору і термоелектричні термометри. Термометри опору застосовують для виміру температур від  $0,01\text{--}0,02 \text{ K}$  і вище. Особливістю використання термометрів опору з металу є те, що опір термометра за низьких температур стає настільки малим, що утруднює їх вимір. При цьому зменшується коефіцієнт перетворення термометрів, що впливає на точність виміру. Зростає вплив дефектів кристалічних ґрат матеріалу термометра на його опір за низьких температур.

Зменшення теплоємності матеріалів за низьких температур може привести до істотної відмінності власної температури чутливого елемента термометра від температури вимірюваного середовища за рахунок самонагрівання і підведення теплоти по проводах і захисній арматурі.

З металевих термометрів широко застосовуються платинові термометри опору від 10 К і вище. В окремих роботах платинові термометри опору застосовувалися до 2 К. Для виміру низьких температур розроблена спеціальна конструкція платинового термометра опору (рис. 2.29). Платиновий дріт 1 діаметром 0,05 мм, покритий вініфлексовим лаком товщиною 0,008 мм, намотується біфілярно на платиновий стрижень-каркас 2, один кінець якого запресований у спеціальний ізолятор 3. Платинові виводи 4 підключені до сполучних штирів 5. Стрижень і дріт покриті вініфлексовим лаком, що створює надійну електричну ізоляцію і не взаємодіє з платиною. Для поліпшення теплообміну платиновий каркас-стрижень припаяний до металевого чохла. Для зменшення теплопритока ззовні застосовуються сполучні проводи малого перетину (діаметр 0,1 мм). Термометр такої конструкції вийшов дуже мініатюрним: довжина чутливого елемента ( $R_0 = 100 \text{ Ом}$ ) термометр 8 мм, діаметр 1,6 мм, діаметр захисного чохла 2–3 мм. За рубежом деяке поширення одержали нікелеві термометри опору (в інтервалі 77–300 К) і термометри з манганіну (в інтервалі 4,2–300 К).

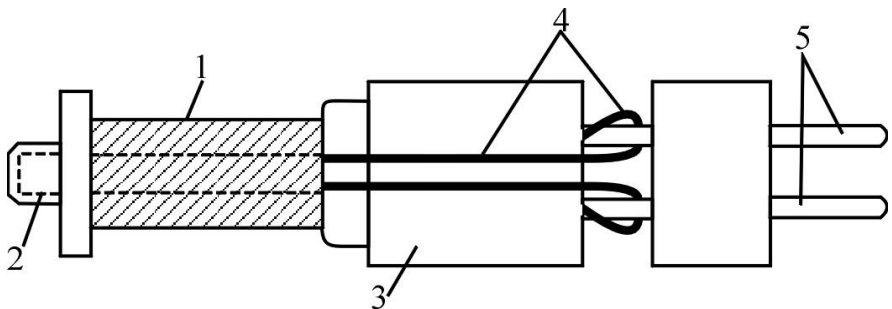


Рис 2.29 – Стрижневий платиновий термометр опору для виміру криогенних температур

Усі термометри з металів змінюють свій опір під впливом магнітного поля, причому чим нижче температура, тим більше цей вплив. Для платинового термометра цей вплив є найбільшим: за температури 13 К магнітна індукція до 2 Т викликає збільшення опору до 40%, при 50 К приріст опору за тої ж магнітної індукції складає частки відсотка. В інших термометрів опору з металу магніторезистивний ефект майже на порядок менше, але він має місце.

Для виміру температур нижче 13 К в основному застосовуються германієві термометри опору. Вони призначені для виміру температур в інтервалі від 0,1 до 300 К. Виготовляються вони з кристалічного германія з багатокомпонентним легуванням. Опір германія збільшується зі зниженням температури і за гелієвих температур обчислюється сотнями і тисячами Ом. Коефіцієнт перетворення за цих температур складає  $10^2$ – $10^3$  Ом/К. Серійні германієві термометри опору мають межу похибок, що допускаються, 0,05–0,1 К. Еталонні германієві термометри опору мають стабільність градууювальної характеристики до 0,001 К. Хоча конструктивне виконання термометрів різне, але в загальному випадку кристал германія, до якого приварені виводи, поміщається в захисну гільзу (корпус), заповнену гелієм, що поліпшує теплообмін з вимірюваним середовищем. Германієві термометри опору також піддаються впливу магнітних полів. Цей вплив менший, ніж для платинових термометрів, але при полі в 10–15 Т похибка через їх вплив може скласти при 4,2 К близько 0,15–0,2 К і більше.

За наявності магнітних полів для виміру низьких температур доцільно застосовувати вугільні термометри опору. У вугільних термометрів вплив магнітних полів у 15 Т змінює їх показання не більше ніж на 4–7 % для

температур від 0,01 до 1,5 К. Вугільні термометри опору так само як і германієві, мають негативний температурний коефіцієнт і виготовляються з кам'яного вугілля шляхом спеціальної термообробки. Одним з головних достоїнств вугільних термометрів є те, що їх коефіцієнт перетворення практично зворотно пропорційний температурі. Для малих об'єктів застосовують плівкові вугільні термометри опору, що виготовляються шляхом нанесення шару колоїдного розчину графіту на підкладку або безпосередньо на поверхню об'єкта. До числа недоліків вугільних термометрів слід віднести нестабільність їх градууювальної характеристики.

З термоелектричних термометрів найбільшого поширення для виміру температур від 20 до 300 К одержав мідь-константановий термометр. Однак його коефіцієнт перетворення істотно зменшується з пониженням температури. Якщо за кімнатних температур він становить близько 40 мкВ/К, то при 20 К він вже складає тільки 5 мкВ/К. Тому вимірювання цим термометром при 20 К сполучено з труднощами, а за більш низьких температур є практично неможливим.

Деяке поширення одержав термометр мідь-золото + 1,9% кобальту. Однак стабільність цього термометра невисока. Крім того, значний вплив мінливості температури вільних кінців на показання термометра. Для промислових вимірів в інтервалі від 1 до 50 К добре зарекомендував себе термометр (золото + 0,07% заліза)-хромель, що має практично лінійну характеристику при гарній стабільності. Для зменшення похибки, викликані мінливістю температури вільних кінців, їх поміщають у середовище з температурою, близькою до вимірюваної, наприклад, у рідкий азот.

Однак, незважаючи на ряд переваг, термоелектричні термометри поступаються термометрам опору в точності й у стабільності градууювальної характеристики.

Манометричні термометри (газові і конденсаційні) досить широко використовуються для лабораторних і технічних вимірювань криогенних температур. Головною перевагою газових термометрів є можливість їх застосування без попереднього градуювання в широкій області температур. Наприклад гелієвий термометр може перекрити всю область температур від 90 до 1 К. Для точних вимірів необхідно враховувати відмінність властивостей реального газу, що заповнює термометр, від ідеального газу. Слід мати на увазі, що розміри термобалона є значними і можливий вплив температури навколишнього середовища, тому область застосування газових термометрів обмежена.

Конденсаційні термометри використовують експериментальну залежність тиску насиченої пари від температури. Діапазони виміру конденсаційних термометрів у криогенній області досить вузькі, наприклад для гелієвих термометрів 1–5 К, для водневих 15–35 К. Точність виміру температури залежить від точності визначення градуювальної характеристики термометра.

Термометри магнітної сприйнятливості застосовуються для виміру температур нижче 1 К. Необхідність проведення магнітних вимірів практично виключає можливість використання термометрів магнітної сприйнятливості в промислових установках. А необхідні розміри також обмежують область їх застосування.

При вимірі криогенних температур велику увагу слід приділяти методичним похибкам виміру температури, що визначаються особливостями теплообміну чутливого елемента термометра не тільки з вимірюваним середовищем, а й з навколишнім середовищем та елементами конструкції установки.

***Вимірювання температури розплавів.*** Складність вимірювання температури розплавів визначається в основному активною корозією захисного чохла термометра. Методичні похибки при вимірі температури розплавів



практично можна не брати до уваги, тому що тепловіддача від розплаву до чохла термометра, як правило, дуже добра. Виключення складають синтетичні матеріали великої в'язкості (пластмаси, синтетика, синтетичний каучук та ін.), у яких коефіцієнт тепловіддачі невеликий. Конструкція термометра в цьому випадку повинна забезпечити необгорнуватість термометра матеріалом і мінімальною похибкою шляхом теплопроводу через чохол. На рис. 2.30 представлений один з варіантів такого термометра, що складається з чутливого елемента в тонкому чохлах 1 і власника 2 обтічної форми.

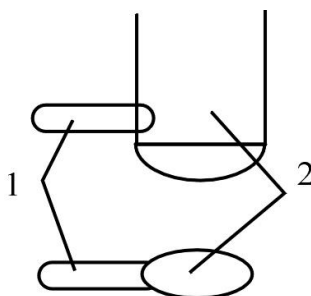


Рис. 2.30 – Термометр для виміру температур розплавів синтетичних матеріалів

При вимірі розплавів солей захисні чохла через кілька десятків годин виходять з ладу через агресивну дію розплаву. Тому часто роблять легко змінюваний чохол з неякісної дешевої сталі, наприклад термометр із товстостінним захисним чохлах зі звичайної дешевої сталі, що одночасно є одним з електродів термоелектричного термометра.

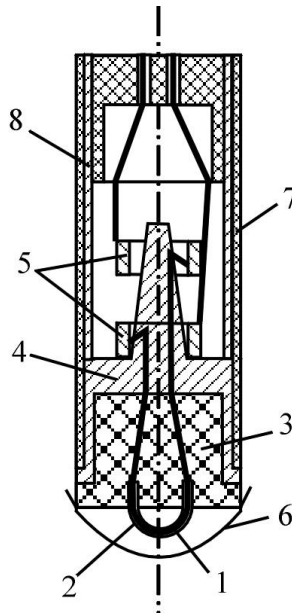


Рис. 2.31 – Термометр для виміру температур розплавів сталі і кольорових металів

Для виміру розплавів скла можуть застосовуватися захисні чохла з вуглецевих блоків або зі шляхетних металів. Графітові (вуглецеві) захисні чохла застосовуються для виміру температури у ванних печах. Усередині графітового чохла повинен бути розташований газошільний внутрішній чохол для захисту термопарі зі шляхетних металів від впливу відбудовної атмосфери вуглецю. Термометри такої конструкції мають велику теплову інерцію.

У живильних пристроях, де на поверхні розплаву скла є окисна атмосфера, можуть застосовуватися чохла зі шляхетних металів або комбіновані. Термоелектроди в порцеляновій ізоляційній трубці містяться в захисному чохлі з платини. Зовні розташовуються керамічний захисний чохол і монтажна сталева трубка, що кріпиться до головки термометра. Такий термометр відрізняється малою інерційністю.

Вимір температури розплавів кольорових і легких металів також викликає великі труднощі через сильну корозію металевих захисних чохла. Кварцові чохла не придатні, тому що, з'єднуючись, наприклад, з окисом алюмінію, кварц перетворюється на низькоплавке скло. Рідкі мідні сплави відбирають у кварцу кисень, руйнуючи його структуру. Для деяких розплавів кольорових металів застосовуються чохла з хромистого чавуну. Широкого поширення для епізодичного виміру температури рідкої сталі і розплавів кольорових металів одержали термоелектричні термометри короткочасного занурення зі змінними блоками (рис. 2.31). Дуже тонка термопара 1 (діаметром 0,08–0,1 мм) розташована в кварцовій трубці 2 і за допомогою термоелектродів приєднана до пружинних контактних кілець 5. Термопара з кварцовою трубкою захищена від механічних ушкоджень тонкостінним захисним ковпачком 6. Змінний блок, що складається з пластмасового блоку 4, термостійкої замазки 3, термопари 1, трубки 2 і захисного ковпачка 6, вставляється в захисний чохол з багатошарового паперу 7 і одночасно контакти блоку з'єднуються з контактами основного переносного чохла 8. За температури 1600–1700 °С такий термометр може знаходитися 10–15 с у рідкій сталі. При цьому частина паперового чохла обгоряє, розплавляється захисний ковпачок, але інтервал часу 10 с достатній для надійного і точного виміру температури. Після виміру змінний блок разом з паперовим захисним чохла знімають з основного чохла і заміняють новим. Для виміру застосовуються термометри платинородій-платино-родієві (тип В) і вольфрамений-вольфрамєнієві (ВР 5/20).

На даний час на ряді металургійних заводів застосовуються термоелектричні термометри для безупинного виміру температури розплавленої сталі. Термометр поміщається у водоохолоджувану захисну форму. Робочий спай вітчизняних термометрів захищений тришаровим наконечником: зовнішній шар – з

металокераміки, внутрішній – з окису алюмінію, у проміжку – засипання з окису алюмінію, термоелектроди платинородій-платинородієві (ПР 30/6). У закордонних конструкціях застосовуються газощільні капіляри з глинозему і металокерамічний чохол. Термометри для безупинного виміру температури розплавленої сталі часто оснащуються спеціальним приводом і можуть всовуватися у вимірюване середовище або висуватися з нього в процесі роботи сталеплавильного чи сталерозливного агрегату.

У зв'язку з малою надійністю контактних термометрів у розплавах для виміру температури рідкої сталі й інших розплавів часто застосовуються пірометри. Вид застосовуваного пірометра залежить від умов виміру. Наприклад, на конвертерах з донною продувкою можливо робити вимір через одне з дутцевих сопел пірометром повного випромінювання, тому що випромінювальна здатність поверхні металу в цьому випадку мало відрізняється від одиниці. Однак температура металу в цьому випадку виміряється безпосередньо в зоні реакції вуглецю з киснем і тому має більш високе значення, ніж середня температура металу в конвертері. Одночасні виміри дійсної температури розплаву термоелектричним термометром і яскравісної температури розплаву квазімонохроматичним пірометром дозволяють за температурою і коефіцієнтом теплового випромінювання робити висновок про якість сталі чи розплаву, про їх хімічний склад. Для зменшення впливу шлаку на показання може бути використаний пристрій для запам'ятовування пікових значень, що фіксують тільки значення вимірюваної температури металу.

Температура розплавленого скла може вимірятися пірометрами повного чи часткового випромінювання, якщо товщина шару розплаву така, що скломаса непрозора для випромінювання. Відзначена ще одна властивість випромінювання скла: в інтервалі довжин хвилі від 4 до 8 мкм усі сорти скла мають коефіцієнт теплового

випромінювання  $\varepsilon = 0,96$ . Тому пірометри часткового випромінювання, що працюють у цій області спектра, можуть бути відградувані у значеннях дійсної температури. Часто пірометр візується на дно керамічної калильної трубки, зануреної в розплав. У тій частині ванни, де немає смолоскипа, можливий вимір температури розплаву шляхом візування пірометра прямо на розплавлене скло. У цій частині має місце рівність випромінювання між ванною і зводом, тому їх вплив на результати виміру буде відсутній.

Пірометри випромінювання можуть бути використані також для виміру температур пластмас та інших полімерних матеріалів. Спектральні характеристики більшості полімерних матеріалів мають характерні смуги поглинання, у яких коефіцієнт теплового випромінювання практично дорівнює одиниці, наприклад для полістиролу 3,4; 6,8 і 14,2 мкм; для полівінілхлориду 3,4, 7 і 8 мкм; для нейлону 3; 3,4, 6,2, 6,6 мкм тощо. Тому квазімонохроматичні пірометри з ефективною довжиною хвилі, що відповідає одній з зазначених вище, можуть вимірювати відразу дійсну температуру. В окремих випадках при вимірі температури прозорих і напівпрозорих матеріалів перед пірометрами встановлюють фільтри, які виділяють ту чи іншу спектральну область, у якій ці матеріали мають випромінювальну здатність, близьку до абсолютно чорного тіла. На закінчення необхідно зазначити, що вибір того чи іншого методу виміру і його конструктивне виконання визначаються конкретними умовами виміру температури розплавів, їх взаємодією з різними матеріалами, їх випромінювальними здібностями та іншими фізичними і хімічними властивостями. І в кожному випадку може бути своє, відмінне від інших випадків рішення цієї проблеми.

## 2.2 Принципи вимірювання тиску, прилади для вимірювання тиску

### 2.2.1 Поняття тиск, одиниці виміру тиску

**Тиском** називають фізичну величину, яка дорівнює відношенню модуля сили  $F$ , що діє перпендикулярно поверхні, до площі  $S$  цієї поверхні.

$$p = \frac{F}{S}.$$

За одиницю виміру тиску в SI прийнятий тиск, що створює сила 1 Н на перпендикулярну до неї поверхню площею 1 м<sup>2</sup>. Ця одиниця називається Паскалем.

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Найменування одиниці тиску дано на честь французького вченого Блеза Паскаля, який жив в середині 17 сторіччя.

Широко застосовуються кратні одиниці кПа, МПа. Допускається використання таких одиниць, як кілограм-сила на квадратний сантиметр (кгс·см<sup>-2</sup>), кілограм-сила на квадратний метр (кгс·м<sup>-2</sup>) і 1 Бар. Співвідношення між системними одиницями і несистемними таке:

$$1 \text{ Па} = 10^{-5} \text{ Бар} = 1,0197 \cdot 10^{-5} \text{ кгс} \cdot \text{см}^{-2} = 0,10197$$

$$\text{кгс} \cdot \text{м}^{-2} = 7,5006 \cdot 10^{-3} \text{ мм.рт.ст.}$$

На практиці застосовуються позасистемні одиниці тиску:

- фізична нормальна атмосфера;
- міліметр ртутного стовпа

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 101325 \text{ Па} = 10 \text{ м в.ст.}$$

*Атмосферним* називається найбільший тиск, обумовлений вагою усього стовпа повітря від поверхні Землі до межі атмосфери. На рівні моря атмосферний тиск дорівнює 101325 Па. Зі збільшенням висоти над рівнем моря атмосферний тиск зменшується.

При вимірах розрізняють *абсолютний, надлишковий і вакууметричний* тиск. При цьому за нуль (початок відліку) приймають атмосферний тиск. Сума атмосферного і надлишкового тисків являє собою **абсолютний тиск**, тобто

$$P_{абс} = P_{атм} + P_{надл.}$$

Якщо абсолютний тиск менше атмосферного, то їхня різниця називається розрідженням або вакуумом:

$$P_{вак} = P_{атм} - P_{абс.}$$

### 2.2.2 Прилади вимірювання тиску

Вимір тиску необхідний для управління технологічними процесами і забезпечення пожежо- та вибухобезпеки виробництва, наприклад, для контролю тиску вогнегасних речовини в установках пожежогасіння, для сигналізації про спрацьовування установки й успішного випуску вогнегасної речовини і навіть у теплових пожежних сповіщувачах. Крім того, цей параметр використовується при непрямих вимірах інших технологічних параметрів: рівня, витрати, температури, щільності, що допомагає у спостереженні за станом навколишнього середовища.

Засоби виміру, призначені для виміру тиску і розрідження, називаються **манометрами**. Залежно від виду і величини тиску, що вимірюється, прилади для виміру тиску умовно поділяють на:

- вакуумметри- для виміру глибокого розрідження;
- напоромери- для виміру надлишкового тиску до 0,04 МПа;
- тягоміри – для виміру розрідження до 0,04 МПа;

– тягонапороміри – для виміру надлишкового тиску до 0,02 МПа і розрідження до 0,02 МПа;

– диференціальні манометри (дифманометри)- для виміру різниці (перепаду) тисків.

Принцип дії вимірювальних приладів базується на спроможності речовини (твердого, рідкого, газоподібного) опиратися прикладеному силовому впливу. Залежно від *принципу*, використовуюваного для *перетворення* силового впливу на чутливий елемент на показання або пропорційні зміни іншої фізичної величини, прилади виміру тиску розділяються на:

- рідинні;
- деформаційні;
- вантажопоршневі;
- електричні;
- іонізаційні;
- теплові.

За *призначенням* розрізняють:

- технічні (для неагресивних середовищ);
- електроконтактні;
- вібростійкі;
- вибухозахищені;
- корозійностійкі;
- аміачні (для агресивних середовищ);
- надвисокого тиску.

**Рідинні манометри.** У основу роботи приладів покладений принцип сполучених посудин, у яких рівні робочої рідини збігаються за рівності тисків над ними, а за нерівності займають таке положення, коли надлишковий тиск в одній з посудин врівноважується гідростатичним тиском надлишкового стовпа рідини в іншому.

Існують такі види рідинних манометрів: двотрубні, однотрубні, мікроманометри. Розглянемо роботу двотрубного манометра (рис. 2.32).



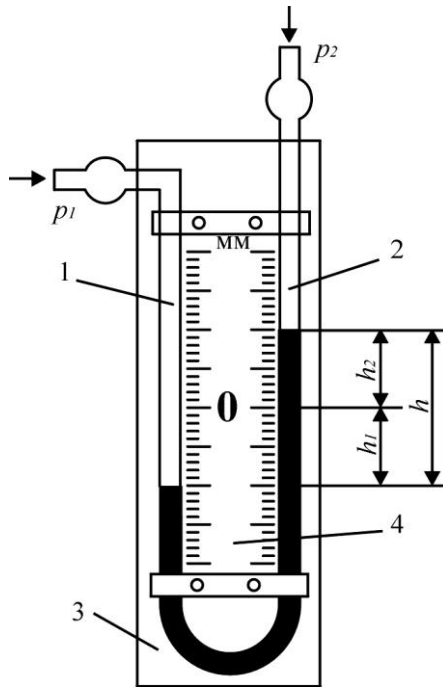


Рис. 2.32 – Схема двотрубного рідинного манометра

Дві вертикальні сполучені скляні трубки 1, 2 закріплені на основі 3, до якої прикріплена шкальна пластинка 4. Трубки заповнюються робочою рідиною до нульової позначки.

У трубку 1 подається тиск, що вимірюється, трубка 2 сполучається з атмосферою.

$$p_1 - p_2 = \rho \cdot g \cdot h,$$

де  $\rho$  - густина робочої рідини  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$g$  - місцеве прискорення вільного падіння  $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ .

Як робоча рідина може використовуватися вода, ртуть, спирт, трансформаторне мастило. Таким чином, чутливим

елементом є робоча рідина, вхідним сигналом – тиск або різниця тисків, вихідним – різниця рівнів робочої рідини.

Манометри з водяним заповненням використовують для виміру тисків у діапазоні до 10 кПа, ртутні до 0,1 МПа.

Однотрубні (чашкові) манометри використовують для підвищення точності відліку різниці висот рівнів. У них одна трубка замінена широкою судиною, у яку подається більший з тисків, що вимірюються.

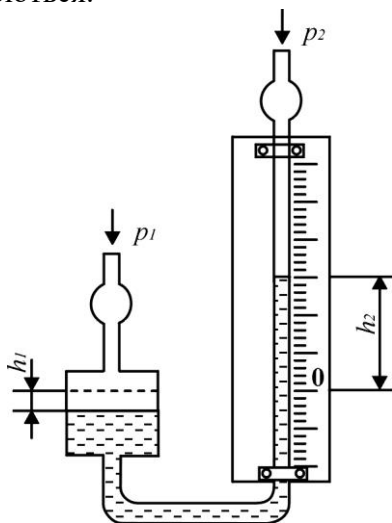


Рис. 2.33 – Однотрубний рідинний манометр

За умови, що площа поперечного перетину вимірювальної трубки  $f$  менше площі поперечного перетину широкої судини  $F$  більш ніж у 400 разів, то зміною рівня в широкій судині нехтують і для виміру тиску використовують показання рівня у вимірювальній трубці  $h_2$ . Для підвищення точності вимірів зміна рівня  $h_1$  враховується і шкала градується в одиницях тиску відповідно до рівняння:

$$p_1 - p_2 = \rho \cdot g \cdot (h_1 + h_2) = \rho \cdot g \cdot h_2 \left( 1 + \frac{f}{F} \right).$$

Вимір одного стовпа рідини призводить до зниження похибок зчитування, що з урахуванням похибки градуювання шкали не перевищує  $\pm 1$  мм, при ціні ділення 1 мм.

Мінімальний діапазон виміру однотрубних манометрів із водяним заповненням складає 1,6 кПа. Конструктивне виконання РМ залежить від статичного тиску, на який вони розраховані.

**Мікроманометри** використовуються для виміру тиску або різниці тисків до 3 кПа. Вони є різновидом однотрубних манометрів і споряджені спеціальними пристосуваннями для зменшення ціни ділення шкали, або для підвищення точності зчитування висоти рівня за рахунок використання оптичних та інших пристроїв (рис. 2.34).

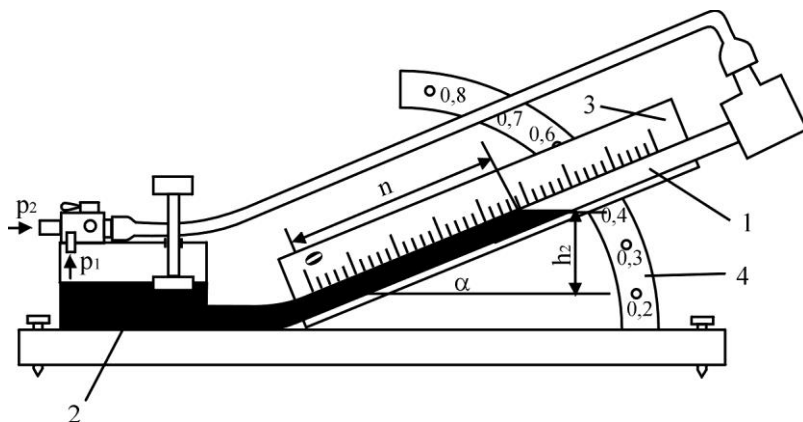


Рис. 2.34 – Схема мікроманометра: 1 – скляна трубка; 2 – резервуар з рідиною; 3 – шкала; 4 – нахилений упор.

Рідинні манометри використовуються в лабораторній практиці та при проведенні промислових випробувань.

Перевагами цих приладів є простота і надійність за високої точності вимірів.

**Деформаційні манометри.** Принцип роботи деформаційних приладів ґрунтується на залежності деформації чутливого елемента від тиску, що вимірюється. Деформація або сила пропорційна тиску, що вимірюється, перетворюється на показання або відповідні зміни вихідного сигналу. Більшість деформаційних манометрів і диференційних манометрів містять пружні чутливі елементи, які здійснюють перетворення тиску на пропорційне переміщення робочої точки. Розрізняють такі види деформаційних манометрів:

- трубчасті пружини;
- сильфони;
- гофровані мембрани;
- мембранні коробки;
- м'які мембрани з жорстким центром.

Найбільшого поширення одержали такі пружні чутливі елементи як трубчасті пружини (рис. 2.35).

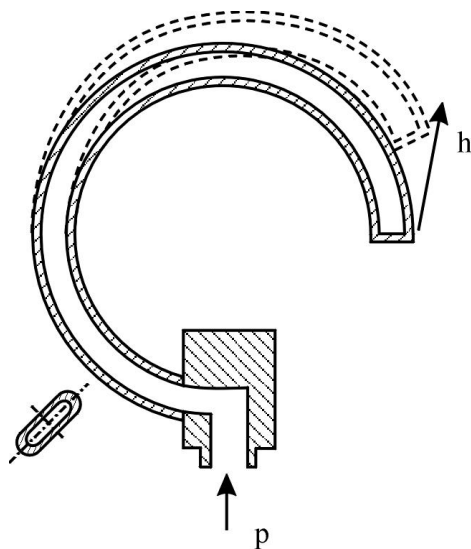


Рис. 2.35. Пружний чутливий елемент – трубчаста пружина

Статичній (пружній) характеристиці чутливого елемента, що зв'язує переміщення робочої точки з тиском, властива наявність початкової зони пропорційних переміщень робочої точки, у якій мають місце пружні деформації, і нелінійної ділянки, у якій виникають пластичні деформації. Недосконалість пружних властивостей матеріалів чутливих елементів обумовлює наявність гістерезису статичної характеристики і пружна післядія. Останнє виявляється в запізнюванні переміщення робочої точки стосовно прикладеного тиску і повільному поверненні її в початкове положення після зняття тиску.

Форма і крутизна статичної характеристики залежать від конструкції чутливого елемента, матеріалу, температури. Робочий діапазон обирається в області пружних деформацій із забезпеченням запасу на випадок перевантаження чутливого елемента тиском. Пружні властивості чутливих елементів характеризуються коефіцієнтом жорсткості по силі:

$$k_F = \frac{F}{h} = \frac{p \cdot S}{h},$$

де  $F$ ,  $S$  – відповідно сила, що діє на пружний чутливий елемент (перестановочне зусилля), і ефективна площа елемента;

$h$  – переміщення робочої точки.

Порожнисті одновиткові трубчасті пружини (рис. 2.35) мають еліптичний або плоскоовальний перетин. Один кінець пружини, у який надходить тиск, що вимірюється, закріплений нерухомо у тримачі, другий (закритий) може переміщатися. Під дією різниці внутрішнього тиску, що вимірюється, і зовнішнього атмосферного трубчаста пружина деформується: мала вісь перетину трубки збільшується, велика зменшується, при цьому пружина

розкручується і її вільний кінець здійснює переміщення в 1-3 мм. Для тисків до 5 МПа трубчасті пружини виготовляють із латуні, бронзи, а для більш високих тисків – з легованих сталей і сплавів нікелю.

**Трубчато-пружинні манометри.** Схема трубчато-пружинного манометра, що показує, подана на рис. 2.36. Одновиткова трубчаста пружина 1 з одного кінця приварена до тримача 2, прикріпленого до корпусу манометра. Нижня частина тримача закінчується шестигранною головкою і штуцером, за допомогою якого до манометра приєднується трубка, що підводить тиск. Вільний кінець пружини припаяно до пробки 3, що шарнірно з'єднується з повідком 4. При переміщенні вільного кінця пружини поводок повертає зубцюватий сектор 5 відносно осі О, викликаючи поворот шестерні (трибки) 6 і розташованої на одній осі з нею стрілки, що показує 7. Пружина, не показана на рисунку, забезпечує підгортання зубців трибки до зубців сектора, усуваючи люфт. Статична характеристика манометра може підбудовуватися шляхом зміни точки закріплення повідця 4 у прорізі сектора 5. На рис. 2.36 показане радіальне розміщення штуцера; випускаються також манометри з осьовим розміщенням штуцера.

Трубчато-пружинні манометри, що показують, випускаються з верхньою межею виміру від 0,1 МПа (1 кгс/см<sup>2</sup>) до 103 МПа (104 кгс/см<sup>2</sup>) відповідно до стандартного ряду. Пружинні вакуумметри мають діапазон виміру 0,1-0 МПа, а мановакуумметри за нижньої межі виміру 0,1 МПа мають верхню межу виміру за надлишкового тиску від 0,1 до 2,4 МПа. Зразкові пружинні манометри, що показують, мають клас точності 0,15; 0,25 і 0,4; робочі манометри – 1,5; 2,5; 4, робочі манометри підвищеної точності – 0,6 і 1.

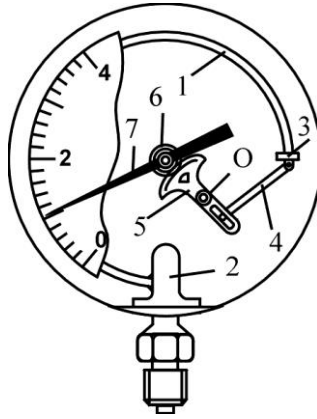


Рис. 2.36 – Трубчато-пружинний манометр, що показує

Промисловістю випускаються механічні манометри, що показують і самописні з одновитковою (типу МТ) і багатовитковою (типу МТМ) трубчатою пружиною. Принципова схема останнього приведена на рис. 2.37. Під дією тиску, що вимірюється, вільний правий кінець трубчатої багатовиткової пружини 1 переміщається, викликаючи поворот осі 2 і розташованого на ній важеля 3. Останній сполучений із тягою 4, що за допомогою важеля 5 повертає вісь у, на якій насаджений П-подібний важіль 7, що закінчується ручкою 8. У приладах, що показують, на вісь 6 насаджений важіль 9, тягою сполучений із сектором, що переміщають трибку стрілки показчика. Дискова діаграма 10 здійснює один оборот за 12 або 24 годин, її обертання здійснюється електричним двигуном або годинним механізмом. Клас точності манометрів, що показують, та самописних – 1; 1,5, вони відносяться до числа великогабаритних приладів, розміри яких визначаються діаметром дискової діаграми.

Манометри, що показують та самописні можуть містити додаткові пристрої, що здійснюють замикання електричного ланцюга за певного значення тиску, що вимірюється, перетворення переміщення кінця трубчатої

пружили в пропорційний електричний або пневматичний сигнал.

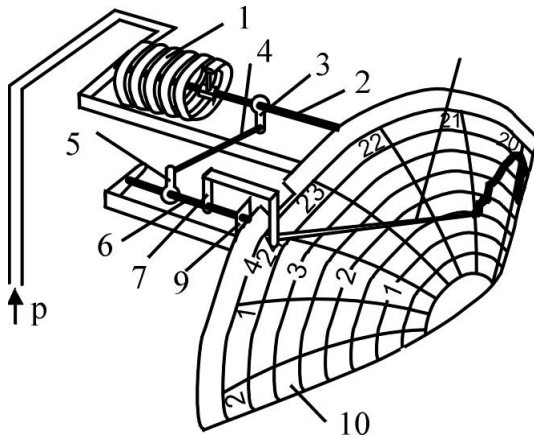


Рис. 2.37 – Самописний манометр типу МТС

Для сигналізації граничних відхилень тиску в ланцюгах захисту і позиційного регулювання широко застосовуються електроконтактні манометри. Схема манометра типу ЕКМ подана на рис. 2.38. У манометр додатково введемо дві стрілки 2, 3, до яких пружними струмопідводами притиснуті електричні контакти 4. Стрілки 2, 3 за допомогою торцевого ключа і повідця 5 устанавлюються проти значень тиску, що сигналізується. Стрілка 1, що показує, також оснащена електричним контактом 6. Якщо тиск знаходиться в межах робочого діапазону, то електричні ланцюги сигналізації розімкнуті. При досягненні стрілкою, що показує, будь-якого з контактів замикається електричний ланцюг, викликаючи спрацювання сигналізації. Електричні контакти залишаються замкнутими при знаходженні стрілки, що показує, за межами робочого діапазону тиску, оскільки стрілки 2, 3 обмежують зсув контактів у середину робочого діапазону, а поза ним контакти захоплюються стрілкою, що



показує 1. Клас манометрів і вакуумметрів 1,5; межі виміру відповідають стандартному ряду.

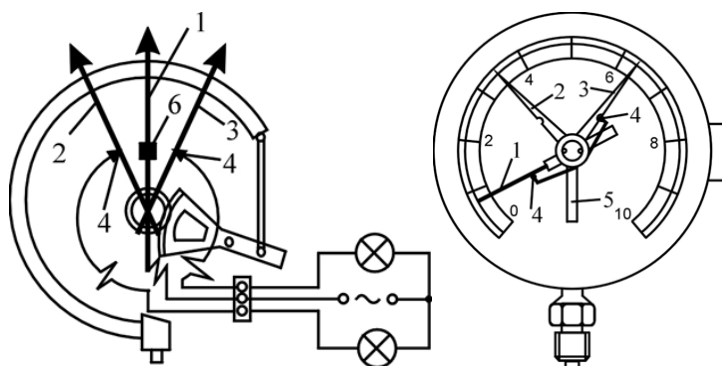


Рис. 2.38 – Електроконтактний манометр

На рис. 2.39 подана схем трубчато-пружинного манометра МЕД із диференційно-трансформаторним перетворювачем 1, що має на виході сигнал перемінного струму частотою 50 Гц.

Випускаються модифікації манометрів МЕД із відліковим пристроєм, клас точності обох модифікацій 1, верхні межі виміру – від 0,1 до 160 МПа за стандартним рядом. На даний час на базі манометрів МЕД розпочато випуск манометрів МП, що мають на виході уніфікований сигнал у вигляді зміни струму. Для його одержання в прилад уведений підсилювач, що перетворює зміни взаємної індуктивності в пропорційний сигнал зміни струму. Гранична приведена похибка не перевищує 1%.

У перетворювачах тиску, що мають на виході уніфікований сигнал зміни струму і пневматичний сигнал, часто використовується принцип статичного зрівноваження.

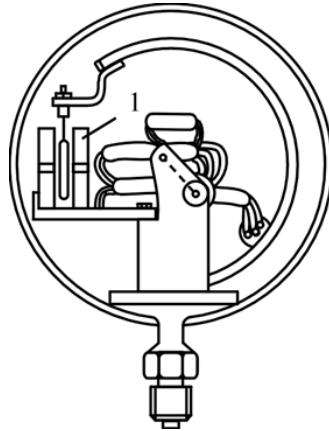


Рис. 2.39 – Схема манометра МЕД із диференційно-трансформаторним перетворювачем

Схема трубчастого пружинного манометра з компенсацією магнітних потоків типу МПЕ подана на рис. 2.40. Вільний кінець манометричної пружини 1 пов'язаний із постійним магнітом 2, що переміщається між двома магнітопровідниками 3. У результаті взаємодії поля постійного магніту 2 із полями, утворюваними обмотками порушення і зворотного зв'язку, на вході підсилювача виникає небаланс вимірювального моста, що перетворюється у вихідний уніфікований сигнал.

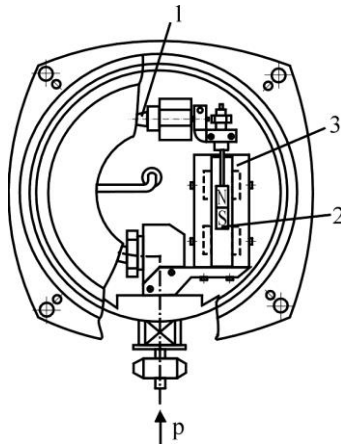


Рис. 2.40 – Схема пружинного манометра МПЕ

Оскільки в манометрах МПЕ негативний зворотний зв'язок використовується для компенсації магнітного потоку постійного магніту, пружний чутливий елемент і магнітний перетворювач не охоплені зворотним зв'язком. У зв'язку з цим зміна характеристик пружного чутливого елементу і магнітних перетворювачів у прямому каналі й у ланцюзі зворотного зв'язку впливають на коефіцієнт передачі перетворювачів тиску.

Манометри МПЕ випускаються відповідно до стандартних рядів із верхніми межами виміру від 4 до 60 МПа, на виході прилади мають уніфікований сигнал зміни струму 0 – 5 м при опорі навантаження до 2,5 кОм, клас 1.

Манометри із силовою компенсацією типу МПЕ випускаються з верхньою межею виміру від 4 до 100 МПа вихідний сигнал – постійний струм 0 – 5 (20) м, сумарний опір навантаження не повинен перевищувати 2,5 кОм, клас точності 0,6; 1; 1,5.

З використанням однієї і тієї ж елементної бази випускаються трубчато-пружинні манометри з уніфікованим пневматичним вихідним сигналом 0,02-0,1 МПа (0,2-1,0 кгс/см<sup>2</sup>). Відмінність цих приладів від розглянутих вище

полягає у використанні індикатора неузгодженості типу сопло – заслінка, пневмопідсилювача і сільфона зворотного зв'язку, що перетворює вихідний тиск на зусилля. Манометри пневматичні типу МП-П випускаються на ті ж межі виміру, що і МПЕ, клас точності приладів 0,5; 1, тиск повітря, що живить, є 0,14 МПа, гранична довжина ліній зв'язку від перетворювача до повторного приладу складає 300 м.

**Мембрани, сільфони.** Сільфонні та мембранні чутливі елементи мають більш широкі можливості для збільшення ефективної площі, з метою одержання необхідного перестановочного зусилля, що дозволяє використовувати їх для виміру малих надлишкових тисків і розрідження. Сільфон (рис. 2.41) являє собою тонкостінну трубку з поперечними кільцевими гофрами на бічній стінці. Жорсткість сільфона залежить від матеріалу, з якого він виготовлений, зовнішнього й внутрішнього діаметрів, товщини стінки заготовки, радіуса заокруглення гофр  $r$  і кута їх ущільнення  $\alpha$ , числа гофр. Сільфони бувають суцільнотягнутими і зварними.

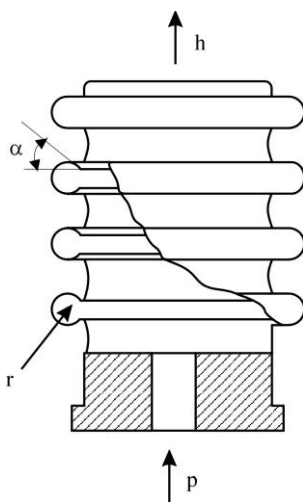


Рис. 2.41 – Принципова схема сільфона

Під дією тиску газу сиффон (рис. 2.42, а) розтягується, переміщуючи, наприклад, движок потенціометра. У результаті змінюється вихідний опір датчика.

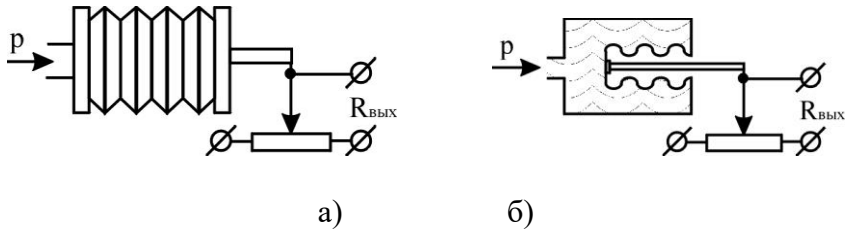


Рис. 2.42 – Датчики тиску:

а – сиффонний для газів; б – сиффонний для рідин

При вимірі тиску рідин застосовується інша конструктивна схема сиффонного датчика (рис. 2.43, б). Рідина під тиском  $p$  надходить у порожнину сиффона, який, зіщулюючись, переміщає движок потенціометра.

У даному сиффоні сила тиску рідини ( $S_c p$ ) врівноважується сумарною силою: силою пружкості сиффона ( $k_c l$ ), силою тертя  $\left(D \frac{dl}{dt}\right)$  та інерційною силою  $\left(m \frac{d^2 l}{dt^2}\right)$ .

Прирівнюючи сили, отримаємо диференціальне рівняння:

$$m \frac{d^2 l}{dt^2} + D \frac{dl}{dt} + k_c l = S_c p,$$

де  $m$  – маса рідини в сиффоні;  $l$  – переміщення рухливого краю сиффона (движка потенціометра);  $D$  – коефіцієнт грузлого тертя;  $k_c$  – коефіцієнт пружкості сиффона;  $S_c$  – площа сиффона.

З попереднього рівняння можна отримати

$$\frac{m}{k_c} \frac{d^2 l}{dt^2} + \frac{D}{k_c} \frac{dl}{dt} + l = \frac{S_c}{k_c} p$$

або після введення позначень

$$\frac{1}{\omega_0^2} \frac{d^2 l}{dt^2} + \frac{2\xi}{\omega_0} \frac{dl}{dt} + l = Kp,$$

$$\text{де } \frac{1}{\omega_0} = \sqrt{\frac{m}{k_c}}, \quad \xi = \frac{D}{2\sqrt{k_c m}}, \quad K = \frac{S_c}{k_c}.$$

Мембрана, що являє собою тонку пластину, закріплюється на кінці трубопроводу (рис. 2.43). Під дією тиску рідини або газу жорсткий центр мембрани прогинається, переміщуючи движок вторинного вимірюючого приладу, наприклад, потенціометра. Через це змінюється вихідний опір датчика.

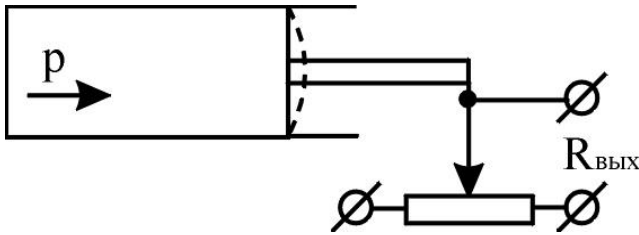


Рис. 2.43 – Мембранний датчик тиску

**Мембранні** чутливі елементи є найрізноманітнішими за конструкцією. Подана на рис. 2.44, а плоска або гофрована мембрана є гнучкою тонкою пластиною, закріпленою по окружності. Під дією різниці тисків, що діють по обидва боки на мембрану, її центр переміщується. Плоска мембрана має нелінійну пружну характеристику і малі переміщення робочої точки, у зв'язку з чим її в основному застосовують для перетворення тиску в силу

(п'єзоелектричні перетворювачі) або поверхневі деформації (тензопере-творювачі).

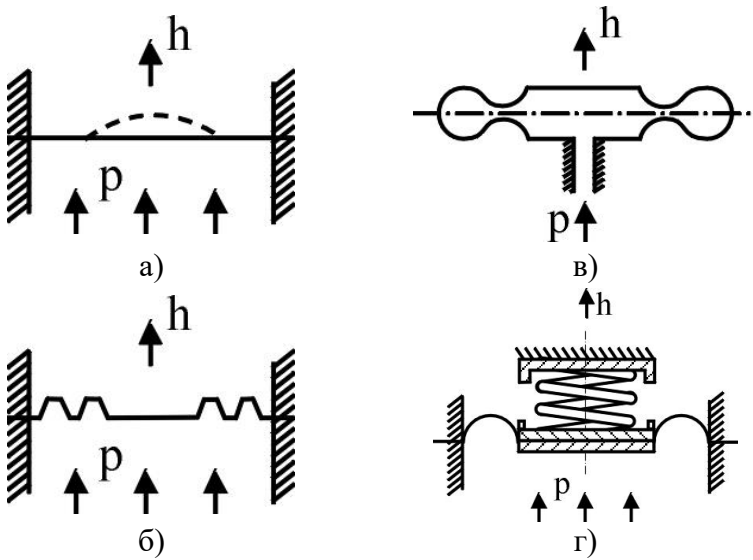


Рис. 2.44 – Мембранні чутливі елементи:

а), б) плоскі і гофровані мембрани; в) мембранні коробки;; г) м'які мембрани з жорстким центром

Для поліпшення статичної характеристики використо-вують гофровані мембрани і мембранні коробки (рис. 2.44 б, в). Профілі мембран можуть бути пилкоподібними, трапеце-подібними, синусоїдальними. Гофрування мембрани призводить до збільшення її жорсткості, випрямлення статичної характеристики і збільшення зони пропорційних переміщень робочої точки. Більш широко використовуються мембранні коробки, що являють собою зварні або спаяні по зовнішньому краю мембрани. Жорсткість коробки вдвічі нижче жорсткості кожної з мембран. У дифманометрах як чутливі елементи регуляторів прямої дії використовуються мембранні блоки, що включають дві коробки і більше.

У напорометрах і тягометрах застосовуються м'яві мембрани (рис. 2.45, г), виготовлені з бензомастилостійкої прогумованої тканини. У центрі мембрани кріпляться металеві

пластини, в одну з яких упирається гвинтова пружина, що виконує функції пружного елемента.

Пружні властивості матеріалів чутливих елементів залежать від температури: так, у трубчастих пружин температурний коефіцієнт зниження жорсткості за зростання температури сягає  $3 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ . Це визначає необхідність захисту приладів від впливу високих температур середовища, що вимірюється. З часом у пружних чутливих елементах накопичуються пластичні деформації та зменшуються пружні. Це призводить до зниження крутизни статичної характеристики приладу та її зсуву. Процес зміни статичної характеристики пришвидшується при підвищеній температурі та пульсації тиску, що вимірюється. Конструкція деформаційних манометрів і дифманометрів звичайно передбачає можливість корекції відхилень показань або вихідного сигналу, викликаних старінням пружного чутливого елемента.

**Вантажопоршневі манометри.** У вантажопоршневих манометрах тиск, що вимірюється, врівноважується силою ваги неуцільненого поршня з вантажами. Манометри використовуються як зразкові засоби відтворення одиниці тиску в діапазоні від  $10^{-1}$  до 1013 Па, а також для точних вимірів тиску в лабораторній практиці.

Схема поршневого манометра, що має діапазон виміру 6 МПа (МП-60), подана на рис. 2.45. Поршень 1 із тарілкою 2 для вантажів 3 переміщується всередині циліндра 4. Поршнева пара підганяється таким чином, щоб зазор між поршнем 1 і циліндром 4 не перевищував 0,01 мм. При такому зазорі навіть за високих тисків швидкість опускання поршня через відплив робочої рідини не перевищує 1 мм/хв. Для забезпечення рівномірного зазору між циліндром і поршнем останній у момент виміру обертають за



годинниковою стрілкою. У манометрах із діапазоном виміру 0,6 МПа та вище обертання поршня здійснюється вручну.

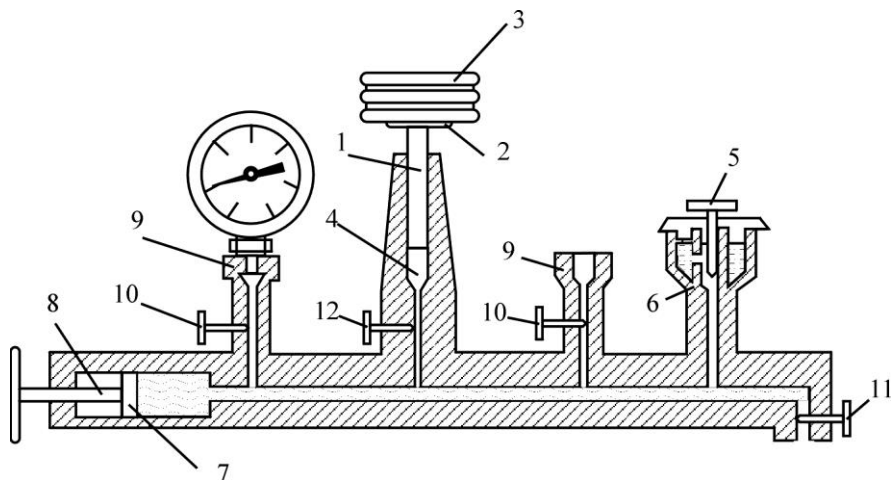


Рис. 2.45 – Схема вантажопоршневого манометра

**П'єзоелектричні манометри.** Принцип дії манометрів цього типу базується на п'єзоелектричному ефекті, сутність якого полягає у виникненні електричних зарядів на поверхні стиснутої кварцової пластини, що вирізається перпендикулярно до електричної осі кристалів кварцу. Схема п'єзоелектричного манометра подана на рис. 2.46. Тиск, що вимірюється, за допомогою мембрани 1 перетворюється в зусилля, що стискує кварцові пластини 2. Електричний заряд, що виникає на металізованих площинах 3 під дією зусилля  $F$  із боку мембрани 1, визначається виразом:

$$Q = k \cdot F = k \cdot S \cdot p,$$

де  $p$  – тиск, що діє на металеву мембрану 1 з ефективною площею  $S$ ;

$k$  – п'єзоелектрична постійна, Кл/Н.

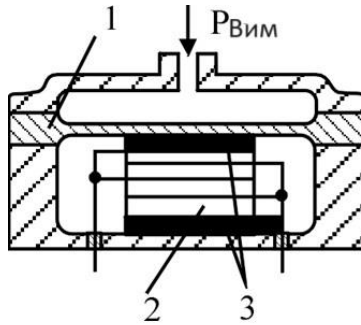


Рис. 2.46 – Схема п'єзоелектричного манометра

Напруга на вході підсилювача, підключеного до виходу п'єзоперетворювача, визначається загальною ємністю вимірювального ланцюга  $C$ :

$$u = \frac{Q}{C}.$$

П'єзоелектричний датчик являє собою кварцову пластину, на протилежні поверхні якої напилені (або приклеєні струмопровідним клеєм) електроди, до яких припаюються виводи (рис. 2.47). При стиску кварцової пластини силою  $P$  на її протилежних поверхнях, а отже, і на електродах, через прямий п'єзоелектричний ефект виникають електричні заряди. Розмір заряду пропорційний стискальній силі  $P$ , тобто

$$Q = dP,$$

де  $d$  – коефіцієнт пропорційності, який називають п'єзомодулем.

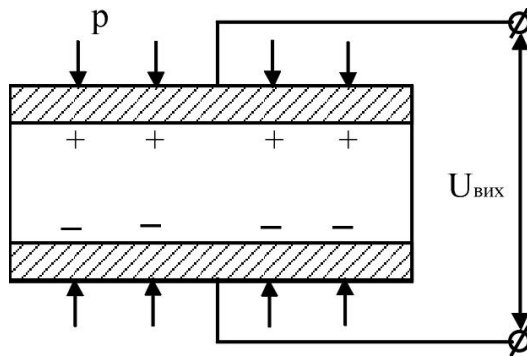


Рис. 2.47 – П'єзоелектричний датчик

За сили  $P$ , що змінюється, з'являється вихідна напруга:

$$U_{вих} = \frac{Q}{C_{\delta} + C_{м}} = \frac{d}{C_{\delta} + C_{м}} P,$$

де  $C_{\delta}$  – ємність датчика (конденсатора, утвореного електродами і кварцовим діелектриком);

$C_{м}$  – ємність монтажу.

З цієї формули очевидно, що, знаючи вихідну напругу, можна визначити силу  $P$ . Якщо  $P$  постійна, то  $U_{вих}=0$ . П'єзоелектричні датчики безінерційні. Вони використовуються для виміру сил, тисків, вібрацій і для інших вимірів, у яких прямо або побічно виявляються силові впливи. Вихідна напруга п'єзоелектричних датчиків від одиниць мілівольт до одиниць вольт. Для посилення вихідної напруги п'єзоелектричного датчика потрібно застосовувати підсилювач із дуже великим входним опором.

Кварц на відміну від інших сегнетоелектриків, що мають п'єзоэффект, є механічно міцним і має високу жорсткість, що виключає вплив пружної характеристики мембрани  $l$  на коефіцієнт передачі п'єзоелектричного перетворювача. Частота власних коливань перетворювача

сягає десятків кілогерц, унаслідок чого вони широко застосовуються при випробуваннях двигунів та на інших технологічних об'єктах, що характеризуються високочастотними змінами тиску.

П'єзоелектрична постійна кварцу, що складає біля  $2 \cdot 10^{-12}$  Кл/Н, відрізняється стабільністю і слабкою залежністю від температури, що дозволяє використовувати п'єзоперетворювачі для виміру тиску високотемпературних середовищ. Через вплив заряду п'єзоелектричні перетворювачі не використовуються для виміру статичних тисків. З метою підвищення чутливості декілька кварцових пластин включаються паралельно. Верхня межа виміру тиску в цих приладах сягає 100 МПа (1000 кгс/см<sup>2</sup>).

**Манометри з тензоперетворювачами.** Манометри з тензорезистивними перетворювачами за швидкодією наближаються до п'єзоелектричних манометрів. Перші являють собою мембрани, на яких розміщені дрові, фольгові або напівпровідникові резистори, опір яких змінюється при деформації мембрани під дією тиску.

Дія вимірювальних тензоперетворювачів базується на зміні електричного опору чутливого елемента (наприклад, стрічки з тензочутливого матеріалу) при його деформації. Звичайно вони використовуються як перетворювачі, що передають, для виміру деформацій елементів конструкцій або чутливих елементів первинних приладів. Так, тензоперетворювачі можуть бути використані для дистанційного виміру тиску, якщо їх механічно з'єднати з манометрами, що деформуються під дією тиску.

Основними вимогами до тензочутливих матеріалів є стабільність характеристик, малий температурний коефіцієнт електричного опору, висока чутливість. Дуже часто як матеріали використовуються константан, сплави міді і нікелю, нікелю і хрому і т.д.

Поряд із металевими тензоперетворювачами застосовуються і напівпровідникові. Останні мають більш

високу тензочутливість, в порівнянні з металевими, малі розміри і масу.

За будовою металеві тензоперетворювачі підрозділяються на ті, що наклеюються, і ті, що не наклеюються. Найбільш поширеними є тензорезистори, що наклеюються, які виконуються з зигзагоподібно покладеного і приклеєного на підкладку 1 (із паперу або пластмаси) дроту 2 діаметром 0,01-0,05 мм (рис. 2.49). До кінців дроту приварені вивідні провідники 3 діаметром 0,5 мм. Фольговий тензоперетворювач виготовляється з металевої фольги товщиною 0,001- 0,01 мм.

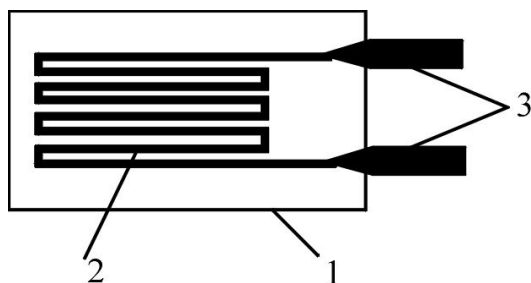


Рис. 2.49 – Металевий тензоперетворювач

Тензоперетворювач наклеюється на елемент, що деформується, за деформації якого змінюються розміри й електричний опір дроту, причому ця зміна залежить від ступеня деформації. Зміна опору звичайно вимірюється за допомогою мостової схеми. Відносна зміна опору тензоперетворювачів невелика (наприклад, для металевих вона не перевищує 1%), тому температурний коефіцієнт матеріалу дроту повинен бути близьким до нуля. Крім того, для зменшення впливу температури застосовуються спеціальні схеми термокомпенсації.

Промислові тензорезистивні перетворювачі призначені для перетворення тиску до 100 МПа, розрідження і різниці тисків до 16 МПа в пропорційне значення вихідного сигналу постійного струму.

**Іонізаційні манометри.** Для виміру тиску в діапазоні  $10^{-1} - 10^{-8}$  Па використовуються іонізаційні манометри. Схема приладу надана на рис. 2.50. Основним елементом манометра є скляна манометрична лампа, що містить катод 1, що знаходиться всередині анодної сітки 2, оточеної циліндричним іонним колектором 3. Електрони, які ежектуються розпеченим катодом, прискорюються позитивною напругою, прикладеною між анодом і катодом. При русі електрони іонізують молекули розрідженого газу. Позитивні іони потрапляють на негативно заряджений колектор 3. За сталості анодної напруги й електронної емісії розмір колекторного струму  $I_k$  залежить від тиску, що вимірюється.

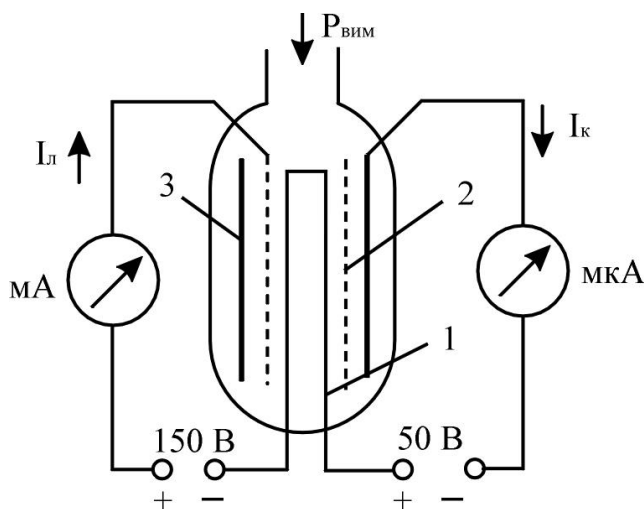


Рис. 2.50 – Схема іонізаційного манометра

Нижня межа виміру іонізаційних манометрів обмежена фоновим струмом, викликаним м'яким рентгівівським випромінюванням анода та фотоелектронною емісією колектора.

В магнітних електророзрядних манометрах із холодним катодом для зниження нижньої межі виміру до  $10^{10}$  Па траєкторія прямування електронів у лампі формується за рахунок використання зовнішнього магнітного поля, при цьому подовжується пробіг електронів, зростає число їх співударів із молекулами газу.

**Теплові манометри.** Для виміру тиску в діапазоні  $1-10^4$  Па ( $10^{-2}-10^2$  мм рт. ст.) використовуються теплові манометри, які, як і іонізаційні, містять у собі манометричний перетворювач і вимірювальний блок. Принципова вимірювальна схема теплового манометра наведена на рис. 2.51. Вона являє собою неврівноважений міст, на який напруга подається від стабілізованого джерела живлення ДЖ. Три плеча моста містять постійні резистори  $R_1 - R_3$ , а четверте являє собою нагріту до  $200\text{ }^\circ\text{C}$  вольфрамову нитку, яка знаходиться в камері, куди подається тиск, що вимірюється. За зазначених тисків унаслідок зниження числа молекул довжина їх вільного пробігу стає сумірною з відстанями між теплопередаючими поверхнями вимірювальних камер приладу, у зв'язку з чим теплопровідність за тисків  $10^3$  Па (10 мм рт. ст.) і нижче лінійно зменшується за мірою зниження тиску.

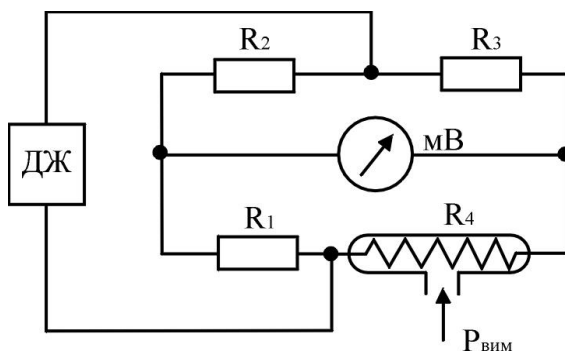


Рис. 2.51 – Схема теплового манометра

Тепловіддача від вольфрамової нитки залежить як від числа молекул, що беруть участь у переносі тепла, так і від температури стінок камери. Для зниження впливу на показання приладу коливань температури навколишнього середовища, що визначає температуру стінок камери, плече моста, що притискується до  $R_4$ , поміщається до вакуумованої камери, аналогічної вимірювальній.

Нижня межа застосування манометрів обмежується зростанням за мірою зниження теплопровідності ролі променистого теплообміну, що стає визначальним за тисків нижче  $10^{-1}$  Па ( $10^{-3}$  мм рт. ст.).

Для виміру температури нитки можуть використовуватися термопари, у цьому випадку теплові манометри називають термопарними. Схема манометричного перетворювача (лампи) вакуумметра типу ВТ-2 подана на рис. 2.52. У середині скляного балона 1, який вакуумно щільно під'єднують верхньою частиною до об'єкта виміру тиску, знаходиться платиновий нагрівач 2, температура якого вимірюється хромель-копелевою термопарою 3.

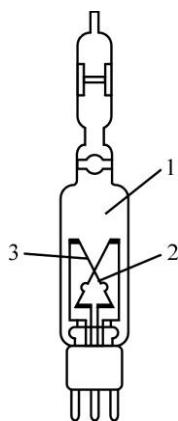


Рис. 2.52 – Термопарний манометричний перетворювач



Теплові манометри можуть працювати в режимі підтримки постійного струму через нагрівач, тоді тиск, що вимірюється, пропорційний різниці між температурами нагрівача і стінок лампи. При роботі в режимі підтримки постійної різниці температур за рахунок зміни струму розмір останнього характеризує тиск, що вимірюється.

## **2.3 Принципи вимірювання рівня, прилади для виміру рівня**

### **2.3.1 Загальні відомості про рівень**

*Рівень* - це висота заповнення технологічного апарату, ємності, простору певним середовищем - рідиною або сипучим тілом. Рівень вимірюють в одиницях довжини. Вимірювання рівня у резервуарі завжди є вертикальним виміром.

Вимірювання рівня рідини відіграє важливу роль при автоматизації технологічних процесів у багатьох галузях промисловості, при спостереженні за станом навколишнього середовища та в інших сферах людської діяльності. Ці виміри особливо важливі в таких випадках, коли підтримання деякого заданого рівня рідин, пов'язано з умовами безпечної роботи обладнання. Крім того рівень робочого середовища є параметром, інформація про який необхідна для контролю за станом навколишнього середовища, управління ходом технологічного процесу, забезпечення його безпеки, проведення товароблікових операцій через визначення маси речовини в ємності та ін.

### **2.3.2 Датчики для контролю рівня речовин**

На сьогодні існує велике число методів виміру рівня рідин. Вимір рівня відбувається як у відкритих ємностях, так і в посудинах, що знаходяться під тиском.

Технічні засоби, які призначені для виміру рівня рідини, називають *рівнемірами*.

За способом взаємодії з середовищем рівнеміри бувають:

- контактні:
  - поплавкові;
  - буйкові;
  - гідростатичні;
- безконтактні (дистанційні):
  - ультразвукові;
  - акустичні;
  - радарні (СВЧ).

За видом середовища, яке аналізується розрізняють:

- для рідин;
- для сипучих матеріалів:
  - ємнісні;
  - радіоізотопні.

Найпростіший і найвідоміший вимірювальний прилад для визначення рівня є *вимірювальний щуп* (рис. 2.53). Відносно короткий по довжині металевий стрижень або прут, який зазвичай використовують для перевірки рівня рідин у двигунах або механічному обладнанні.

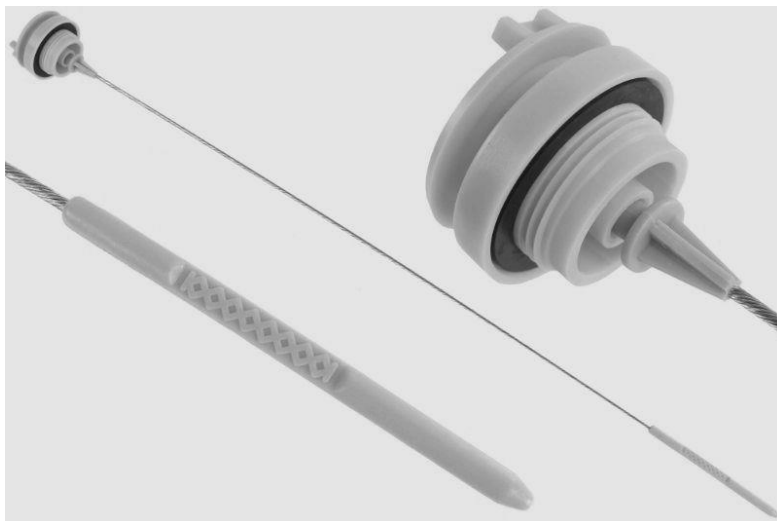


Рис. 2.53 – Вимірювальний щуп

Щуп вводиться на деяку задану глибину, потім його

виймають з обладнання та знімають показання рівня рідини. Точка, де закінчується змочена рідиною частина щупа, є показанням рівня рідини. На щупі зазвичай не проставлені числові величини, що відображають показ рівня рідини в резервуарі.

Зазвичай на стрижні щупа вигравірувано дві позначки: одна відповідає низькому рівню, інша позначка відповідає рівню необхідного заповненого рідиною об'єму ємності. Коли рідина змочує стрижень щупа на довжину, що закінчується десь між цими вигравіруваними відмітками, вважається, що рівень не виходить за межі показань нормального експлуатаційного режиму. Якщо рівень рідини знаходиться нижче відмітки низького рівня або вище відмітки, що відповідає заповненому об'єму ємності, необхідно відрегулювати рівень у межах між цими двома відмітками.

Ще один із найпоширених методів визначення рівня є вимір *гідростатичного* тиску стовпа рідини *манометричними* або *пневмометричними* пристроями. У цих методах, як правило, головною є похибка за рахунок зміни щільності рідини, що вимірюється, від температур. Для виключення або зменшення цієї похибки створюються складні вимірювальні системи, що одночасно вимірюють гідростатичний тиск рідини та її щільність і коригуючі потім показання рівнеміра відповідно до щільності. Природно, це ускладнення вимірювальної системи зменшує її надійність.

Всі системи виміру рівня рідин гідростатичним методом потребують ретельного аналізу вимірювальної системи, сполучних ліній, їхнього температурного режиму, особливостей роботи вимірювальних перетворювачів. Наприклад, для однієї й тієї ж системи виміру рівня в барабані котла застосування мембранних дифманометрів замість поплавкових істотно зменшує можливі похибки виміру рівня.

Рівнеміри, які застосовуються для виміру рівня рідини з метою підтримки його постійним у певних межах,

компонують пристроєм для сигналізації граничних відхилень рівня від заданого значення.

Для виміру рівня рідини застосовують поплавкові, буйкові, гідростатичні, ультразвукові й акустичні прилади, для виміру рівня рідини і твердих сипучих матеріалів – ємнісні і радіоізотопні.

Крім того, знаючи площу будь-якої ємності, за величиною рівня можна визначити кількість речовини в ній. Часто за умовами технологічного процесу немає необхідності у вимірі рівня по усій висоті апарату. У таких випадках застосовують узкомежні, але більш точні рівнеміри. Особливу групу складають рівнеміри, які використовуються тільки для сигналізації граничних значень рівня.

Як рівнеміри використовують серійні дифманометри – поплавкові, мембранні і сильфонні (див. розділ «Вимір тиску»). У ряді технологічних процесів можливе використання пневмометричних рівнемірів, у яких гідростатичний тиск стовпа рідини врівноважується тиском повітря (інертного газу). Як вимірювальний перетворювач, як правило, використовуються дифманометри, а при зміні у відкритих ринках можуть бути використані напірометри і манометри.

Рівнеміри з візуальним відліком. Найпростішими приладами для виміру тиску є рівнеміри з візуальним відліком. Такі рівнеміри базуються на візуальному вимірі висоти рівня рідини. За невисоких тисків середовища висота рівня вимірюється у скляній трубці (вказівному склі), яка сполучається з рідинним і газовим просторами контрольованого резервуара (рис. 2.54). За підвищених тисків застосовуються плоскі стекла, на поверхні яких із боку рідини нанесені вертикальні грановані канавки. З умов міцності не рекомендується застосовувати вказівні стекла довжиною більше 0,5 м, тому при великому діапазоні зміни рівня встановлюється декілька стекол у шаховому порядку таким чином, щоб їхні діапазони виміру перетиналися.

Основним джерелом додаткової похибки таких рівнемірів є різниця щільностей рідини в контрольованому резервуарі та у склі, що викликається розходженням температур (особливо якщо рідина в резервуарі знаходиться за високої температури, а вказівне скло знаходиться на значному віддаленні). Розходження щільностей призводить до розходження рівнів у резервуарі і вказівному склі (рівень у склі іноді називають «ваговим» рівнем).

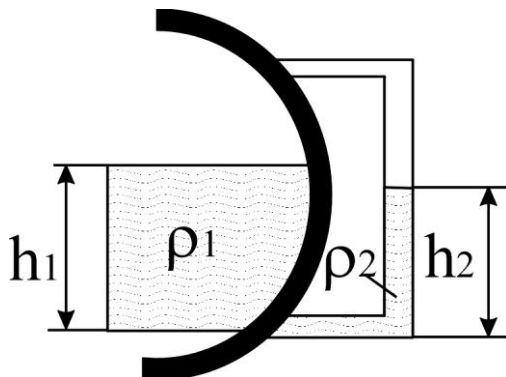


Рис. 2.54 – Схема рівнеміра з візуальним відліком

Похибка може досягати істотних значень, тому з метою її зменшення необхідна або теплова ізоляція рівнеміра, або продування його рідиною з резервуара перед відліком.

**Поплавкові рівнеміри.** У поплавкових рівнемірах є плаваючий на поверхні рідини поплавець, у результаті чого рівень, який вимірюється, перетворюється на переміщення поплавця. У таких приладах використовується легкий поплавець, виготовлений із корозійностійкого матеріалу.

Поплавкові рівнеміри є одними з найбільш простих і надійних. Проте вони практично не можуть застосовуватися за високих тисків. Вони дозволяють контролювати рівень рідин у широкому діапазоні від 50 до 2000 мм. До таких сигналізаторів граничних значень контрольованих рівнів

відносяться поплавкові прилади типів РРС (реле рівня сільфонне), СУ (сигналізатор рівня), ДРР (дистанційне реле рівня).

На рис. 2.55 показано загальний вид приладу ДРУ-1. Поплавець 3 (порожниста металева куля), сполучений штоком 2 із мікровимикачем 1, знаходиться в контрольованій рідині. При досягненні максимального (мінімального) рівня на кулю 3 діє гранична виштовхуюча сила, що змушує шток 2 підніматися і переключати мікровимикач, який сигналізує про аварійний рівень.

Основними несправностями у таких приладах є порушення герметичності кулі, корозія контактів перемикача внаслідок підвищеної вологості контрольованого середовища.



Рис. 2.55 – Датчик-реле рівня типу ДРУ-1:

1 – корпус датчика з мікровимикачем; 2 – шток; 3 – поплавець

**Буйкові рівнеміри.** У буйкових рівнемірах (рис. 2.56) застосовується нерухомий занурений у рідину буй 3.

Принцип дії буйкових рівнемірів базується на тому, що на занурений буй діє з боку рідини виштовхуюча сила  $F_A$ . За законом Архімеда ця сила дорівнює вазі рідини, витиснутої буйком.

$$F_A = \rho g V,$$

де,  $\rho$  — густина рідини або газу,  $\text{кг/м}^3$ ;

$g$  — прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;

$V$  — об'єм частини тіла, який занурений у рідину або газ,  $\text{м}^3$ .

Але, як очевидно з рис. 2.56, кількість витиснутої рідини залежить від глибини занурення буя, тобто від рівня в ємності  $H$ . Таким чином, у буйкових рівнемірах рівень  $H$ , який вимірюється, перетворюється на пропорційну йому виштовхуючу силу. Тому залежність виштовхуючої сили від рівня, який вимірюється, лінійна.

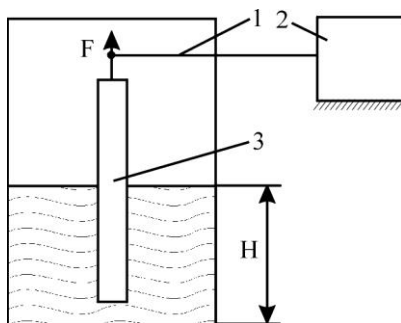


Рис. 2.56 – Буйковий рівнемір:

1 – важіль; 2 – проміжний перетворювач сили в уніфікований сигнал;  
3 – буй

У буйкових рівнемірах УБ-П і УБ-Э буй передає зусилля на важіль 1 проміжного перетворювача 2. Вихідний

сигнал першого рівнеміра – уніфікований пневматичний, іншого – уніфікований електричний сигнал (постійний струм).

Принцип дії буйкових рівнемірів дозволяє в широких межах змінювати їх діапазон виміру. Це досягається як заміною буя, так і зміною передатного підіймаючого механізму проміжного перетворювача. Рівнеміри УБ можуть вимірювати рівень у межах від 0-40 мм до 0-16 м.

Застосування буйкових, а так само і поплавкових рівнемірів ускладнено в агресивних рідинах і середовищах з осадами, що випадають. Для дистанційного виміру рівня рідини застосовуються буйкові рівнеміри з уніфікованим електричним або пневматичним сигналом типів УБ-Э й УБ-П. Вимірювальні схеми рівнемірів побудовані за принципом компенсації зусиль.

Прилад УБ-П має пневматичний вихідний сигнал, що дозволяє підключати до нього манометричний реєструючий прилад (для відліку показань рівня).

Самостійно як вимірювач рівня рівнемір УБ-П не застосовується, а використовується як датчик. На рис. 2.57 наведено принцип дії даного рівнеміра. Буй 10, занурений у рідину, через систему важелів урівноважений у визначеному положенні протидіючим вантажем Р1. При зміні рівня рідини змінюється сила, яка виштовхує поплавець. Внаслідок цього порушується рівновага вимірювальної системи "вантаж – противага" і на чутливому елементі зміна рівня перетворюється в пропорційне зусилля, що врівноважується зусиллям сильфона зворотного зв'язку 8. Цей тиск і є пневматичним вихідним сигналом рівнеміра, який змінюється в межах 0,02-0,1 МПа.



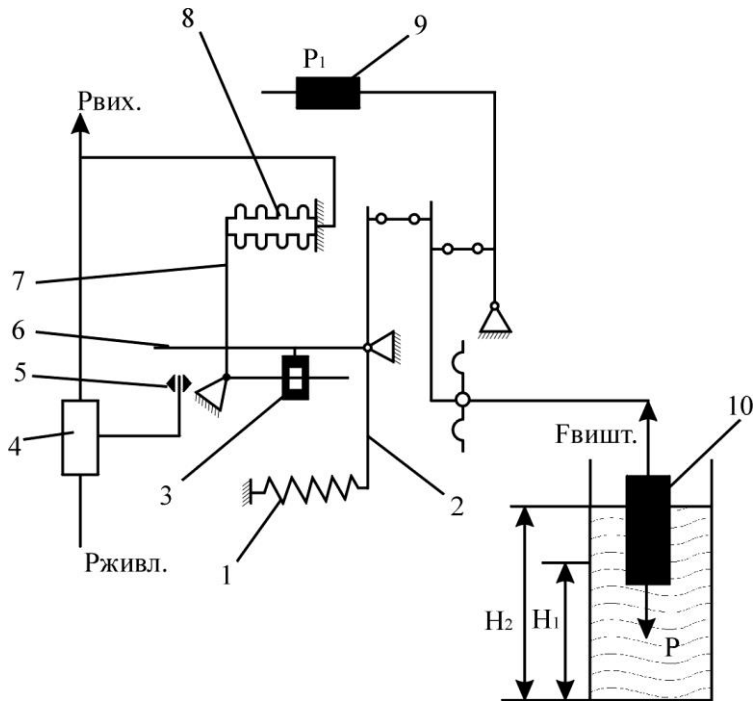


Рис. 2.57 – Схема роботи рівнеміра УБ-П:

1 – пружина коректора; 2 – Т-подібний важіль; 3 – рухлива опора; 4 – пневмореле; 5 – сопло; 6 – заслінка; 7 – Г-подібний важіль; 8 – сифлон зворотного зв'язку; 9 – вантаж-противага; 10 – датчик-буй

**Гідростатичні рівнеміри.** Гідростатичний метод виміру рівня базується на тому, що в рідині існує гідростатичний тиск, пропорційний глибині, тобто відстані від поверхні рідини.

$$p = \rho gh,$$

де,  $\rho$  – густина вмісту ємності,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;

$h$  – висота стовпа рідини, м.

Тому для виміру рівня гідростатичним методом можуть бути використані прилади для виміру тиску або перепаду тисків. Як такі прилади звичайно застосовують дифманометри.

При вмиканні дифманометра 1 за схемою, показаною на рис. 2.58, а, перепад тисків на ньому буде дорівнювати гідростатичному тиску рідини, що пропорційно рівню  $H$ , який вимірюється.

Якщо рідина в ємності знаходиться під надлишковим тиском, то дифманометр 1 включають за схемою, приведеною на рис. 2.58, б, причому його плюсову камеру з'єднують із простором над рідиною через порівнювальну посудину 2. Цю посудину заповнюють рідиною, стовп якої створює постійний гідростатичний тиск у плюсовій камері дифманометра.

Оскільки вимірюється перепад тисків, рівний різниці гідростатичних тисків рідини в камерах дифманометра, вимірюваний рівень буде пропорційний різниці між рівнем у розділювальній судині  $H_{\max}$  і рівнем, який вимірюється  $H$ . Оскільки рівень у розділювальній судині постійний і відомий, то його завжди можна врахувати в показаннях приладу.

При вимірі рівня агресивних рідин дифманометр захищається розділювальними посудинами або мембранними розділниками, що дозволяє заповнити його камери і трубки неагресивною рідиною.

При вимірі рівня суспензій і шламів осади можуть забивати імпульсні трубки дифманометрів, їх безупинно продувають стиснутим повітрям. У цьому випадку дифманометр 1 включають за схемою, приведеною на рис. 2.58, в. Імпульсні трубки увесь час заповнені повітрям для продукту. За невеликої витрати повітря його тиск у мінусовій камері стає рівним тиску над рідиною в ємності, а в плюсовій – тиску в рідині. Тому перепад тисків у

дифманометрі буде дорівнювати гідростатичному тиску рідини і, отже, буде пропорційний рівню, що вимірюється.

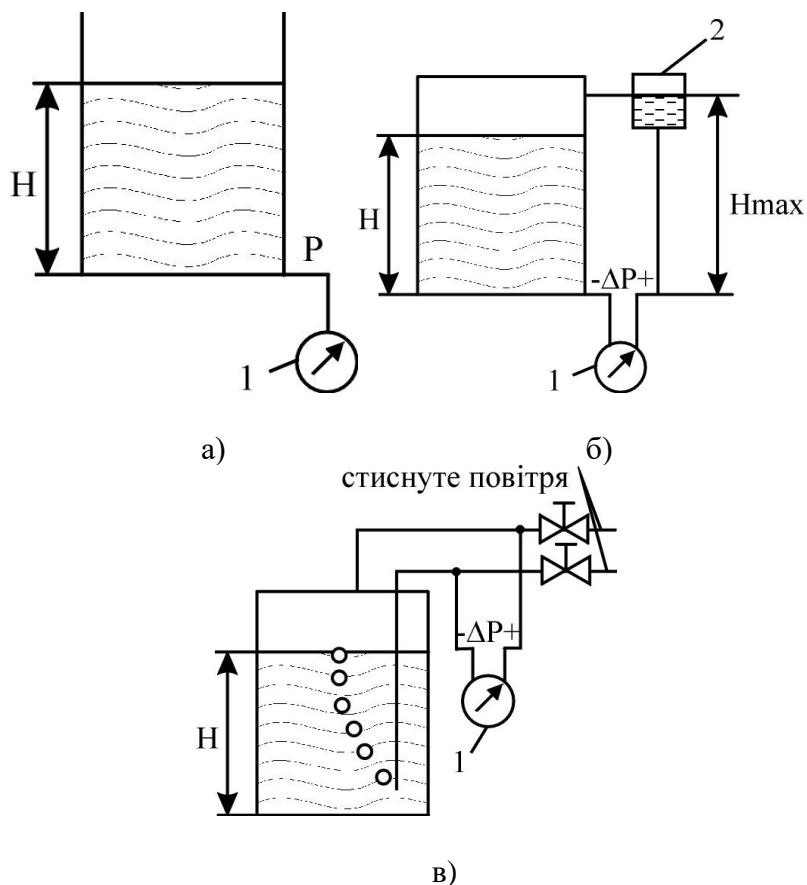


Рис. 2.58 – Вимір рівня дифманометрами:

а – у відкритій ємності; б – у ємності під тиском; в – для суспензій і шамів; 1 – дифманометр; 2 – зрівняльна судина

**Ємнісні рівнеміри.** Ємнісні рівнеміри використовують для виміру рівня зміни ємності вимірювального перетворювача, викликаного зміною рівня рідини. Рівнеміри такого типу можуть застосовуватися для виміру як

неелектропровідних, так і електропровідних рідин. Вони придатні для виміру рівня в широкому діапазоні тисків і температур агресивних і неагресивних середовищ. Їх показання залежать від діелектричної проникності середовища, яка може змінюватися з температурою. Застосування компенсаційних ємностей дозволяє істотно зменшити цей вплив, але не виключає його цілком. Електронна схема ємнісних рівнемірів достатньо складна, що обмежує їх широке поширення.

Найпростіший первинний перетворювач ємнісного приладу являє собою електрод 1 (металевий стрижень або провід), розташований у вертикальній металевій трубці 2 (рис. 2.59, а). Стрижень разом із трубою утворюють конденсатор. Ємність такого конденсатора залежить від рівня рідини, тому що при його зміні від нуля до максимуму діелектрична проникність буде змінюватися від діелектричної проникності повітря до діелектричної проникності рідини.

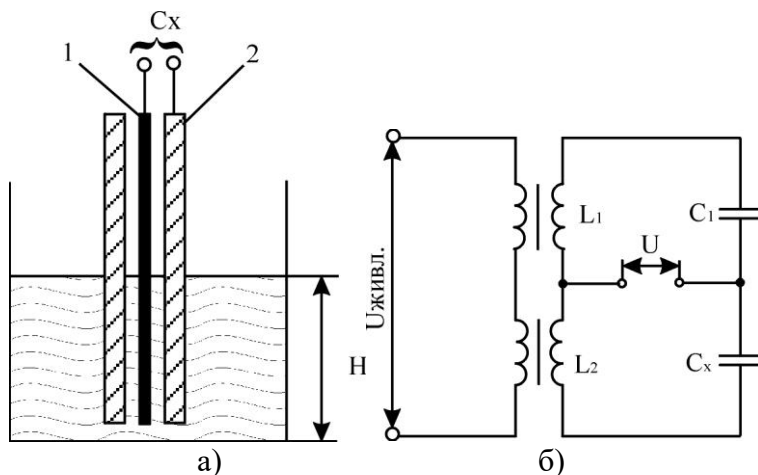


Рис. 2.59 – Ємнісний рівнемір:

а – будова датчика; б – електрична схема рівнеміра

Електрична схема ємнісного рівнеміра приведена на рис. 2.59, б. Вимір електричної ємності первинного перетворювача  $C_x$  виконується незрівноваженим мостом перемінного струму, плечами якого є індуктивності  $L_1$  і  $L_2$  і ємність первинного перетворювача  $C_x$ . При зміні рівня змінюється ємність  $C_x$ , що призводить до зміни вихідної напруги моста  $V$ .

Ємнісні рівнеміри можуть вимірювати рівень не тільки рідин, але і твердих сипучих матеріалів: цементу, вапна і т.п.

Для підвищення чутливості ємнісних сигналізаторів рівня електроди встановлюють у горизонтальному положенні. У цьому випадку похибка виміру не перевищує 3 мм.

Одним із прикладів складної системи, яка дозволяє контролювати не тільки рівень, але й інші параметри (кількість, щільність, температуру, товщину шару осаду), є система «Резервуар-2» (рис. 2.60).

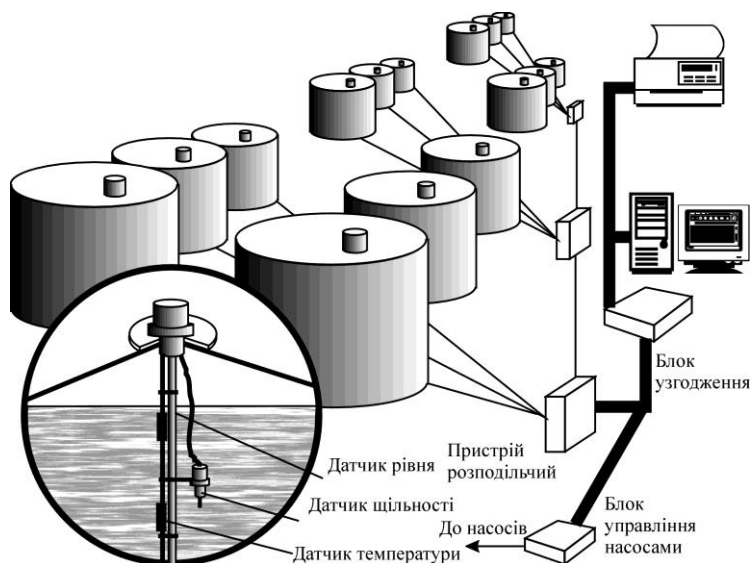


Рис. 2.60 – Схема системи контролю рівня «Резервуар-2»

Використання цієї системи дозволяє контролювати ситуацію в ємностях не тільки на місці (оператором), але і передавати її на необмежені відстані, використовуючи, наприклад, GSM-канал.

**Радіоізотопні рівнеміри.** Такі рівнеміри застосовують для виміру рівня рідин і сипучих матеріалів у закритих ємностях. Їх дія базується на поглинанні  $\gamma$ -променів при проходженні через прошарок речовини і послабленні випромінювання на приймачі (рис. 2.61).

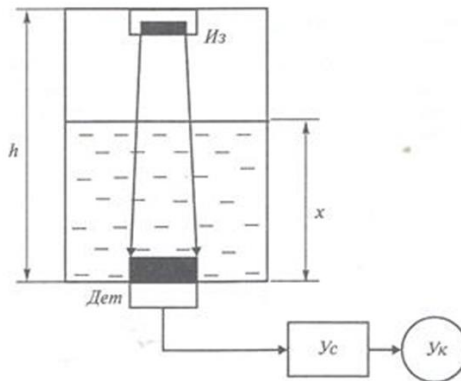


Рис. 2.61 – Схема будови радіоізотопного рівнеміра

Радіоізотопні рівнеміри встановлюються поза апаратом або установкою. Вони не мають безпосереднього контакту з середовищем, параметри якого вимірюються, і це є їх принциповою перевагою в порівнянні з іншими методами.

У радіоізотопному рівнемірі (рис. 2.62) джерело 2 і приймач 10 випромінювання підвішені на сталевих стрічках 3, на яких вони можуть переміщатися у трубах 11 по усій висоті бака 1. Стрічки намотані на барабан 5, що приводиться у рух реверсивним електродвигуном 7.

Якщо вимірювальна система (джерело і приймач  $\gamma$ -променів) розташована вище рівня середовища, поглинання

випромінювання слабке і від приймача 10 по кабелю 9 на блок керування 8 буде приходити сильний сигнал. За цим сигналом електродвигун 7 одержить команду на спуск вимірювальної системи. При зниженні її нижче рівня середовища поглинання  $\gamma$ -променів різко збільшиться, сигнал на виході приймача зменшиться й електродвигун почне піднімати вимірювальну систему.

Таким чином, положення вимірювальної системи буде відслідковувати рівень у ємності (точніше вона буде знаходитися в безупинному коливанні коло рівня, що вимірюється). Це положення у вигляді кута повороту ролика 4 перетворюється вимірювальним пристроєм 6 на уніфікований сигнал – напругу постійного струму  $U$ .

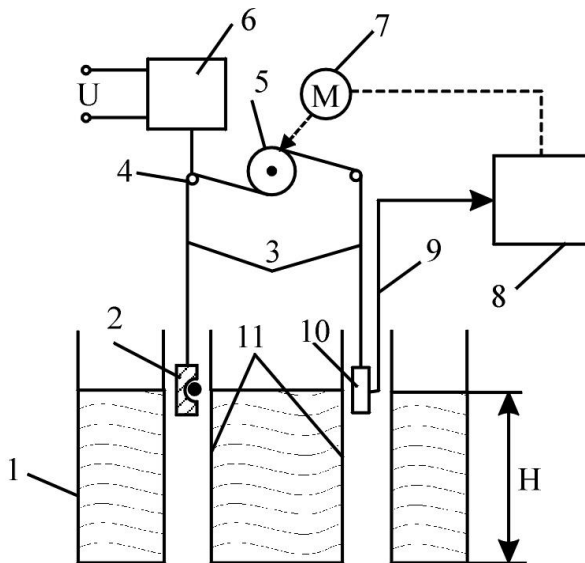


Рис. 2.62 – Радіоізотопний рівнемір:

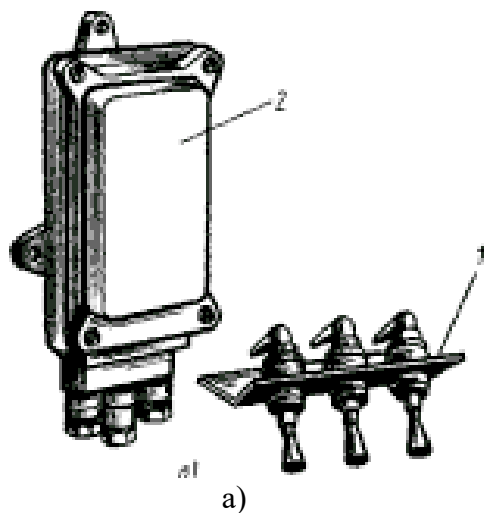
1 – бак; 2 – джерело випромінювання; 3 – сталеві стрічки; 4 – ролик; 5 – барабан; 6 – вимірювальний пристрій; 7 – реверсивний електродвигун; 8 – блок керування; 9 – кабель; 10 – приймач випромінювання; 11 – труби

Радіоізотопні рівнеміри типу УР-8 можуть вимірювати рівень у ємностях висотою до 10 м.

Аналогічний принцип використаний у радіоізотопному сигналізаторі рівня ГР-8, джерело і приймач випромінювання якого закріплюють зовні ємності на необхідній висоті. При досягненні середовищем цього рівня включається сигнальний пристрій.

Електричні реле рівня типу РУ-ЭЗ (рис 2.63, а) дозволяють контролювати одночасно три рівні середовища – нижній, середній і верхній. На платі 1 монтуються всі три датчики рівня; відстань між рівнями вибирається залежно від місцевих умов. Блок 2 являє собою електричну схему реле.

Електрична схема приладу (рис 2.63, б) включає трансформатор Тр1, випрямляч Д1-Д4, реле сигналізації Р1 і затискачі для підключення датчиків. Датчики – сталеві стрижні з нержавіючої сталі Х18Н9Т – підключаються на затискачі 8, 9, 10 (відповідно нижній, середній і верхній).





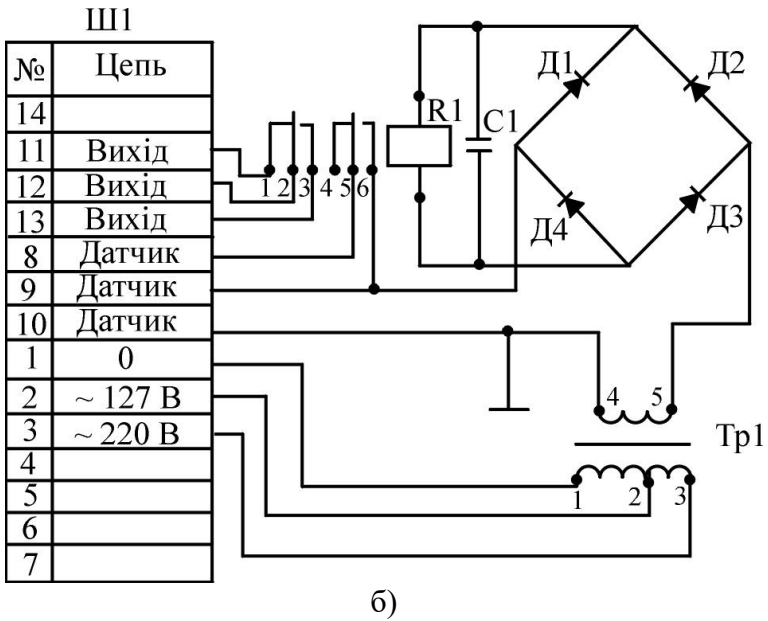


Рис. 2.63 – Реле рівня РУ-ЭЗ:

а) загальний вигляд: 1 – плата, 2 – блок; б) електронна схема

**Ультразвукові й акустичні рівнеміри.** Принцип дії рівнемірів цього типу базується на вимірі часу проходження імпульсу ультразвука від випромінювача до поверхні рідини та назад. При прийомі відбитого імпульсу випромінювач стає датчиком. Якщо випромінювач 1 (рис. 2.64) розташований над рідиною, рівнемір називається акустичним; якщо усередині рідини – ультразвуковим. У першому випадку час, який вимірюється, буде тим більше, чим нижче рівень рідини  $H$ , у другому – навпаки.

Електронний блок 2 призначений для формування ультразвукових імпульсів, посилення відбитих імпульсів, виміру часу проходження імпульсом подвійного шляху (у повітрі або рідині) і перетворення цього часу в уніфікований електричний сигнал. Наприклад, акустичний рівнемір ЭХО-1 використовується для виміру рівня неоднорідних рідин (із

перемінною за висотою щільністю), які кристалізуються і випадвають в осад, у баках висотою до 3 м і має вихідний сигнал у виді постійного струму.

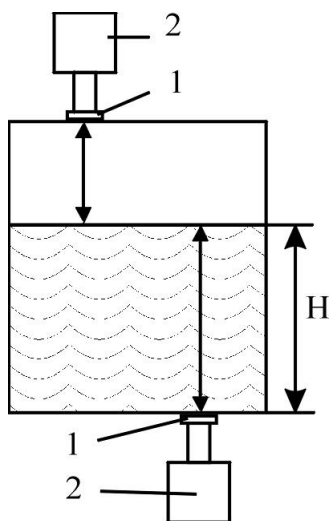


Рис. 2.64 – Ультразвуковий і акустичний рівнеміри:

1 – випромінювач; 2 – електронний блок

За принципом дії акустичні рівнеміри можна поділити на локаційні, поглинання і резонансні.

У локаційних рівнемірах використовується ефект відбивання ультразвукових коливань від межі розподілу рідина – газ. Положення рівня визначається за часом проходження ультразвукових коливань від джерела до приймача після відбиття їх від поверхні розподілу. У рівнемірах поглинання положення рівня визначається за ослабленням інтенсивності ультразвуку при проходженні через прошарки рідини і газу. У резонансних рівнемірах вимір рівня виконується за допомогою виміру частоти власних коливань стовпа газу над рівнем рідини, яка залежить від рівня рідини.

Найбільшого поширення одержали локаційні рівнеміри. Локація рівня може виконуватися або через газове середовище над рідиною (такі рівнеміри іноді називають акустичними), або знизу через прошарок рідини (такі рівнеміри іноді називають ультразвуковими). Хибою першого типу рівнемірів є похибка від залежності швидкості ультразвуку від тиску і температури газу і сильне поглинання ультразвуку газом, що потребує більшої потужності джерела, ніж при локації через рідину.

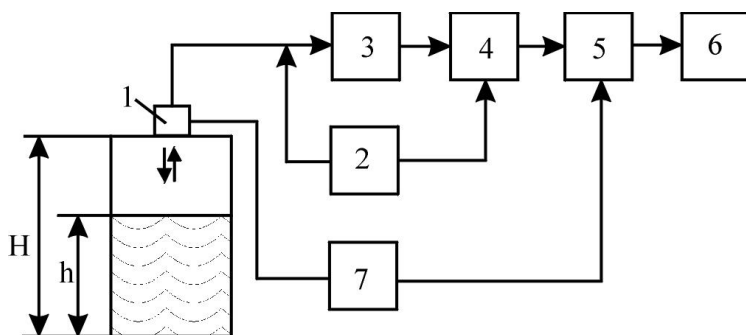


Рис. 2.65 – Схема акустичного рівнеміра ЭХО-1

Проте на показання таких рівнемірів не впливає зміна характеристик рідини, тому такі рівнеміри можуть бути використані для виміру рівня неоднорідних рідин, які містять бульки газу або кристалізуються. Такі рівнеміри використовуються для рідин, які мають температуру не вище 80 °С і тиск не більше 4 МПа.

Рівнеміри з локацією через рідину можуть бути використані для середовищ під високим тиском, для них потрібна невеличка потужність джерела, проте вони чутливі до “домішок” у рідину, наприклад до бульбашок газу при вскипанні. Тому такі рівнеміри застосовуються для однорідних рідин. Крім того, вони також чутливі до зміни температури і тиску середовища через залежність від них

швидкості поширення ультразвуку в рідині. На рис. 2.65 наведена спрощена схема акустичного рівнеміра з локацією рівня з боку газу типу ЭХО-1. Джерелом і одночасно приймачем відбитих ультразвукових коливань є п'єзоелемент, вмонтований в акустичний перетворювач 1. Локація здійснюється ультразвуковими імпульсами, які збуджуються п'єзоелементом, шляхом подачі на нього електричних імпульсів від генератора 2. Одночасно генератор включає схему виміру часу 4. Відбитий ультразвуковий імпульс повертається на п'єзоелемент через час  $t$ , який відповідає контрольованому рівню відповідно до виразу:

$$t = 2(H - h)/c,$$

де  $c$  – швидкість ультразвуку в газі.

П'єзоелемент перетворює відбитий ультразвуковий імпульс на електричний сигнал, який посилюється підсилювачем 3 і подається на схему виміру часу 4. Перетворювач 5 перетворює значення часу на уніфікований вихідний сигнал 0-5 м, який вимірюється повторним приладом 6.

Для зменшення впливу зміни температури газу є блок температурної компенсації 7, що включає в себе термометр опору, розташований усередині акустичного перетворювача. Рівнемір ЭХО-1 може мати діапазони виміру 0-1, 0-2, 0-3 м; клас точності рівнеміра 2,5.

Принципова схема рівнеміра з локацією через рідину аналогічна поданій на рис. 2.65. Різниця може полягати в іншому засобі температурної компенсації. Основна похибка рівнемірів із локацією через рідину не перевищує 2,5% діапазону виміру рівня.

Прилади даної групи застосовуються за особливо важких умов, наприклад: токсичні або агресивні середовища, високий тиск, висока температура.

## Термокондуктометричні рівнеміри.

Термокондуктометричними називають рівнеміри, елементом електричного ланцюга яких є резистор, який нагрівається струмом, із великим температурним коефіцієнтом електроопору, електричний опір якого залежить від рівня рідини. Принцип дії таких рівнемірів базується на розходженні умов теплообміну в рідинах і газах.

Чутливий елемент таких рівнемірів являє собою протяжний терморезистор, електричний опір якого визначається його температурою. Звичайно вони виготовляються з платини або вольфраму, причому чутливість перетворювача збільшується із зростанням температурного коефіцієнта електроопору матеріалу. Термокондуктометричний перетворювач поміщається в резервуар таким чином, що частина його знаходиться в рідині, інша частина – у газовому просторі (рис. 2.66). При зміні рівня змінюється довжина цих ділянок.

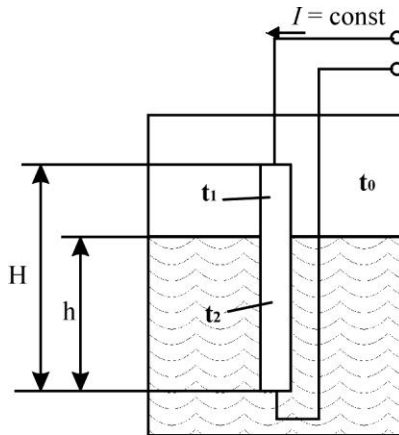


Рис. 2.66 – Схема термокондуктометричного перетворювача рівня

Принцип дії термокондуктометричного перетворювача полягає у використанні розходження тепловіддачі від нагрітого терморезистора до рідини і газу, унаслідок чого ділянки його, що знаходяться в рідині і газі, мають різну

температуру і, отже, різний опір. Таким чином, сумарний їхній опір буде визначатися рівнем.

**Пневматичні рівнеміри.** Пневматичні рівнеміри знаходять широке застосування для виміру рівня агресивних рідин.

У цьому методі висоту рівня рідини вимірюють так званим способом барботування газу. На рис 2.67 показана схема подібного пристрою для відкритих резервуарів. У рідину, рівень якої слід виміряти, занурюють трубку, у якій через невеличкий дросель безупинно нагнітається стиснуте повітря або захисний газ, наприклад азот. Пневматичний тиск, що встановлюється в заглибленій трубці за дроселем, відповідає гідростатичному тиску над кінцем трубки і є тою самою мірою рівня заповнення резервуара. Діаметр заглибної трубки вибирають рівним 8-15 мм, керуючись насамперед в'язкістю рідини, яка не повинна перевищувати 60 °Е. Матеріал заглибної трубки повинен бути обраний відповідно до хімічних і фізичних властивостей рідини, рівень якої вимірюється.

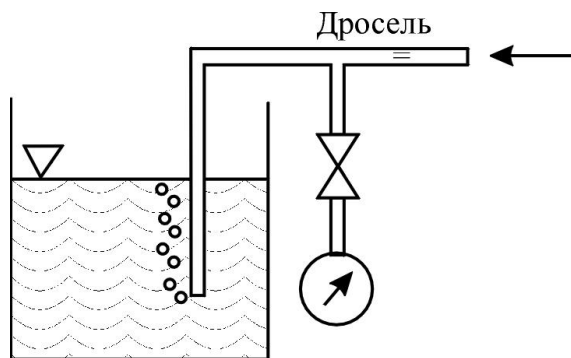


Рис. 2.67 – Пневматичний рівнемір для виміру рівня рідини у відкритих резервуарах

Істотною перевагою пневматичних рівнемірів є практична незалежність їхніх показань від температурного

режиму сполучних ліній.

**Дифманометричні рівнеміри.** Схема підключення дифманометра до відкритого резервуара, який перебуває під атмосферним тиском, зображена на рис. 2.68.

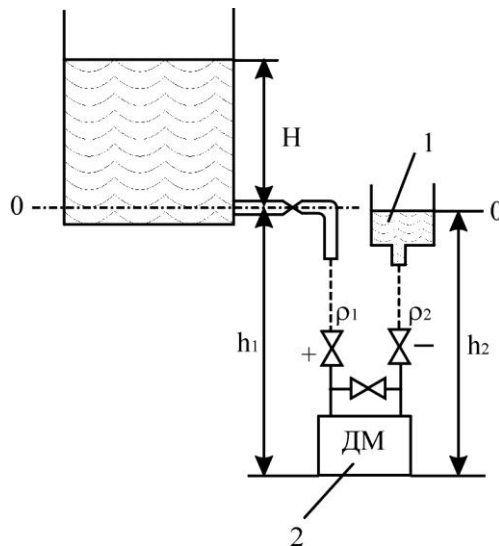


Рис. 2.68 – Схема підключення дифманометра при вимірі рівня у відкритому резервуарі

Обидві імпульсні трубки дифманометра заповнюються контрольованою рідиною (якщо вона не агресивна). Дифманометр вимірює різницю тисків  $p_1$  і  $p_2$ .

Інші методи виміру рівня – термічні, оптичні й інші мають поки що дуже обмежене застосування.

## 2.4 Принципи вимірювання витрат, прилади для виміру витрат

### 2.4.1 Загальні відомості про витрати

Витрата – це об'єм рідини, що проходить через поперечний переріз за одиницю часу. Вимірюється в витратних одиницях ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) за допомогою спеціальних приладів – витратомірів.

Вимір витрат базується на спрощеній формі рівняння

безперервності для рідин, що нестискаються:

$$Q = A \cdot v,$$

де  $Q$  – витрати ( $\text{м}^3/\text{с}$ );

$A$  – площа поперечного перерізу ( $\text{м}^2$ );

$v$  – середня швидкість руху рідини ( $\text{м}/\text{с}$ ).

Оскільки кількість рідини, що проходить через контрольний переріз, може вимірюватися в одиницях об'єму, маси, ваги, розрізняють:

- об'ємна витрата  $Q$ , л/с,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;
- масова витрата  $m$ , кг/с;
- вагова витрата  $G$ , Н/с.

Відповідно зв'язок між ваговою, масовою та об'ємною витратами має наступний вигляд:

$$G = g \cdot m = \rho \cdot g \cdot Q,$$

де  $\rho$  - густина рідини;

$g$  - прискорення вільного падіння.

Найбільш розповсюдженими на практиці є об'ємна та масова витрати.

На теперішній час існують такі основні види витратомірів за принципом дії:

- змінного перепаду тиску з звукуючим пристроєм (витратомір змінного перепаду);
- постійного перепаду тиску (витратоміри обтікання);
- тахометричні;
- електромагнітні;
- ультразвукові.

## **2.4.2 Прилади для вимірювання витрат**

### **Витратоміри змінного перепаду тиску.**

Витратоміри змінного перепаду тиску – це один з найбільш поширених типів витратомірів, що використовуються для вимірювання витрати рідини, газу або



пари. Вони відносяться до типу приладів, в яких реалізовані непрямі виміри витрат за допомогою вимірювання перепаду тиску, який утворюється допомогою перешкоди, встановленої у потоці.

Такі витратоміри майже завжди складаються з двох елементів: первинного пристрою та вторинного перетворювача. Первинний пристрій розміщується у трубопроводі для того, щоб перекрити частину прохідного перерізу потоку та створити перепад тиску. Другий перетворювач вимірює цей перепад тиску та забезпечує можливість відображення або інформації про витрату. Використовуючи добре відомі коефіцієнти перерахунку, що залежать від типу пристрою, що звужує і діаметра труби, може бути переведений у вимірювання об'єму витрати.

В залежності від конфігурації первинного пристрою існують наступні конструкції витратомірів змінного перепаду тиску (рис. 2.69):

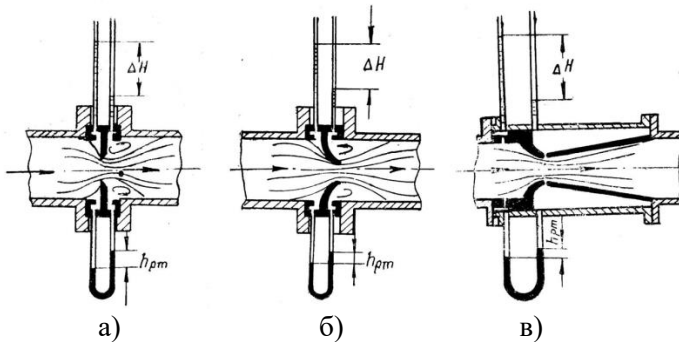


Рис. 2.69 – Витратоміри змінного перепаду тиску: а – з діафрагмою; б – з соплом; в – з трубою Вентурі.

Експлуатація таких приладів дасть адекватні результати лише у разі дотримання наступних умов:

- характер руху потоку до і після звужуючого пристрою повинен бути турбулентним та стаціонарним;
- потік повинен повністю заповнювати трубопровід;
- фазовий стан потоку не змінюється;

- на поверхні трубопроводу та звужуючого пристрою не накопичуються осадки, що змінюють їх геометрію.

У порівнянні з іншими методами метод змінного перепаду тиску має низку очевидних переваг:

- порівняно висока точність вимірювання;
- зручність і універсальність методу;
- можливість, вимірювання будь-яких витрат (за певних обмежень) рідини, пари та газу, які перебувають при різних температурах і тисках;
- легкість серійного виготовлення приладів.

Але разом з перевагами такий підхід до визначення витрат має й певні недоліки:

- незначні втрати енергії потоку;
- відносна складність промислового застосування при малих витратах, в пульсуючих потоках і потоках речовин, що містять сторонні домішки.

Ці недоліки або суттєво не впливають на результат, або «працюють» лише в окремих випадках. І саме завдяки перевагам такі прилади отримали широке розповсюдження.

**Витратоміри постійного перепаду тиску (ротаметри).**

Принцип дії ротаметрів засновано на зрівноваженні при будь-яких витратах сили тяжіння поплавка, силами, що діють на нього з боку потоку рідини. При цьому вертикальне положення поплавка буде пов'язано з витратою (рис. 2.70).

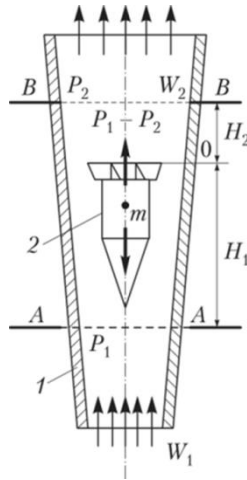


Рис. 2.70 – Схема витратоміра постійного перепаду тиску (ротаметра)

Чутливим елементом витратоміра постійного перепаду тиску є рухоме тіло, виконане у формі поплавця або ротора. Чутливий елемент розміщується у вертикальному каналі змінного перерізу, через який пропускається вимірюване середовище. Під впливом гідродинамічних сил чутливий елемент переміщається вгору або вниз, в залежності від того, в який бік змінюється витрата. Причому прохідний переріз збільшується/зменшується у прямій залежності від зростання/зменшення витрати, а перепад середнього статичного тиску при цьому зберігається постійним. По переміщенню чутливого елемента можна визначити витрату середовища.

Ротаметри мають великий діапазон вимірювання

$$Q_{\max} / Q_{\min} = 10.$$

Потік рідини або газу, що проходить через ротаметр знизу, піднімає поплавець вгору до тих пір, поки кільцева щілина, що розширюється, між тілом поплавця і стінками

конусної трубки не досягне такої величини, при якій діючі на поплавець сили врівноважують.

### **Електромагнітні витратоміри.**

Принцип дії електромагнітних витратомірів засновано на законі електромагнітної індукції (Фарадея), в відповідності з яким в електропровідній рідині, яка перетинає магнітне поле, індуються ЕРС (Е), пропорційна швидкості руху рідини (рис. 2.71)

$$E = B \cdot V \cdot l,$$

де  $B$  – магнітна індукція;

$l$  – довжина провідника;

$V$  – швидкість руху провідника.

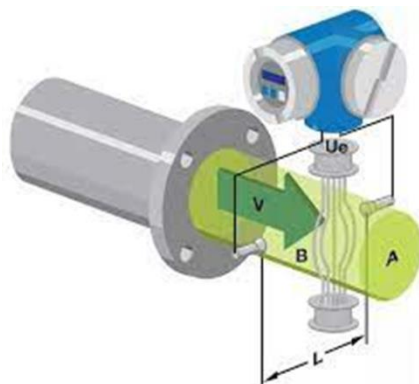


Рис. 2.71 – Схема електромагнітного витратоміра

У приладах такого типу в якості провідника використовують електропровідну рідину (електроліт), витрату якої необхідно визначити. Ця рідина, протікаючи між полюсами магніту, створює ЕРС, вимірявши яку можна визначити швидкість потоку та шукану витрату.

В процесі вимірювання витрати рідини можна записати:

$$E=BdV_{\text{cp}},$$

де  $d$  – внутрішній діаметр трубопроводу;

$V_{\text{cp}}$  – середня швидкість протікання рідини через поперечний переріз труби в зоні індукційної ЕРС.

Провідність рідини повинна бути не нижче від  $10^{-5}$  до  $10^{-6} \cdot \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ , що відповідає провідності водопровідної води. Трубопровід з рідиною, що переміщається в ньому, поміщений в магнітне поле. Трубопровід виготовляється з ізоляційного матеріалу, щоб захистити ЕРС, що індуються в рідині, від закорочування через стінки труби. Для цього використовується фторопласт, ебоніт, гума та інші матеріали залежно від властивостей рідини, витрата якої визначається.

У стінці трубопроводу діаметрально протилежно один одному у поперечному перерізі вводяться електроди. До електродів підключається будь-який високочутливий вимірювальний прилад, шкала якого градується в одиницях витрат. Вимірювальний прилад вибирається з великим входним опором.

### **Ультразвукові витратоміри.**

Принцип дії заснований на вимірюванні різниці в часі проходження сигналу. Два ультразвукових сенсора функціонують поперемінно як випромінювач і приймач. Сигнал, що по черзі генерується обома сенсорами, прискорюється, коли спрямований за потоком, і сповільнюється, коли спрямований проти потоку. І за різницею в часі проходження ультразвуку в обох напрямках визначається витрата (рис. 2.72).

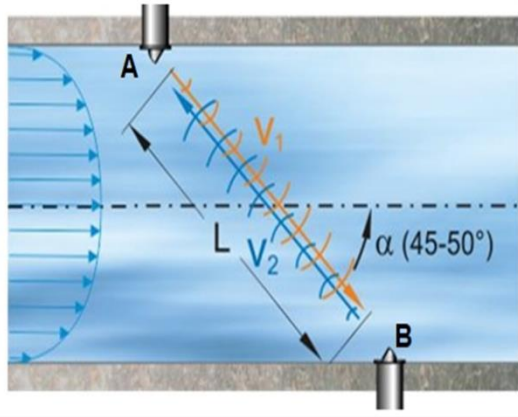


Рис. 2.71 – Схема ультразвукового витратоміра

Ультразвукові витратоміри працюють у діапазоні частот від 20кГц до 1000 МГц.

## 2.5 Принципи та прилади для аналізу складу речовин

### 2.5.1 Загальні відомості про аналіз складу речовин

Засоби виміру, які застосовуються в різних галузях промисловості, наукових дослідженнях для аналізу складу газів, називаються газоаналізаторами. На основі безупинного автоматичного контролю складу газів здійснюється автоматизоване управління хіміко-технологічними процесами, пов'язаними з одержанням і використанням газів у металургії, коксохімічному виробництві, нафтопереробці, газовій промисловості. При спалюванні органічних палив на теплових електричних станціях автоматичні газоаналізатори використовуються для контролю за процесом горіння і визначення необхідного надлишку повітря. Не менш важливі функції покладені на прилади газового аналізу, які працюють у системах, що забезпечують безпечне функціонування технологічних об'єктів. До числа таких приладів належать газоаналізатори, що вимірюють концентрацію водню в системі охолодження турбогенераторів, у газах задувок апаратів з радіоактивним теплоносієм на АЕС тощо.

В останні роки у зв'язку з посиленням уваги до охорони навколишнього середовища різко розширилося виробництво і використання газоаналізаторів, призначених для контролю змісту шкідливих домішок у газових викидах промислових підприємств і електричних станцій, у повітрі виробничих приміщенні й атмосфері. Так, відповідно вимог державних стандартів для контролю за якістю повітря населених пунктів здійснюється періодичний вимір концентрації таких основних забруднюючих речовин, як сірчистий газ, окис вуглецю, двоокис азоту, пил.

Для виміру концентрації одного з компонентів газової суміші використовується та чи інша фізико-хімічна властивість цього газу, що відрізняється від властивостей інших газів. Ніж різкіше ця відмінність і чим вона специфічніше, тим вище чутливість методу і простіше здійснюється підготовка проби газу. Розмаїтість використовуваних у газоаналізаторах методів виміру обумовлена просторістю аналізованих компонентів газових сумішей і широким діапазоном зміни їх концентрацій.

Переважна більшість промислових автоматичних газоаналізаторів призначено для виміру концентрації одного компонента в суміші газів. У цьому випадку суміш газів розглядається як бінарна, у якій обумовлений компонент впливає на вимірювану фізико-хімічну властивість суміші, а інші компоненти, незалежно від їх складу і концентрації, не впливають і вважаються другим компонентом суміші.

Існують газоаналізатори, призначені для аналізу різних складових багатокомпонентних газових сумішей, у більшості випадків ці прилади використовуються в лабораторній практиці. Газоаналізатори градууються у відсотках по обсязі,  $\text{г/м}^3$ ,  $\text{мг/л}$ . Перша одиниця виміру є більш зручною, оскільки процентний уміст компонентів газової суміші зберігається при зміні температури і тиску. Відтворення одиниць виміру концентрації компонентів газових сумішей відбувається за допомогою атестованих еталонних газових сумішей.

Найбільш поширена класифікація газоаналізаторів ґрунтується на фізико-хімічних властивостях, покладених в основу виміру концентрації обумовлених компонентів суміші, і включає наступні основні групи приладів: механічні, теплові, магнітні, оптичні, хроматографічні, електричні і мас-спектрометричні. Шість перших найбільш розповсюджених груп приладів будуть розглянуті нижче.

Газоаналізатори на відміну від засобів виміру температури, тиску являють собою установку, яка містить крім вимірювального перетворювача (приймача) ряд пристроїв, що забезпечують добір, підготовку і транспортування проби газу через прилад. Для газоаналізаторів характерна наявність двох груп приладів. У першу входять вимірювальні прилади, у другу – індикатори, сигналізатори, детектори витоку газів. Прилади другої групи часто є переносними, більш простими за конструкцією і мають найменше число допоміжних пристроїв.

### **2.5.2 Прилади для аналізу складу речовин**

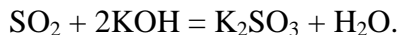
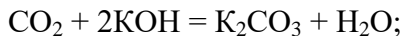
**Механічні газоаналізатори.** У механічних газоаналізаторах вимір змісту обумовлених компонентів здійснюється на підставі зміни механічних параметрів стану або відповідних властивостей газової суміші. До числа вимірюваних величин у цих приладах належать зміни об'єму або тиску проби газової суміші, її в'язкості, щільності, швидкості поширення звуку.

Найбільш розповсюдженими приладами цього типу є об'ємні (волюмометричні) газоаналізатори. У них про вміст обумовленого компонента судять по зміні об'єму газової суміші в результаті виборчого поглинання, каталітичного окислювання чи спалювання обумовленого компонента. Оскільки для виборчого видалення обумовлених компонентів використовуються хімічні реакції, прилади часто називають об'ємними хімічними газоаналізаторами, що належать до приладів періодичної дії. З їх допомогою можна зробити вимір концентрації в суміші газів наступних



компонентів: двоокису вуглецю із сірководнем і двоокисом сірки (сума кислих пар і газів), кисню, окису вуглецю, водню, неграничних і граничних вуглеводнів, азоту.

При визначенні вмісту  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  використовується розчин лугу, при цьому протікають наступні реакції:



Для поглинання водню й окису вуглецю використовується лужний розчин напівхлористої міді. Кисень поглинається лужним розчином пірогаллола, а неграничні вуглеводні – бромною водою. Водень і граничні вуглеводні можуть видалятися із суміші спалюванням, а окис вуглецю – каталітичним окислюванням. Похибка розглянутого методу значною мірою визначається похибкою виміру зміни об'єму, у зв'язку з чим початковий і залишковий обсяги проби газу повинні мати однакові температуру і тиск. Переважна більшість газоаналізаторів, заснованих на цьому принципі виміру, належать до лабораторних приладів, у яких добір проби й інших операцій виконуються вручну.

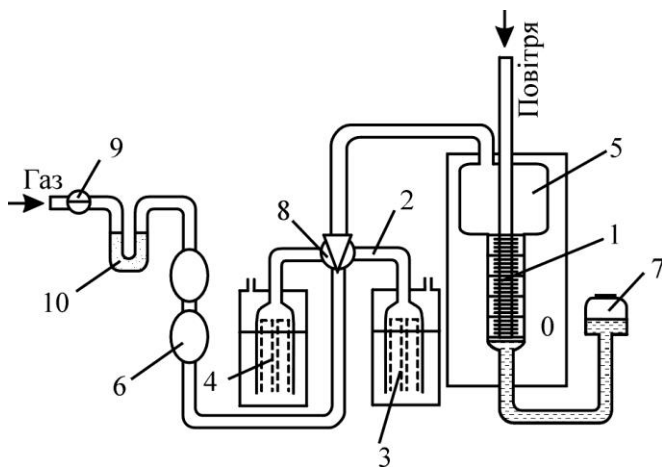


Рис. 2.72 – Схема газоаналізатора ГХП-2

Принцип дії об'ємних хімічних газоаналізаторів розглянемо на прикладі газоаналізатора ГХП-2 (рис. 2.72), призначеного для виміру двох компонентів газової суміші:  $\text{CO}_2$  і  $\text{O}_2$ . Прилад містить у собі вимірювальну бюретку 1, з'єднану з гребінкою 2, до якої підключені дві поглинальних судини 3, 4. Судина 3 заповнена розчином їдкого калію і призначена для поглинання  $\text{CO}_2$ , судина 4 містить лужний розчин пірогаллола для поглинання  $\text{O}_2$ . Оскільки останній розчин поглинає  $\text{CO}_2$ , при проведенні аналізу спочатку визначають зміст  $\text{CO}_2$ , а потім кисню. У середині мірної бюретки знаходиться сполучена з атмосферою трубка 5, що використовується для контролю тиску проби газу після поглинання обумовленого компонента. Мірна бюретка термостатована. Добір проби газу і прокачування його через прилад здійснюються гумовою грушею 6. При прокачуванні газу кран 8 знаходиться в положенні, показаному на рисунку, напірна судина 7 із замикаючою рідиною опущена і газ через трубку 5 виштовхується в атмосферу. При підйомі напірної судини 7 замикаюча рідина при досягненні кінця трубки 5 відтінає від атмосфери пробу газу обсягом  $50 \text{ см}^3$ . У двох інших положеннях крана 8 проба газу в мірній бюретці 1 сполучається із судинами 3 і 4. Фільтр 10 служить для очищення газу. Як замикаюча використовується рідина, що не поглинає компоненти аналізованої газової суміші; часто застосовуються насичені розчини повареної солі або хлористого кальцію.

Для проведення аналізу здійснюється наступна послідовність операцій. При відкритому крані 9, зазначеному положенні триходового крана S і опущеній напірній судині 7 грушею 6 кілька разів забирається аналізований газ і прокачується через мірну бюретку в атмосферу. Потім при закритому крані 9 піднімається напірна судина 7 і замикаюча рідина відтінає від атмосфери

пробу газу. Кран 8 переводиться в праве положення, при якому аналізована проба витісняється при підйомі напірної судини 7 рідиною з мірної бюретки в судину 3. Для поліпшення контакту газу з поглинаючими рідинами судини заповнені скляними трубками. Для повного поглинання  $\text{CO}_2$  здійснюється чотири-п'ять прокачувань шляхом підняття й опускання напірної судини 7.

Для виміру залишкового обсягу газу із судини 3 повертають пробу в мірну бюретку, плавно опускаючи напірну судину 7. Обсяг газу фіксується в момент збігу рівня в мірній бюретці і внутрішній трубці 5. При збігу цих рівнів тиск проби газу дорівнює атмосферному. Нижня звужена частина мірної бюретки градується безпосередньо у відсотках змісту обумовленого компонента. Після фіксації змісту  $\text{CO}_2$  у пробі кран 8 переводиться в ліве положення і замикаючою рідиною частина проби газу, що залишилася, витісняється в судину 4. Для визначення змісту  $\text{O}_2$  далі послідовно проводяться ті ж операції, що при вимірі змісту  $\text{CO}_2$ . Про процентний уміст  $\text{O}_2$  судять по зміні об'єму проби газу, що залишився. У процесі виміру не можна допускати зниження рівня замикаючої рідини нижче кінця трубки 5, тому що при цьому відбувається або підсмоктування повітря, або виштовхування частини проби в атмосферу. Якщо це спостерігалось під час аналізу, то дослід необхідно повторити. Тривалість виміру концентрації двох компонентів складає 5–8 хв.

Ціна розподілу мірної бюретки ГХП-2 складає 0,1 мл. При граничній погрішності виміру об'єму  $\pm 0,1$  мл погрішність в оцінці залишкового обсягу проби складає  $\pm 0,2\%$ . Невисока точність оцінки зміни об'єму не дозволяє використовувати ці газоаналізатори для виміру малих концентрацій.

Більш широкі можливості має газоаналізатор ВТИ, призначений для загального аналізу природних і промислових газів. За його допомогою здійснюється вимір наступних компонентів газової суміші: суми кислих газів

(CO<sub>2</sub> + SO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>S); O<sub>2</sub>; CO; H<sub>2</sub>; N<sub>2</sub>, суми граничних вуглеводнів (CH<sub>4</sub> та ін.); суми неграничних вуглеводнів (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>). Конструкція газоаналізатора ВТИ відрізняється від ГХП-2 пристроєм мірної бюретки і поглинальних судин, їх числом, наявністю печі для спалювання CO, H<sub>2</sub> і CH<sub>4</sub>.

До переваг об'ємного методу виміру концентрацій газів належать: можливість виміру широкого кола компонентів газових сумішей шляхом підбора відповідних поглиначів або хімічних реакцій зв'язування; можливість аналізу багатокомпонентних газових сумішей; простота пристрою.

Недоліками методу є: низька точність аналізу (не вище 0,1–0,2% загального об'єму проби); періодичність дії; необхідність часті заміни реактивів; складність створення на цьому принципі автоматичних приладів; громіздкість приладу через велике число елементів зі скла.

### **Теплові газоаналізатори**

У теплових газоаналізаторах вимір концентрації обумовленого компонента здійснюється шляхом виміру теплових властивостей газової суміші, що залежать від концентрації обумовленого компонента. Найбільш розповсюдженими приладами цього типу є газоаналізатори, засновані на вимірі теплопровідності суміші (термокондуктометричні) і теплоти, що виділяється при реакції каталітичного окислювання обумовленого компонента (термохімічні). Представники цих груп приладів, як правило, є автоматичними пристроями, які працюють у складі інформаційно-вимірювальних і керуючих систем. Теплові газоаналізатори призначені для безупинного аналізу складу бінарних сумішей.

**Термокондуктометричні газоаналізатори.** У табл. 2.5 наведені теплопровідності різних газів при температурах 100 і 500 °С, віднесені до теплопровідності повітря. Аналіз даних, наведених у табл. 2.5, показує, що при температурі 100°С теплопровідність таких газів, як H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Ar, He, відрізняється від теплопровідності повітря.

Таблиця 2.5 – Відносні теплопровідності газів при температурах 100 і 500 °С

Газ	100 °С	500 °С	Газ	100 °С	500 °С
Повітря	1	1	Двоокис сірки	0,38	0,53
Азот	0,98	0,97	Кисень	1,02	1,07
Водень	6,84	6,77	Аргон	0,66	0,66
Двоокис вуглецю	0,71	0,96	Гелій	5,56	5,32
Окис вуглецю	0,94	0,93	Пари води	0,78	1,16
Метан	1,45	2,13			

З ростом температури теплопровідність газів зростає в різному ступені, у зв'язку з чим при температурі 500°С відносна теплопровідність N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, Ar, He практично не міняється, тоді як у CO<sub>2</sub> близька до одиниці, а в CH<sub>4</sub> зростає від 1,45 до 2,13. Характер впливу температури на відносний коефіцієнт теплопровідності газів враховується при виборі температурних режимів роботи чутливих елементів газоаналізаторів.

Використання даного принципу виміру засновано на тому, що між теплопровідністю газової суміші  $\lambda$ , теплопровідністю  $\lambda_i$  і концентрацією  $c_i$  компонентів  $n$ , що входять у її состав, існує близька до лінійної залежність:

$$\lambda = \lambda_1 c_1 + \lambda_2 c_2 + \dots + \lambda_n c_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i c_i \cdot$$

При аналізі бінарних сумішей із сумарною концентрацією невизначуваних компонентів СН, що мають співпадаючу теплопровідність  $\lambda_n$ , згідно наведеної залежності теплопровідність суміші визначається виразом:

$$\lambda = \lambda_0 c_0 + \lambda_n c_n.$$

Оскільки  $c_n + c_0 = 1$ , залежність між концентрацією обумовленого компонента  $c_0$  і вимірюваною теплопровідністю суміші  $\lambda$ , при відомих теплопровідностях невизначуваних і обумовлених компонентів має вигляд:

$$c_0 = (\lambda - \lambda_n) / (\lambda_0 - \lambda_n).$$

Якщо в числі невизначуваних компонентів міститься газ, зміна концентрації якого впливає на теплопровідність суміші, то цей компонент із газової суміші повинен бути вилучений. Так, у димових газах казана, що містять в основному  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2$ , водяні пари, при вимірі концентрації  $CO_2$  повинні бути вилучені  $SO_2$ ,  $H_2$ , водяні пари. Коливання концентрації інших компонентів не впливають, тому що мають близькі до азоту теплопровідності.

Для виміру теплопровідності газової суміші використовується провідник, що нагрівається струмом, поміщений у камеру, заповнену аналізованою сумішшю. Якщо тепловіддача від провідника до стінок камери в основному здійснюється в результаті теплопровідності, то має місце наступна залежність:

$$Q = 2\pi l \lambda (t_n - t_c) / \ln(D/d),$$

де  $Q$  – кількість теплоти, що віддається провідником у секунду;  $l, d$  – довжина і діаметр провідника;

$D$  – діаметр камери;

$\lambda$  – теплопровідність суміші газів;

$t_n, t_c$  – температури провідника і стінок камери.

При сталості теплоти  $Q$ , що віддається провідником, і температури стінок камери  $t_c$ , яка залежить від температури навколишнього середовища, теплопровідність газової суміші буде однозначно визначати температуру провідника, а отже, і його опір. Як провідник використовується дріт з металу, який має високий температурний коефіцієнт електричного

опору і хімічною стійкістю; частіше застосовують платину, рідше вольфрам, нікель, тантал.

Схема двох типів робочих чутливих елементів із платинового дроту представлена на рис. 2.68.

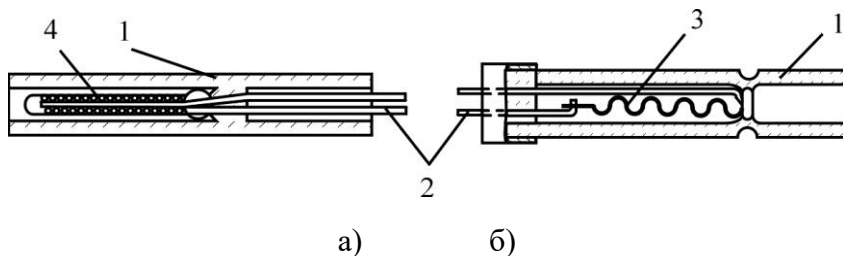


Рис. 2.73 – Устрій робочих чутливих елементів з відкритою (б) і осклованою (а) платиновою спіраллю

У скляному корпусі 1 до платинових струмоподводів 2 діаметром 0,15 мм підпаяна відкрита платинова спіраль 3 діаметром 0,02 мм (рис. 2.73, а) або осклована 4 з діаметром 0,02 мм (рис. 2.73, б). У першому випадку опір чутливого елемента складає 10 Ом, у другому 40 Ом. Чутливий елемент другого типу захищений від агресивних впливів середовища, але йому притаманна велика інерційність.

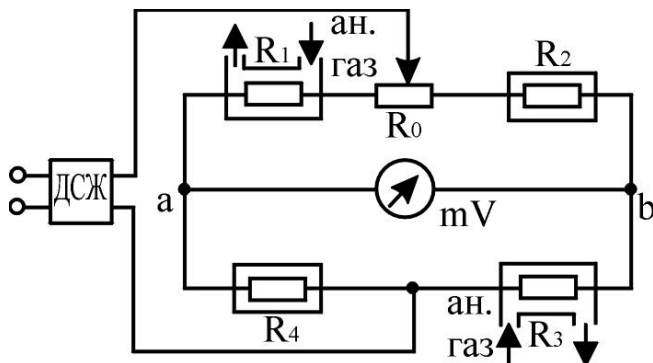


Рис. 2.74 – Вимірювальна мостова схема газоаналізатора

Для забезпечення максимальної чутливості за теплопровідністю для газів  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , а також зниження впливу тепловіддачі за рахунок випромінювання температура платинової спіралі встановлюється  $80\text{--}100^\circ\text{C}$ . З метою зменшення впливу конвективного теплообміну газ до чутливого елемента подається внаслідок дифузійного обміну, що збільшує інерційність теплових газоаналізаторів.

Для виміру опору дрових чутливих елементів використовуються мостові схеми. Одна з найпростіших і розповсюджених вимірювальних схем газоаналізатора (рис. 2.74) являє собою неврівноважений міст, що живиться постійним струмом від батареї або джерела стабілізованого живлення (ДСЖ). Резистори  $R_1$  і  $R_3$  виконані з платинового дроту і знаходяться в камерах, заповнених аналізованим газом. Резистори  $R_2$  і  $R_4$  знаходяться в герметичних камерах, заповнених невизначуваними компонентами суміші або повітрям. Конструкція порівняльних чутливих елементів аналогічні конструкції робочих елементів, представлених на рис. 2.73, тільки правий кінець скляної трубки в них запаяний.

Якщо прилад, що показує, включений у вимірювальну діагональ моста  $ab$ , має безнульову шкалу, то в камерах з резисторами  $R_2$  і  $R_4$  знаходяться невизначувані компоненти з концентрацією обумовленого компонента, що відповідає нижній межі виміру приладу. Вхідний у міст перемінний резистор  $R_0$  служить для усунення початкового небалансу моста, коли резистори  $R_1 - R_4$  знаходяться в камерах з однаковим складом газових сумішей.

Модифікацією розглянутої схеми є одномостові схеми, що містять одне робоче плече, плече порівняння і два постійних опори. В обох випадках мости можуть бути урівноваженими і неврівноваженими. Розглянуті типи вимірювальних схем мають термокондуктометричні газоаналізатори типу ТКГ, ГЭД, ГЭУК, призначені для аналізу змісту  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_3$  у топкових газах і



газах виробництва аміаку, хлору, аргону, сірчаної кислоти. Час установлення показань приладів досягає 120 с, гранична погрішність виміру  $\pm 5\%$  концентрації, що нормує, обумовленого компонента.

Одномостовій вимірювальній схемі притаманні недоліки, обумовлені впливом на сигнал небалансу моста коливань напруги живлення до температури навколишнього середовища. Для зниження впливу цих факторів використовуються джерела стабілізованого живлення, термостатування і більш складні вимірювальні схеми газоаналізаторів. На рис. 2.75 представлена спрощена схема газоаналізаторів по теплопровідності типу ТП. Схема включає два мости: робочий 1 і порівняння 2. Робочий міст аналогічний неврівноваженому мосту, зображеному на рис. 2.74. Резистори  $R_1$  і  $R_3$  омиваються аналізованим газом, а  $R_2$  і  $R_4$  знаходяться в камерах порівняння. Сигнал небалансу робочого моста  $U_{ab}$  залежить від концентрації обумовленого компонента в суміші газів. Для виміру сигналу використовується компенсаційний метод виміру. Джерелом сигналу, що компенсує, служить міст порівняння 2. Обидва мости живляться перемінною напругою від одного трансформатора  $Tr$ . Резистори моста порівняння  $R_6$ ,  $R_8$  подібно  $R_2$ ,  $R_4$  знаходяться в камерах з концентрацією обумовленого компонента, що відповідає нижній межі виміру приладу,  $R_5$  і  $R_7$  – у камерах з концентрацією, що відповідає верхній межі. Таким чином, міст порівняння розвиває сигнал небалансу  $U_{bd}$ , дорівнює максимальному сигналу робочого моста. Останній має місце, коли в суміші аналізованого газу концентрація обумовленого компонента сягає верхнього граничного значення.

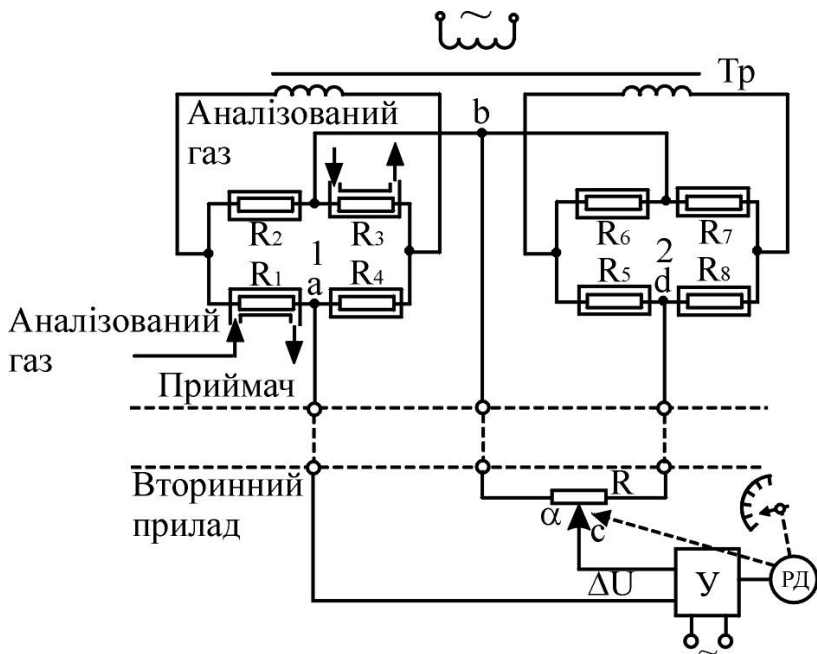


Рис. 2.75 – Схема автоматичного газоаналізатора за теплопровідністю

Для одержання сигналу компенсації використовується реохорд вторинного приладу, який підключається до вимірювальної діагоналі моста порівняння. Вторинними приладами в газоаналізаторах служать автоматичні урівноважені мости типу КСМ і КПМ.

Сигнал робочого моста компенсується часткою сигналу моста порівняння. Оскільки зовнішні фактори: температура навколишнього середовища, коливання напруги живлення – впливають на сигнали обох мостів, ця схема менш чутлива до їх змін, ніж розглянута вище.

З використанням двомостової вимірювальної схеми вітчизняною промисловістю випускаються теплові газоаналізатори типу ТП для аналізу змісту  $\text{CO}_2$  у димових газах і складних газових сумішах,  $\text{H}_2$  у технологічних газах і

системі водневого охолодження турбогенераторів. Гранична погрішність виміру концентрації в цих приладів складає  $\pm 2,5-3,0\%$ , час установлення показань досягає 1–3 хв.

**Термохімічні газоаналізатори.** У термохімічних газоаналізаторах концентрація обумовленого компонента вимірюється за кількістю теплоти, що виділилася при реакції каталітичного окислювання. До числа фіксуємих за цим методом газів входять  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ . Термохімічні газоаналізатори розділяються на дві групи. У першій групі, яка має більш низьку чутливість, реакція окислювання відбувається на поверхні нагрітої платинової нитки, що грає роль каталізатора. Температура платинової нитки, а отже, і її опір міняються зі зміною кількості теплоти, що виділилася при окислюванні обумовленого компонента. Платинова нитка з опором  $R_1$  включається в плече неврівноваженого моста, схема якого аналогічна представленій на рис. 2.74. До цього моста входить резистор  $R_2$ , виконаний із платинового дроту подібно резистору  $R_1$ , але знаходиться в камері, заповненій невизначеними компонентами газової суміші. Резистори  $R_3$  і  $R_4$  мають постійний опір і виконані з манганінового дроту.

За наявності обумовленого компонента в газовій суміші і його згорянні опір резистора  $R_1$  зростає і мілівольтметр (потенціометр), включений у вимірювальну діагональ моста, покаже наявність різниці напруг, пропорційної концентрації обумовленого компонента. Мілівольтметр градується в одиницях концентрації обумовленого компонента. Час фіксації показань приладів цього типу складає 1 хв при граничній погрішності, що складає  $\pm 1\%$ .

Газоаналізатори першої групи в основному використовуються як індикатори і сигналізатори вибухонебезпечних концентрацій газів і виконуються в переносному варіанті, до їх числа належать сигналізатори СГГ, що вимірюють концентрацію  $\text{H}_2$  у повітрі.

У термохімічних газоаналізаторах другої групи реакція окислювання обумовленого компонента протікає на поверхні гранульованого каталізатора, у якості якого часто використовується гопкаліт (60% двоокису марганцю і 40% окису міді). Наявність розвинутої поверхні каталізатора забезпечує можливість виміру концентрацій обумовленого компонента, що складають частки відсотка. Кількість теплоти, що виділилася при спалюванні, вимірюється платиновим термометром опору або батареєю термопар.

Газоаналізатори другого типу є більш інерційними, час установлення їх показань сягає 5 хв, гранична погрішність складає  $\pm 5-7\%$ .

**Магнітні газоаналізатори.** У магнітних газоаналізаторах, які належать до аналізаторів бінарних сумішей, концентрація обумовленого компонента вимірюється за зміною магнітних властивостей газової суміші. Гази за їх магнітною сприйнятливістю поділяються на парамагнітні, що втягуються в магнітне поле, і діамагнітні, що виштовхуються з нього. Найбільшу магнітну сприйнятливість має кисень, що належать до парамагнітних газів. У табл. 2.5 наведені значення відносної об'ємної магнітної сприйнятливості для газів, причому знак мінус відноситься до діамагнітних газів.

Зіставлення даних, наведених у табл. 2.6, показує, що гази, крім кисню, окису і двоокису азоту, є практично немагнітними, оскільки їх об'ємна магнітна сприйнятливість на два порядки нижче, ніж кисню. Таким чином, магнітні властивості газової суміші визначаються концентрацією кисню, оскільки NO і NO<sub>2</sub>, які є продуктами високотемпературних окисних реакцій, зустрічаються рідко й у малих концентраціях.

Таблиця 2.6 – Відносна об'ємна магнітна сприйнятливість газів

Газ	Відносна об'ємна магнітна сприйнятливість	Газ	Відносна об'ємна магнітна сприйнятливість
Кисень O <sub>2</sub>	1	Водень H <sub>2</sub>	-0,0011
Повітря (21% O <sub>2</sub> )	0,211	Азот N <sub>2</sub>	-0,004
Окис азоту NO	0,363	Двоокис вуглецю CO <sub>2</sub>	-0,0057
Двоокис азоту NO <sub>2</sub>	0,0616	Аміак NH <sub>3</sub>	-0,0057
Метан CH <sub>4</sub>	-0,0123	Водяна пара H <sub>2</sub> O	-0,004

Об'ємна магнітна сприйнятливість кисню  $\eta$  пов'язана з питомою магнітною сприйнятливістю  $\chi$ , і щільністю  $\rho$  залежністю  $\eta = \chi\rho$ ; оскільки  $\chi = C/T$ , а  $\rho = PM/TR$ ,

$$\eta = CPM/(T^2R),$$

де  $C$  – постійна Кюрі;

$P$ ,  $T$  – абсолютний тиск і температура кисню з молекулярною масою  $M$ ;

$R$  – газова постійна.

Таким чином, магнітна сприйнятливість кисню залежить від тиску і знижується з ростом температури пропорційно  $1/T^2$ .

Об'ємна магнітна сприйнятливість суміші газів визначається співвідношенням:

$$\chi_{см} = \sum_{i=1}^n c_i \chi_i = c_k \chi_k + (1 - c_k) \chi_n, \quad (2.4.1)$$

де  $c_i$ ,  $\chi_i$  – об'ємні концентрації компонентів газової суміші і їх об'ємні магнітні сприйнятливості;

$c_k$ ,  $\chi_k$  – об'ємна концентрація кисню і його магнітна сприйнятливість;

$\chi_n$  – усереднена магнітна сприйнятливості невизначуваних компонентів.

Відповідно до (2.4.1), оскільки  $\chi_n \ll \chi_k$ , зміна об'ємної магнітної сприйнятливості газової суміші однозначно визначається концентрацією кисню за умови стабілізації температури і тиску.

Існує декілька методів виміру магнітної сприйнятливості суміші газів, найбільш розповсюджений з них пов'язаний з використанням явища термомагнітної конвекції. Остання являє собою рух кисневмісного газу в неоднорідному магнітному і тепловому полях. Засновані на цьому ефекті газоаналізatori, що випускаються промисловістю, виконуються з одномостовою або двомостовою вимірювальними схемами.

На рис. 2.76, а представлена схема чутливого елемента, застосовуваного у вітчизняних газоаналізаторах типу МН, і розміщення його між полюсами магніту (рис. 2.76, б).

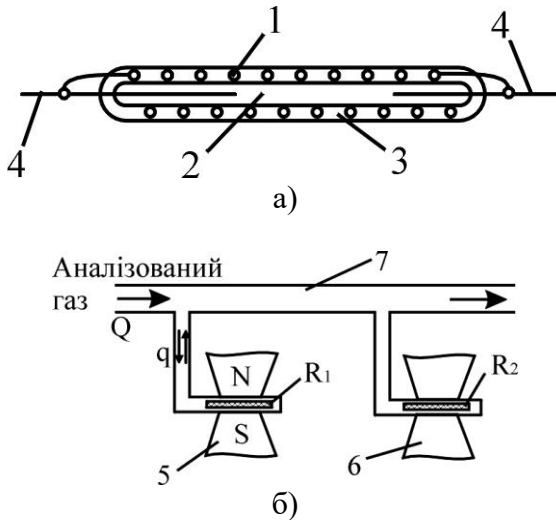


Рис. 2.76 – Схема чутливого елемента киснеміра з зовнішньою магнітною конвекцією

Чутливий елемент являє собою платиновий дріт 1 діаметром 0,02 мм, намотаний на скляний капіляр 2 і осклований з зовнішньої сторони 3. Кінці спирали підпаяні до струмоводів 4. Зовнішній діаметр чутливого елемента складає 0,5–0,6 мм, опір резистора 40 Ом. Кисневмісний газ, що протікає по трубці 7, втягується в магнітне поле, при цьому він нагрівається від резистора  $R_1$  і його магнітна сприйнятливість знижується. Холодний газ виштовхує нагрітий, створюючи потік магнітної конвекції  $q$ , що прохолоджує резистор  $R_1$ . Резистор  $R_2$  для забезпечення однакових умов тепловіддачі розміщений у середині немагнітного мідного блоку 6, що має ту ж конфігурацію, що й постійний магніт 5. На рис. 2.76, б напрямки теплової і магнітної конвекції збігаються, при розміщенні кришки з лініями підведення газу 7 під магнітом напрямки конвекції стають зустрічними.

У газоаналізаторах МН використовується двомостова вимірювальна схема, наведена на рис. 2.77.

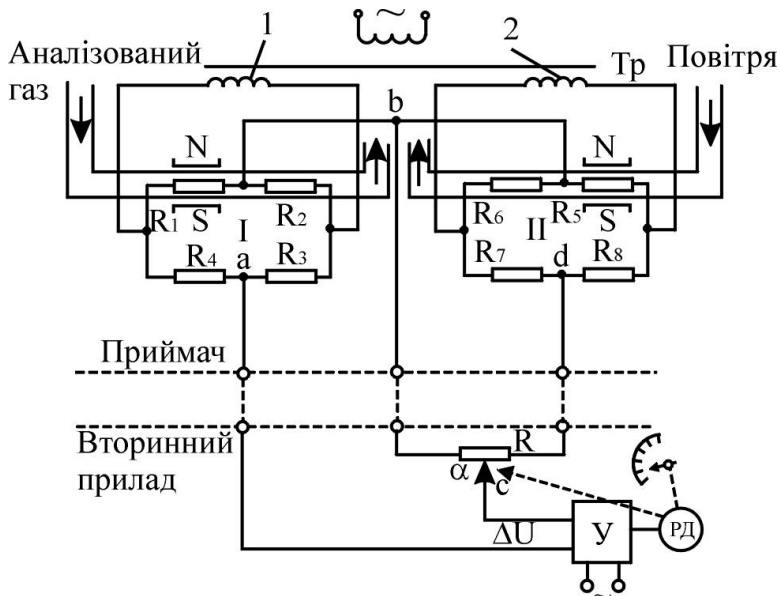


Рис. 2.77 – Схема автоматичного магнітного газоаналізатора типу МН

У первинному перетворювачі (приймачі) розміщені два мости, що живляться від вторинних обмоток 1, 2 силового трансформатора Тр. Міст 1 є робочим, його резистори  $R_1$ ,  $R_2$ , що яляють собою платинові чутливі елементи з зовнішнім теплообміном, омиваються аналізованим газом. Резистор  $R_1$  знаходиться в неоднорідному магнітному полі,  $R_2$  – між полюсами несправжнього магніту (мідного блоку). Резистори  $R_2$ ,  $R_4$  є постійними і виконані з манганінового дроту.

За наявності кисню в суміші газів міст 1 працює в нерівноважному режимі і напруга у вимірювальній діагоналі  $U_{ab}$  залежить від концентрації кисню. Для перевірки початкової точки шкали вторинного приладу приймач забезпечується металевим шунтом. За його опускання знімається магнітне поле, резистори  $R_1$  і  $R_2$  попадають в однакові умови і міст 1 повинен бути урівноважений. У схему моста включений перемінний резистор початкового балансування, не показаний на схемі, аналогічний резистору  $R_0$ , включеному в міст, і представлений на рис. 2.74 .

Міст II є мостом порівняння. Його плечі  $R_5$  і  $R_6$ , виконані з платинового дроту, омиваються повітрям, причому  $R_6$ , як і  $R_2$  знаходиться між полюсами несправжнього магніту. Резистори  $R_7$  і  $R_8$  виконані подібно  $R_3$  і  $R_4$  з манганінового дроту. Оскільки концентрація кисню в повітрі є стабільною, міст II розвиває постійний сигнал небалансу  $U_{bd}$ . Коливання  $U_{bd}$  обумовлені тільки відхиленнями напруги живлення, температури і тиску навколишнього середовища.

Для виміру сигналу робочого моста використовується компенсаційний метод, причому сигналом компенсації служить частка напруги моста порівняння, що знімається з реохорда,  $U_{bc} = \alpha U_{bd}$ , де  $\alpha$  змінюється від 0 до 1. Компенсація сигналу робочого моста часткою сигналу моста



порівняння здійснюється автоматично, як вторинний прилад використовується автоматичний урівноважений міст із деякими змінами у вимірювальній схемі.

У газоаналізаторах із двомостовою вимірювальною схемою вплив коливань напруги живлення, температури навколишнього середовища на показання приладу менший, ніж у приладах з одномостовою вимірювальною схемою. Це порозумівається одночасним впливом перерахованих факторів на сигнали робочого і порівняльного мостів.

Киснеміри типу МН-5106 мають межі виміру 0–10% O<sub>2</sub> при граничній погрішності виміру  $\pm 0,25\%$  O<sub>2</sub>, МН-5130 при нульовій нижній межі виміру мають верхні 0,5; 1; 2; 5; 10; 21; 50%, при цьому гранична погрішність залежить від діапазону виміру і знаходиться в межах від  $\pm 2$  до  $\pm 10\%$  значення, що нормує. Остання цифра відповідає мінімальному діапазону виміру приладу. Киснеміри МН можуть мати безнульову шкалу з межами виміру 50–100% O<sub>2</sub>, 80–100% O<sub>2</sub>. Час установлення вихідного сигналу знаходиться в межах 0,5–1,5 хв.

Завдяки різкій відмінності магнітної сприйнятливості кисню від сприйнятливості інших газів не потрібно попереднього видалення невизначених компонентів. Проте з метою захисту чутливих елементів установка газоаналізатора повинна містити в собі фільтр для очищення проби від сірчистого газу, якщо останній міститься в ній. Інші допоміжні елементи установки газоаналізатора є типовими і будуть розглянуті наприкінці підрозділу.

### **Оптичні газоаналізатори.**

В оптичних газоаналізаторах концентрація обумовленого компонента вимірюється за зміною оптичних властивостей газової суміші, до числа яких належать показники переломлення, спектрального поглинання і випромінювання, спектральна щільність та ін. Найбільш розповсюдженими є три групи оптичних газоаналізаторів: 1) інфрачервоного й ультрафіолетового поглинання; 2)

спектрофотометричні; 3) фотоколориметричні. Оптичні газоаналізатори мають велику дозвільну здатність завдяки чому вони застосовуються для аналізу мікроконцентрацій вибухонебезпечних і токсичних домішок у промислових газах, при контролі повітря в атмосфері і виробничих приміщеннях.

**Газоаналізатори інфрачервоного й ультрафіолетового поглинання.** Кожен газ характеризується певним спектром поглинання. Гази, що містять у своєму складі два і більше різнорідні атоми, такі як CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, мають спектри поглинання в інфрачервоній області. Одноатомні гази характеризуються лінійчатыми спектрами поглинання, які лежать в ультрафіолетовій області.

Закон Ламберта – Бера визначає зв'язок ослаблення монохроматичного випромінювання при проходженні через камеру, заповнену аналізованим газом, з його концентрацією:

$$I_{\lambda} = I_{0\lambda} \exp(-\varepsilon_{\lambda} cL),$$
$$D_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} cL = \ln(I_{0\lambda} / I_{\lambda}),$$

де  $I_{0\lambda}$ ,  $I_{\lambda}$  – інтенсивність монохроматичного випромінювання на вході і виході камери довжиною  $L$ , заповненої обумовленим компонентом з концентрацією  $c$  і коефіцієнтом спектрального поглинання  $\varepsilon_{\lambda}$ ,  $D_{\lambda}$  – оптична щільність суміші газів.

Для використання цього методу виміру необхідно, щоб обумовлений компонент мав спектр поглинання, що відрізняється від спектрів поглинання інших компонентів аналізованої суміші. Лежачі в інфрачервоній області спектри поглинання CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> і CH<sub>4</sub> зображені на рис. 2.78. Спектри CO<sub>2</sub> і CO, CO<sub>2</sub> і CH<sub>4</sub> частково перекриваються.

Схема приймача інфрачервоного випромінювання представлена на рис. 2.79. Джерелом 1 створюється постійне випромінювання, яке за допомогою обертового диска з

отворами (обтюратора) 2 і світлофільтра 3 перетворюється на пульсуюче монохроматичне випромінювання. Аналізований компонент, що знаходиться в камері 4, поглинає випромінювання, при цьому в камері виникають пульсації температури, а отже, і тиску, зображені на тім же рисунку.

Пульсації тиску в камері сприймаються мікрофонним чутливим елементом 5, що являє собою конденсатор, утворений рухливою мембраною і нерухомою пластиною. Під дією тиску мембрана переміщається, викликаючи зміни ємності конденсатора  $C$  унаслідок зміни зазору  $\delta$ . У зв'язку з тим, що в перших газоаналізаторах такого типу обтюраторія світлового потоку здійснювалась зі звуковими частотами, прилади одержали назву оптико-акустичних. Ця назва збереглася, незважаючи на те, що сучасні прилади працюють на більш високих частотах.

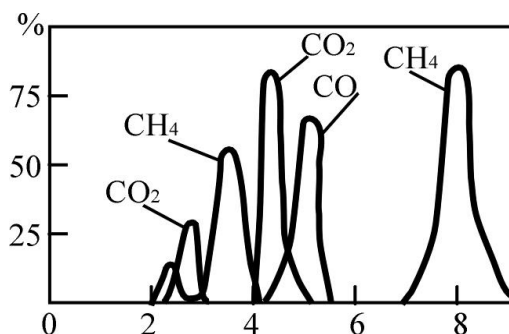


Рис. 2.78 – Спектри поглинання  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  в інфрачервоній області

Промислові оптико-акустичні газоаналізатори мають складні вимірювальні схеми, як правило, двоканальні. Схема газоаналізатора типу ОА представлена на рис. 2.80. Від джерел випромінювання 1 потоки пульсуючого інфрачервоного випромінювання  $q$ ,  $q'$  через обтюратор (переривач) 2 надходять у два оптичних канали: робочий I і

порівняння II. Обидва канали містять фільтрові камери 3, заповнені невизначеним компонентом, який має спектр поглинання, що частково перекриває спектр поглинання аналізованого газу. Уведення фільтрових камер, заповнених газом із близьким спектром поглинання, дозволяє усунути з потоку випромінювання ту частину довжин хвиль, інтенсивність яких залежала б від концентрації невизначеного компонента.

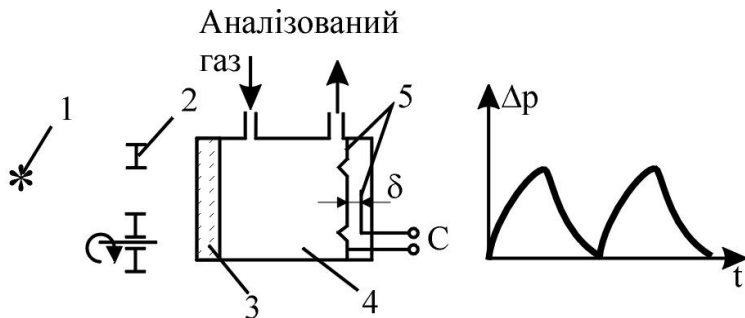


Рис. 2.79 – Принципова схема оптико-акустичного промінеприймача

Перший оптичний канал включає робочу камеру 4, через яку протікає аналізований газ. Унаслідок поглинання випромінювання в робочій камері на її виході світловий потік  $q_1$  менше потоку  $q'_1$ , у каналі порівняння. Оскільки в приладі використовується компенсаційний метод виміру, порівняльний канал II містить у собі компенсаційну камеру 6, заповнену обумовленим компонентом. У середині камери знаходиться рухливий поршень, передня грань 7 якого є поверхнею, що відбиває. Довжина шляху потоку  $q_1$  у середині камери 6, а отже, і його ослаблення залежить від положення поршня. Потоки  $q'_2$  і  $q_1$  надходять до промінеприймача 5, заповненого аналізованим компонентом і утримуючого конденсаторний перетворювач мікрофонного типу.

Стінки камер 3–6 по ходу потоків випромінювання виконані зі світлофільтрів, що мають смугу пропущення, яка відповідає спектру поглинання аналізованого компонента. При рівності потоків  $q_1$  і  $q'_2$  пульсації тиску в обох частинах камери сприймання променів 5 відбуваються з однаковою амплітудою, не викликаючи зміни ємності конденсатора. За збільшення концентрації обумовленого компонента потік  $q_1$  зменшується, при цьому знижується амплітуда пульсацій тиску в правій половині камери 5 і конденсатор змінює свою ємність. На виході підсилювача з'являється сигнал, що викликає обертання реверсивного двигуна РД. Останній переміщає циліндр 7, збільшуючи довжину шляху потоку  $q'_1$ , знижуючи  $q'_2$  до відновлення рівності потоків. Положення циліндра камери компенсування, що однозначно залежить від концентрації аналізованого компонента, визначає положення движка реохорда R і пов'язаного з ним покажчика допоміжної шкали приймача.

Як вторинний прилад використовується автоматичний урівноважений міст. Оптичні газоаналізатори типу ОА, призначені для виміру концентрацій CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> у газових сумішах, мають при нульовій нижній верхні межі виміру 1; 2; 5; 10; 20; 30; 50; 70; 100%, гранична погрішність газоаналізаторів складає  $\pm 2,5\%$  діапазону виміру.

Розглянутий спосіб компенсації потоку випромінювання, що пройшло через робочу камеру, називається газовим. Існують інші способи компенсації, пов'язані зі зміною потужності джерела випромінювання в другому каналі або з уведенням світлофільтра, що послабляє, у другий канал. Ці методи називаються відповідно електричною й оптичною компенсацією.

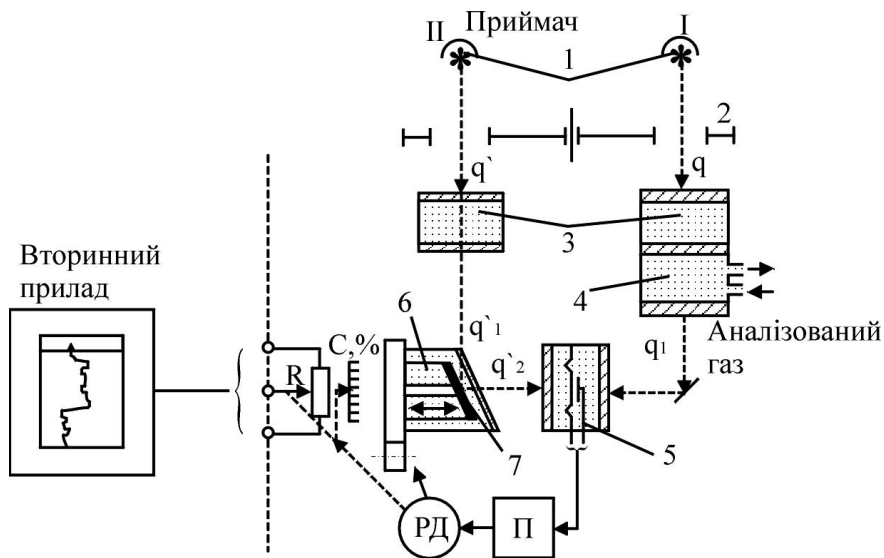


Рис. 2.80 – Схема автоматичного оптико-акустичного газоаналізатора типу ОА

Погрішність виміру концентрації двоканальними газоаналізаторами істотно залежить від симетрії оптичних каналів, зміни випромінювальної характеристики джерел світлових потоків, забруднення світлофільтрів. У зв'язку з цим існує ряд модифікацій газоаналізаторів з одноканальними вимірювальними схемами.

У теперешній час промисловістю випускаються автоматичні системи газового аналізу, що включають крім оптичного газоаналізатора термокондуктометричні чи термохімічні, розглянуті в п. 2.4.3. До числа таких систем належать АСГА-Д, АСГА-М, АСГА-Т, ГАК, призначені відповідно для аналізу газів, що відходять, доменних печей, конвертерів, газів, що відробили, двигунів внутрішнього згоряння, колошникових газів. За допомогою цих систем здійснюється вимір таких компонентів, як  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{CH}_4$ .

Більшість газів і пар мають здатність поглинати ультрафіолетове випромінювання, однак обмежене число їх

має спектри поглинання, відмінні від інших газів. Газоаналізатори, засновані на поглинанні певними компонентами ультрафіолетового випромінювання, застосовуються для виміру наявності в повітрі токсичних пар ртуті, хлору, карбонілу нікелю. У приладах як джерела ультрафіолетового випромінювання використовуються ртутні лампи. Схеми можуть бути як одноканальними, так і двоканальними. Як приймачі випромінювання на виході робочих і фільтрових камер використовуються фоторезистори, вакуумні фотоелементи та фотопомножувачі.

**Фотоколориметричні<sup>1</sup> газоаналізатори.** У фотоколо-риметричних газоаналізаторах концентрація обумовленого компонента відповідно закону Ламберта-Бера вимірюється за зміною оптичної щільності індикаторного розчину, фарбування якого вибірково міняється в присутності обумовленого компонента.

Фотоколориметричний метод характеризується універсальністю, оскільки той самий прилад з різними індикаторними розчинами може використовуватися для аналізу різноманітних компонентів газової суміші. Він відрізняється також високою вибірковістю, яка залежить від специфічності реакції, що протікає між аналізованим компонентом і індикаторним розчином. Можливість накопичення обумовленого компонента в індикаторному розчині забезпечує високу чутливість методу. Засновані на цьому принципі прилади застосовуються для контролю стану повітряного басейну, вони вимірюють концентрацію в повітрі таких шкідливих домішок, як NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S. Прилади мають верхню межу виміру від 0,0005 до 0,02 мг/л залежно від аналізованого компонента.

---

<sup>1</sup> Від слова colour (англ.) – колір.

## **Хроматографічні газоаналізатори. Загальні відомості**

Хроматографічні газоаналізатори призначені для аналізу багатокомпонентних газових сумішей. В останні роки ці прилади стали застосовуватися для аналізу складу рідин і твердих тіл. Хроматографи є приладами періодичної дії, більш складними за устроєм, ніж розглянуті вище газоаналізатори.

Процес виміру в цих приладах розпадається на дві стадії: хроматографічний поділ газової суміші на окремі компоненти й ідентифікація (детектування) компонентів, що включає якісний і кількісний їх аналіз. Хроматографічний поділ суміші на окремі компоненти, відкритий в 1903 р. М. С. Цветом, здійснюється за рахунок різної швидкості руху газів уздовж шару сорбенту, обумовленої характером зовнішніх і внутрішніх міжмолекулярних взаємодій. На даний час за можливостями поділу й аналізу багатокомпонентних сумішей хроматографія не має конкуруючих методів. Хроматографію можна використовувати для аналізу низькокиплячих газів, сумішей летучих і термічно стійких твердих і рідких речовин, температура кипіння яких сягає 500 °С і вище. До числа переваг цього методу належить також висока чутливість (яка сягає при використанні іонізаційних детекторів  $10^{-8}$ – $10^{-9}$  мг/мол) у сполученні з малим об'ємом проби, що відбирається, порівняно високою точністю і малим часом аналізу. Існує три різновиди хроматографічного методу виміру, що розрізняються способом переміщення аналізованої суміші: виявительний, фронтальний і витіснительний. Перший метод є найбільш розповсюдженим. У його межах розрізняють наступні різновиди, обумовлені процесом поділу суміші на компоненти: газоадсорбційний, газорідинний (розподільний) і капілярний. Останній є різновидом газорідинного способу поділу.

Принципові схеми хроматографа і поділу суміші газів у колонку представлені на рис. 2.81, а, б. З балона 1 газ-



носії надходить до хроматографа. Для підтримання в процесі його роботи постійної швидкості використовується регулятор 2, що містить редуктор, манометр і вимірник витрати газу.

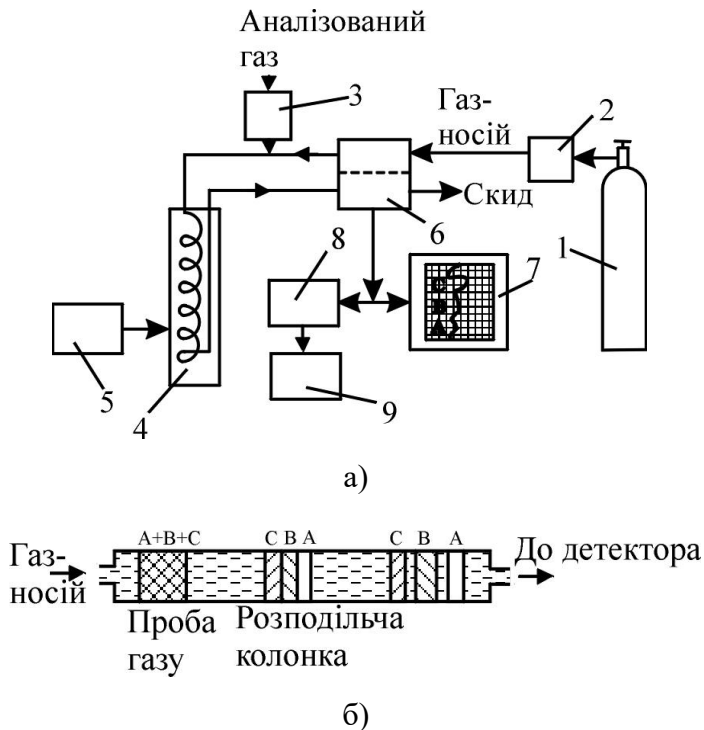


Рис. 2.81 – Принципова схема газового хроматографа

У газ-носії дозатором 3 періодично вводиться проба аналізованого газу. У розділовій колонці 4, заповненій твердим або рідким сорбентом, аналізована суміш розділяється на компоненти. Вздовж шару сорбенту з більшою швидкістю рухаються найменш сорбуємі газу. Тому в пробі суміші газів (рис. 2.81, б), що містить три компоненти А, В і С, першим виноситься найменш сорбуємі газ А, а останнім – добре сорбуємі С. Після поділу кожен компонент із газом-носієм утворює бінарну

суміш, аналіз якої може бути здійснений різними методами, у тому числі розглянутими вище і реалізованими в детекторі 6. Оскільки в процесі виміру властивості газу-носія можуть мінятися, при пропущенні останнього через детектор фіксуються зміни його властивостей, викликані присутністю компонента аналізованої суміші. Для поліпшення поділу компонентів температурний режим колонки може мінятися за допомогою терморегулятора 5 із програмним керуванням. Вихідний сигнал детектора 6 подається на реєструючий прилад 7, інтегруючий 8 і цифродрукуючий пристрій 9. На діаграмі самописного приладу 7 вихід кожного з компонентів супроводжується піком, площа якого залежить від концентрації цього газу. Графік, що фіксує вихід компонентів, називають хроматограмою. Використання інтегруючого і цифродрукуючого пристроїв, обчислювальної машини автоматизує обробку хроматограм і дозволяє ввести інформацію про склад газів в АСУ ТП.

Хроматограмма (рис. 2.82) є носієм як якісної інформації – про вид компонентів суміші, так і кількісної – про їх концентрацію. Значення останньої визначається площею піка або його висотою. Оскільки поділ газів здійснюється за рахунок їх різних сорбційних властивостей, час виходу того чи іншого компонента при постійній швидкості газу-носія визначає вид газу. Ця характеристика називається часом утримання  $t$ . Вона чисельно дорівнює інтервалу часу від моменту введення проби газу до моменту, що відповідає максимуму піка. Більш стійкою характеристикою, що не залежить від коливань швидкості  $v$  газу-носія, є утримуваний об'єм газу-носія

$$V_R = t v.$$

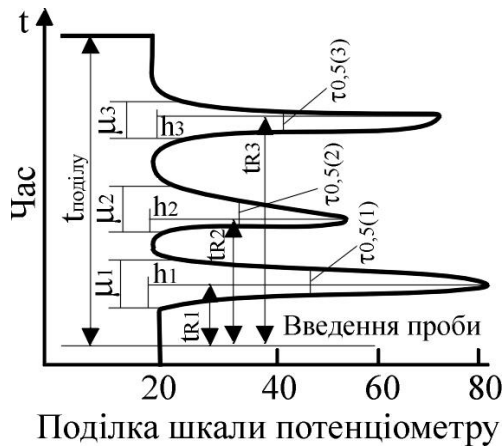


Рис. 2.82 – Хроматограма поділу суміші трьох компонентів

Час утримання, як і ширина піка, може виражатися в одиницях часу  $t$ ,  $\tau$  і одиницях довжини  $l$ ,  $\mu$ , обмірюваних по діаграмній стрічці. Ширина піка визначається в його підставі  $\tau$ ,  $\mu$ , чи на половині висоти  $\tau_{0,5}$ ,  $\mu_{0,5}$ . Відношення до останніх величин часу втримання характеризує ефективність газохроматографічної колонки:

$$n = 5,545 \left( \frac{t_R}{\tau_{0,5}} \right)^2 = 5,545 \left( \frac{l}{\mu_{0,5}} \right)^2.$$

Ефективність поділу двох компонентів газової суміші визначає такий показник, як ступінь поділу

$$R = (t_{R1} - t_{R2}) / (\tau_{0,51} + \tau_{0,52}).$$

Поріг чутливості хроматографа розраховується за формулою:

$$\Delta = 2acVu / (QS),$$

де  $2a$  – подвоєна амплітуда високочастотних коливань нульової лінії хроматографа;

$C$  – концентрація обумовленого компонента;

$V$  – об'єм дози;

$u$  – швидкість руху діаграмної стрічки;

$Q$  – витрата газу-носія через детектор;

$S$  – площа піка хроматограми.

Поріг чутливості може бути розрахований і за іншим визначальним параметром – висотою піка.

Хроматографічний поділ – складний процес, складовими якого є сорбція, десорбція, дифузія. Остання, супроводжуючи процес поділу, викликає розмиття піків і погіршує якість поділу.

Особливістю хроматографічного методу аналізу є вплив на результати виміру великого числа взаємозалежних факторів, які можна розділити на п'ять груп:

1) параметри, що характеризують роботу розділової колонки; геометрія колонки (довжина, діаметр, форма), матеріал колонки, природа сорбенту, його пористість, зернистість, характер набивання, товщина рідкої плівки, температурний режим колонки;

2) параметри, пов'язані з газом-носієм: природа і наявність домішок, швидкість і тиск;

3) параметри, пов'язані з роботою дозатора: об'єм проби, його стабільність, спосіб уведення проби;

4) параметри, пов'язані з роботою детектора: чутливість, інерційність, лінійність градувальної характеристики, стабільність;

5) параметри, обумовлені способом реєстрації вихідного сигналу детектора і методом обробки хроматограми: погрішність, інерційність, чутливість вторинного приладу, швидкість руху діаграмного папера, погрішність розрахунку якісних і кількісних показників хроматографічного поділу.

Зупинимося докладніше на елементах хроматографів і впливі перерахованих вище параметрів.

## Елементи газових хроматографів

*Розділові колонки.* Одним з основних факторів, що впливають на ефективність  $n$  і ступінь поділу  $R$ , є довжина колонки. Обидва показники зростають зі збільшенням довжини, але при цьому росте перепад тиску на колонку, а швидкість газу-носія по довжині різко міняється. З урахуванням росту опору і незручності роботи з довгими колонками останні звичайно мають довжину 1–5 м. Довжина колонок капілярних хроматографів сягає 300 м.

Оскільки колонки розміщуються в термостатах, їх виготовляють у вигляді U-подібних або спіральних трубок. Останні широко застосовуються в промислових хроматографах, хоча в перших легше здійснюється щільне й однорідне набивання, менше розмитість піків через неоднорідність швидкостей газу по перетині трубки.

Внутрішній діаметр набивних колонок складає 0,5–5 мм. У капілярних хроматографах, у яких рідкий сорбент наноситься безпосередньо на внутрішню поверхню трубки, їх внутрішній діаметр складає 0,15–0,5 мм.

Стовпчики виготовляються з металевих, скляних і фторопластових трубок, останні використовуються при кімнатних температурах поділу газів. При цих температурах здійснюється поділ у газо-адсорбційній хроматографії, у газорідинній широко використовується програмована зміна температури. Як нерухому фазу в газо-адсорбційній хроматографії застосовують наступні речовини, що мають розвитку пористість: активоване вугілля, силікагель, алюмогель, природні і синтетичні цеоліти. Розмір зерен адсорбентів складає 0,1–0,8 мм.

Рідкі сорбенти відрізняються великою розмаїтістю в порівнянні з твердими. Як перші використовують вазелінову, авіаційну і силіконову олії, фталати, поліетиленгліколь.

У насадочних колонках рідина наноситься на поверхню твердого нейтрального носія, що володіє

макропористістю. Розміри часток складають 0,25–0,5 мм. Як носії використовують інзенську, дмитровську або діатомитову цеглу. Для нанесення рідку фазу розчиняють у метанолі чи ацетоні, яку потім випаровують. Носій, покритий рідиною, є сипучим, і заповнення ним колонок здійснюється так само, як і твердим сорбентом. Капілярні колонки заповнюються розчиненим рідким сорбентом, для проштовхування його через капілярну трубку використовується надлишковий тиск. Після заповнення розчинник випаровують.

Газорідинні хроматографи в порівнянні з адсорбційними характеризуються більшою стабільністю, у них рідко відбуваються необоротні реакції, а компоненти, що не виходять з колонки, можна видалити при її зворотній продувці.

Як газ-носії у хроматографах використовують азот, аргон, гелій, повітря, водень, вуглекислий газ. Перші два, володіючи малою теплопровідністю, не використовуються при застосуванні детекторів за теплопровідністю через низьку чутливість. Аргон і гелій дорогі. Гелій завдяки високій теплопровідності може працювати з детектором за теплопровідністю. Через велику швидкість дифузії при його використанні необхідні значні швидкості газу, на малих швидкостях поділ суміші може не відбутися. Якщо до складу обумовлених компонентів входить водень, то гелій через близькі до нього властивості не можна використовувати як газ-носій.

Повітря через його доступність має важливу перевагу перед іншими газами, однак подібно азоту й аргону при роботі з детекторами за теплопровідністю не забезпечує високої чутливості. Повітря зручно використовувати при роботі з термохімічними детекторами, для роботи яких необхідна присутність кисню. Повітря не можна застосовувати, якщо до складу аналізованої суміші входять азот, кисень, аргон.

Таблиця 2.7 – Поріг чутливості детекторів газових хроматографів

Детектор	Поріг чутливості, г/мл	Аналізована речовина
За теплопровідністю	$2 \cdot 10^{-8}$ (за пропаном)	Універсального призначення, вимірює органічні і неорганічні речовини
Термохімічний	$10^{-8}$ (за бутаном)	Пальні речовини
Полум'яно-іонізаційний	$5 \cdot 10^{-11}$ (за пропаном)	Органічні пальні речовини
Іонізаційний різних типів	$10^{-11} - 10^{-12}$ (за повітрям)	Органічні речовини

Водень завдяки високій теплопровідності забезпечує максимальну чутливість при роботі детектора за теплопровідністю. Через малу в'язкість можна використовувати при роботі з довгими колонками. Недоліком водню є вибухонебезпечність і відбудовні властивості, що ускладнюють роботу чутливих елементів детекторів. Середні лінійні швидкості газу в насадочних колонках складають 2 – 5 см/с, а в капілярних 10–15 см/с. Витрати газу-носія при цьому знаходиться в межах 0,1–2 см<sup>3</sup>/с. Тиск газу-носія на вході в колонку складає  $(0,5 \pm 1) \cdot 10^5$  Па, зміни тиску в цих межах не впливають на ефективність роботи колонки, для якої істотним фактором є перепад на колонку.

Для забезпечення відтворюваності показань хроматографів необхідна стабілізація швидкості газу-носія. Остання здійснюється регуляторами витрати газу, встановлюваними на виході балона з газом-носієм. Витрата газу контролюється ротаметрами.

**Дозатори.** Для введення проби газу в потік газу-носія використовуються дозатори, які повинні внести фіксований об'єм проби, не перериваючи потоку газу-носія. Для кожної колонки, виду аналізованого газу, детектора існує

оптимальний об'єм проби, обмежений знизу чутливістю детектора, а зверху – перекриттям смуг розділених компонентів на хроматограмі. У середньому для різних типів хроматографів об'єм проби складає 0,1–20 см<sup>3</sup>. Її введення здійснюється шприцом або пристроями з дозуючими петлями постійного об'єму, з яких проба витісняється газом-носієм.

Детектор, будучи вимірювальною частиною хроматографа, впливає на результати аналізу. Оскільки чутливість детектора є чинником, що обумовлює роботу інших елементів установки і визначає можливості хроматографа, у табл. 2.6 для найбільш розповсюджених детекторів наведений поріг чутливості й аналізовані речовини.

До числа найбільш простих належать детектори за теплопровідністю та термохімічні, хоча за чутливістю вони значно уступають іонізаційним. За принципом дії ці детектори аналогічні розглянутим в 2.4.3 тепловим газоаналізаторам. У зв'язку з тим що в процесі роботи хроматографа властивості газу-носія можуть змінюватися, у детекторах зазначеного типу вводяться плечі порівняння, омивані газом-носієм. Принципова схема газового детектора за теплопровідністю (катарометра) наведена на рис. 2.78. Вимірювальна схема являє собою неврівноважений міст, у якому плечі з платиного дроту  $R_1$  і  $R_3$  омиваються сумішшю газу-носія з обумовленим компонентом, що виходить з розділової колонки, а плечі  $R_2$  і  $R_4$ , аналогічні  $R_1$  і  $R_3$ , омиваються газом-носієм. Чутливість катарометра істотно підвищується при використанні як газ-носія водню або гелію. Катарометри характеризуються стабільністю роботи і застосовуються для аналізу газового палива, визначення в продуктах горіння змісту  $CO_2$ ,  $SO_2$ .

Полум'яно-іонізаційні детектори засновані на вимірі опору полум'я водню при введенні в нього компонентів аналізованої суміші. Полум'я чистого водню має великий опір, а його температура сягає 800–900 °С. При введенні



органічної речовини в потік полум'я відбувається іонізація молекул компонента й опір полум'я різко знижується.

Для виміру сигналу детектора використовуються електрометричні підсилювачі з великим входним опором. Полум'яно-іонізаційний детектор входить до складу більшості вітчизняних і закордонних хроматографів.

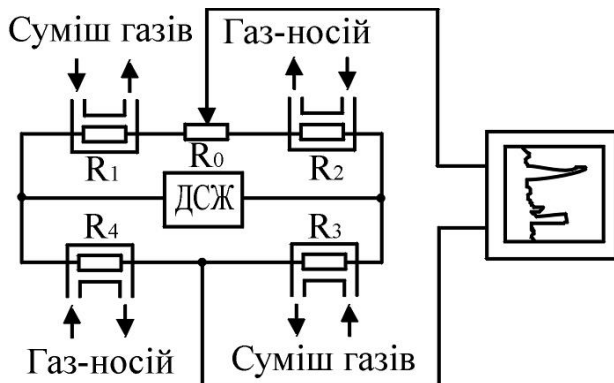


Рис. 2.83 – Принципова схема детектора за теплопровідністю (катарометра)

До групи іонізаційних належать аргонівий і гелієвий детектори, детектор по захопленню електронів та ін. Ці детектори включають джерело  $\gamma$ -випромінювання, у якості якого часто використовується тритій. В аргонівому детекторі суміш газів після розділової колонки протікає через вимірювальну камеру, камера порівняння заповнюється аргонем. При влученні у вимірювальну камеру аналізованого компонента відбувається його іонізація, супроводжувана різким зниженням опору і збільшенням струму, що протікає через вимірювальну камеру. Ця зміна струму, пропорційна концентрації аналізованого компонента, виміряється електрометричним підсилювачем.

При хроматографічному поділі зв'язок між видом компонента, його концентрацією і визначальними параметрами: часу втримання, площею піка або його висотою – встановлюється при градуюванні хроматографа. Для її проведення використовуються три методи: абсолютний, внутрішньої нормалізації і внутрішнього стандарту.

При абсолютному методі градуювальний коефіцієнт чи графік (при нелінійній характеристиці), що зв'язує площу піка або його висоту з концентрацією, визначається уведенням відомої концентрації чистих газів по всіх аналізованих компонентах.

При градуюванні за методом внутрішньої нормалізації градуювальний коефіцієнт визначається для однієї чистої речовини, для інших коефіцієнти розраховуються по співвідношенню властивостей газів, наприклад, теплопровідностей, використовуваних у детекторі. У методі внутрішнього стандарту введення в градуювальну суміш стандартної речовини використовується для розрахунку враховуючих конкретні умови роботи хроматографа виправлень до паспортних градуювальних коефіцієнтів.

### **2.5.3 Лабораторні і промислові хроматографи**

Як вітчизняна, так і закордонна промисловість випускає хроматографи, призначені для лабораторного і промислового використання. Перші, як правило, характеризуються підвищеною точністю, універсальністю, великим числом елементів і підвищенням вимог до умов експлуатації.

Промислові хроматографи звичайно мають більш вузьке призначення, а вироблюваний ними сигнал представляється у формі, зручній для використання при оперативному й автоматичному управлінні технологічними процесами.

У теперешній час випускається ряд лабораторних хроматографів: серії «Колір-100», серії ЛХМ-8МД, «Газохром 1106», «Газохром 310», ЛХМ-724, ХГ-1М, «Луч»,

«Вырухром», АК-5, АК-1. До групи промислових хроматографів належать хроматографи типів ХПА, ХТ, ХТД, РХ.

Хроматограф «Газохром 3101» належить до числа спеціалізованих і призначений для експресного визначення концентрації  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$  і вуглеводнів до  $C_4$  включно в продуктах горіння різних видів палив, що спалюються в промислових і станційних котельнях, печах та інших тепловикористовуючих установках. Відносна погрішність виміру складає  $\pm 5\%$ , тривалість аналізу досягає 10 хв. Прилад є переносним, його маса не перевищує 8 кг.

Принципова схема хроматографа «Газохром 3101» надана на рис. 2.84 Хроматограф є двопоточним з газами-носіями повітрям і аргоном. Детектор 1 є комбінованим. Плече  $R_2$  являє собою термохімічний елемент, що реагує на виділення теплоти при реакції каталітичного окислювання паливних компонентів. Плече  $R_3$  реагує на зміни теплопровідності газу. Інші плечі моста включають постійні манганінові опори  $R_1$ ,  $R_4$ . Сигнал небалансу детектора, що живиться від джерела стабілізованого живлення ДСЖ, подається на самописний потенціометр 2 КСП-4, який має діапазон виміру 0–1 мВ.

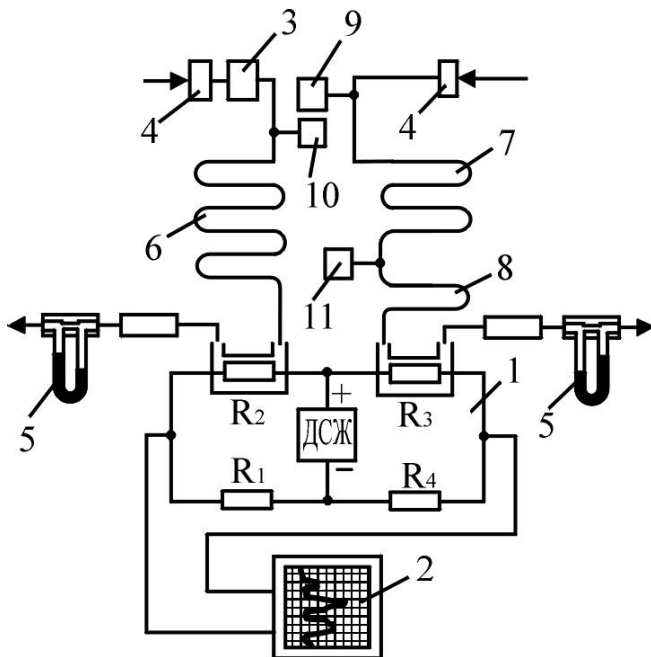


Рис. 2.84 – Принципова схема хроматографа «Газохром 3101»

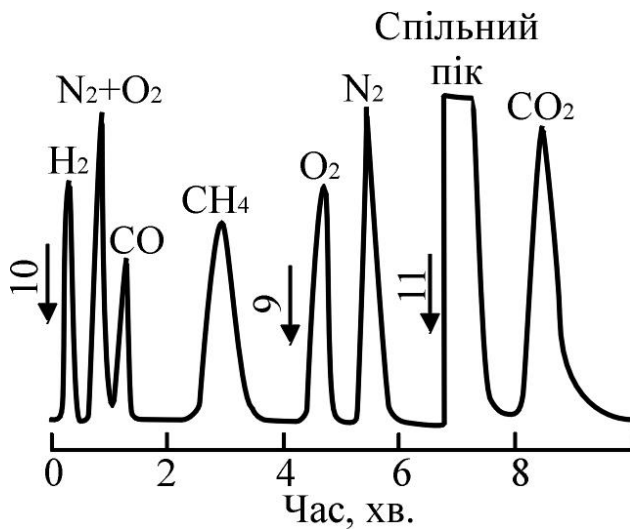


Рис. 2.85 – Зразок хроматограми хроматографа «Газохром 3101»

Повітря в хроматограф подається мікрокомпресором 3, вмонтованим у прилад, аргон береться з балона. Обидва газу-носія попередньо пропускаються через фільтри-осушувачі 4. Витрати газу-носія в обох каналах контролюються реометром 5. Поділ аналізованої суміші здійснюється за кімнатної температури. Хроматограф має чотири розділові колонки, виконані з фторопластової трубки, яка має внутрішній діаметр 3 мм при довжині 0,5–3 м. Як адсорбент у колонках 6, 8 використовуються активоване вугілля, у колонці 7 – молекулярні сита. Колонка, не показана на рисунку, заповнена силікагелем. Уведення проби дозатором здійснюється в точках 9–11.

Зазначене на рис. 2.79 компонування колонок використовується для детектування в суміші  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ . При цьому через колонку 6 протікає повітря, а через 7, 8 – аргон. Витрата кожного з газів складає  $80 \text{ см}^3/\text{хв}$ . Для визначення  $H_2$ ,  $CO$  і  $CH_4$  проба з попередньо вилученим  $CO_2$  подається в точку 10. Оскільки при цьому аналізі  $N_2$  і  $O_2$  не розділяються, проба вводиться в точку 5. Для виміру змісту  $CO_2$  проба газу вводиться в точку 11. Зразковий вид хроматограми представлений на рис. 2.85. Залежно від аналізованих газів компонування розділових колонок може мінятися.

#### **2.5.4 Електричні газоаналізатори**

В електричних газоаналізаторах концентрація того чи іншого компонента визначається за зміною електричних властивостей газової суміші або рідини, з якими прореагував обумовлений компонент. До числа найбільш розповсюджених електричних газоаналізаторів належать електрохімічні, які застосовуються для виміру мікроконцентрацій токсичних газів, що містяться в повітрі, визначення концентрації забруднюючих домішок при виробництві чистих газів.

До електрохімічних газоаналізаторів належать пристрої, у яких вихідний сигнал визначається електрохімічними явищами, що відбуваються в електродних системах, занурених в аналізований розчин. Електрохімічні методи в основному використовуються для аналізу рідин. Для аналізу газів частіше використовуються електрохімічні аналізатори вольтамперметричні і кулонометричні.

**Вольтамперметричні газоаналізатори.** Якщо в розчин електроліту занурені два електроди, до яких прикладена різниця напруг від зовнішнього чи внутрішнього джерела ЕРС, то в зовнішньому ланцюзі потече струм, обумовлений рухом іонів у розчині. При цьому в поверхні електродів збираються іони протилежного знака, створюючи у середині розчину різницю напруг  $U$ , спрямовану зустрічно діючому в ланцюзі напрузі  $E$ . Струм у ланцюзі визначається вираженням

$$I = (E - U)/R,$$

де  $R$  – опір розчину;

$U$  – різниця внутрішніх потенціалів анода  $\Phi_a$  і катода  $\Phi_k$ .

У вольтамперметричних газоаналізаторах використовується фоновий розчин електроліту, у якому при відповідному матеріалі електродів і рівні діючої напруги відбувається поляризація одного з електродів, і струм у ланцюзі за відсутності обумовленого газу практично дорівнює нулю.

За наявності аналізованого газу в ланцюзі виникає поляризаційний струм, що визначається кількістю введених у фоновий розчин молекул газу, здатних окислитися або відновлюватися на поляризованому електроді, змінюючи його потенціал. Порівняльний електрод має поверхню, у сотні разів перевищуючу поверхню вимірювального

електрода, завдяки чому його потенціал не залежить від струму, що протікає в ланцюзі.

При введенні в розчин деполяризуючого аналізованого газу на поверхні поляризованого електрода протікають наступні реакції: перенос деполяризатора з розчину на поверхню електрода, електрохімічна реакція на електроді, виділення на ньому продуктів реакції. У більшості випадків найбільш повільним процесом є перенос деполяризатора, при дифузійному підведенні якого струм у розчині визначається співвідношенням:

$$I = nFSD \left( \frac{\partial c}{\partial x} \right)_{x=0},$$

де  $n$  – число електронів, що переносяться;

$F$  – число Фарадея;

$S$  – площа електрода;

$D$  – коефіцієнт дифузії;

$\left( \frac{\partial c}{\partial x} \right)_{x=0}$  – просторовий градієнт концентрації в

поверхні електрода.

Згідно наведеного виразу струм у розчині зростає зі збільшенням концентрації деполяризуючої речовини і площі електрода. Зниження товщини дифузійного шару внаслідок перемішування електроліту також приводить до росту струму.

Збільшення діючої в ланцюзі напруги викликає пропорційне збільшення струму, але в обмежених межах, обумовлених залученням в електродний процес усіх прилеглих деполяризуючих часток. Сталий струм, називаний дифузійним, визначається швидкістю дифузії часток із глибини розчину.

Графік залежності струму від прикладеної напруги називається поляризаційною кривою. Її характер при заданому типі електродів і фоновому електроліті визначається видом газу, а дифузійний струм  $I_d$  – його концентрацією. Графік поляризаційної кривої, представлений на рис. 2.86, має форму хвилі. Напівхвильовий потенціал, що відповідає половині дифузійного струму, не залежить від концентрації і є характеристикою деполаризатора. Таким чином, у вольтамперметричних газоаналізаторах струм, що протікає в зовнішньому ланцюзі, що є вихідним сигналом аналізатора, однозначно визначається концентрацією обумовленого газу.

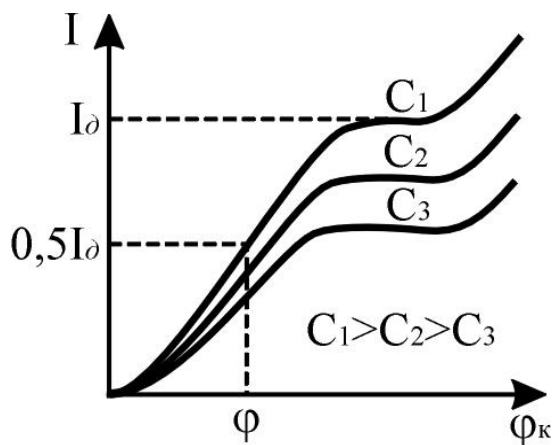


Рис. 2.86 – Графіки поляризаційних кривих

Якщо як вимірювальний електрод використовується ртуть, прилади називаються полярографічними аналізаторами чи полярографами.

При вимірах концентрації кисню в чистих газах як поляризований електрод використовується катод, фоновим електролітом служить розчин кислоти. Підведення аналізованого газу здійснюється таким чином, щоб між



концентраціями кисню в газах і електроліті встановлювалася рівновага. Кисень, будучи активним деполаризатором, відновлюється на катоді до перекису водню, викликаючи проходження поляризаційного струму.

При аналізі вмісту  $\text{SO}_2$  у технічних газах для виключення впливу кисню як поляризований електрод використовується анод, на якому  $\text{SO}_2$  окисляється з утворенням сірчаної кислоти.

**Кулонометричні газоаналізатори.** Кулонометричні газоаналізатори засновані на вимірі кількості електрики, витраченої при електролізі. Відповідно закону Фарадея для виділення при електролізі кількості речовини  $G$  необхідно через розчин пропускати струм  $I$  протягом часу  $t$ :

$$G = Mit/(96\ 492n),$$

де  $M$  – молекулярна маса окисленої чи відновленої речовини;

$n$  – число електронів, що беруть участь в електродному процесі.

Речовина, що виділилася при електролізі, зв'язується без залишку з аналізованим компонентом газової суміші, завдяки чому мірою концентрації останнього служить струм, що протікає,  $I$ . Останній регулюється таким чином, щоб забезпечувалася нейтралізація розчину.

Кулонометричні газоаналізатори завдяки використанню компенсаційного методу виміру забезпечують високу точність виміру, їх показання не залежать від вологості газу, його тиску і температури, параметрів навколишнього середовища.

Вітчизняною промисловістю випускаються кулонометричні газоаналізатори «Атмосфера 1» і «Атмосфера 2», призначені для виміру змісту в повітрі мікроконцентрацій  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{O}_3$ .

### **2.5.5 Експлуатація і перевірка газоаналізаторів**

Якість і надійність роботи промислових газоаналізаторів значною мірою залежать від способу добору проби і дотримання вимог до характеристик газу, що надходить у приймач газоаналізатора. Ці вимоги відносяться до температури, тиску, витрати і вологості газу, наявності в ньому механічних, агресивних та інших домішок.

Проба газу, що відбирається, повинна бути представницькою, тобто за своїм складом відповідати усередненому складу газів у відповідних перетинах технологічних об'єктів. У зв'язку з цим добір проб із трубопроводів повинен здійснюватися в перетинах зі сталим потоком, вилучених від місцевих опорів. Не рекомендується робити добір з нижніх точок трубопроводу, у яких можуть збиратися механічні домішки і волога. Якщо гази містять частки золи, вугільний та інший пил, то для добору проби використовуються керамічні фільтри, що вводяться у вимірюване середовище. Поблизу точок добору не повинне бути введення технологічних потоків, що створюють просторовий градієнт концентрацій, а також пристроїв, через які можливе підсмоктування повітря або інших газів. Так, при аналізі топкових газів на зміст  $O_2$ , що характеризує надлишок подаваного в топку повітря, добір проби виробляється з труби, яка шунтує конвективні поверхні нагрівання. Гази в трубу надходять після пароперегрівника, а повертаються в газохід після повітропідігрівника. При цьому підсмоктування повітря, що мають місце в конвективних поверхнях нагрівання, не впливають на склад аналізованого газу.

Для підготовки проби газу та її транспортування через газоаналізатор використовуються допоміжні пристрої, що, виходячи з їх функцій, розділяються на газовідбірні, редуруючі, охолодні, очисні, просмоктуючі та ін. Набір цих пристроїв, які входять до складу газоаналізатора, залежить від типу останнього, складу і параметрів аналізованого газу.

Як приклад на рис. 2.87 представлена схема установки приймача киснеміра.

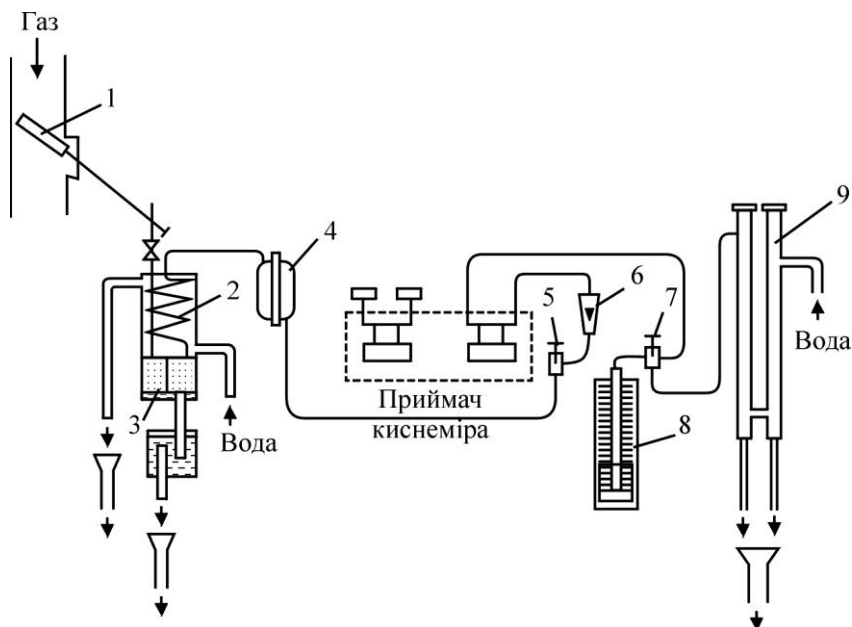


Рис. 2.87 – Схема установки приймача киснеміра МН

Найбільш розповсюдженим пристроєм, використовуваним для добору проби, є керамічний фільтр 1. Він вводиться в потік газу, що має температуру до  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , вміст пилу до  $20\text{ г/м}^3$ , і може забезпечити витрати газу через установку до  $0,8\text{ л/хв}$ . При використанні водяного охолодження фільтра температура газів у точці добору може досягати  $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Нижня границя температур газів у крапках добору визначається можливістю утворення при конденсації рідких часток, що забивають пори фільтра. Для захисту від механічного стирання частками золи керамічний фільтр 1 закривається сталевим щитком.

Нахил газовідводної трубки забезпечує відтік конденсату, а наявність на її кінці пробки – можливість

періодичної продувки фільтра, що здійснюється стисненим повітрям при закритому крані.

При підвищених температурах газів газоаналізатор забезпечується холодильником 2, який забезпечує також зниження вологості аналізованого газу. Конструкція холодильника залежить від температури і складу газу. При температурі газів 400 – 600 °С використовуються прямоканальні холодильники, у яких охолодна вода зовні омиває трубку, по якій протікає газ. У змієвикових холодильниках трубка згорнута спіраллю. У нижній частині холодильника є порожнина для збору конденсату 3, що зливається в дренаж з використанням гідрозатвора. У холодильнику 2, зображеному на рис. 2.82, використовується комбінований охолоджувач, нижня його частина, заповнена залізними стружками, служить для збору конденсату і видалення сірчистого газу.

Установки газоаналізаторів звичайно містять декілька фільтрів, призначених для очищення газу від механічних часток, крапельок вологи і невизначених компонентів. Так, установка, представлена на рис. 2.82, крім керамічного фільтра 1 для видалення дрібних механічних часток містить у собі полотняний фільтр тонкого очищення 4, що завдяки прозорій кришці служить також у якості контрольного.

Для осушки газу використовуються фільтри, заповнені гранулами хлористого кальцію, чи силікагелі. Видалення невизначених компонентів здійснюється хімічними фільтрами або за допомогою печей допікання. Для поглинання сірководню фільтр заповнюється болотною рудою, двоокис вуглецю видаляється поглиначем ХПІ, а хлор – активованим вугіллям. Водень спалюється в електричних печах допікання.

На рис. 2.87 елементи 5–9 призначені для просмоктування газу через установку, контролю і підтримання сталості його витрат і тиску. Ротаметром 6 виміряється витрата газу, регульована вентилем 5.

Необхідне розрідження в лінії устанавлюється вентилем 7 і контролюється рідинним дифманометром 8 чи мембранним тягоміром. Водоструминний ежектор 9 служить побудником витрати, у якості останнього можуть використовуватися також відцентрові, пластинчасті та інші електронасоси.

Перераховані допоміжні елементи типізовані і входять до складу блоків регулювання і фільтрації типу Б, модифікації яких розрізняються набором фільтрів. Витрата газу через блок регулювання і фільтрації досягає 8 л/хв.

Для газоаналізаторів, що працюють у системах автоматичного регулювання, важливою характеристикою є запізнювання показань. Для того щоб у газоаналізатора показання нової концентрації встановилися в межах основної погрішності, необхідна в середньому двох-п'ятикратна зміна внутрішнього об'єму в установці від точки добору тиску до приймача. У зв'язку з цим останні разом з допоміжними пристроями розміщують поблизу технологічних об'єктів. Для зменшення запізнювання показань використовується підвищення швидкості аналізованого газу в лініях за рахунок байпасування приймача газоаналізатора. Скорочення довжини газових ліній і зменшення запізнювання може бути отримане також за рахунок добору газу з петель, які шунтують ділянки технологічних об'єктів.

Перевірка показань газоаналізаторів здійснюється за допомогою зразкових газових сумішей, укладених у балони і прикладених до газоаналізаторів.

## РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

На практиці, при автоматизації виробничих процесів, використовуються різні електронні прилади контролю і регулювання технологічних параметрів, але для контролю і регулювання температури найчастіше застосовують електронні автоматичні мости і потенціометри. Слід особливо зазначити можливість використання цих приладів у схемах автоматичного захисту.

### 3.1 Електронний автоматичний урівноважений міст

Урівноважений міст призначений для безперервного виміру, запису та регулювання температури через зміну електричного опору. Він працює в комплекті з термометрами опорів стандартних градувань, тобто має відповідність заданої межі виміру – градування термометра опорів. Це означає, що кожному приладу відповідає певна група термометрів опорів єдиного градування. Сутність дії термометрів опору заснована на залежності його електричного опору від температури.

Принципова вимірювальна схема розглянутого приладу – мостова. Виміри неелектричних величин електричними методами дуже широко поширені в електротехніці й автоматичці. Слід зазначити, що мостова вимірювальна схема використовується більше 100 років, а можливість виміру і фізична сутність роботи її вперше розглянуті в роботах французького дослідника Шарля Крісті (1833 р.) і приблизно в ці ж роки англійським дослідником Уїнстоном.

За принципом дії механічним аналогом мосту Уїнстона є аптекарські важільні ваги.

Різноманіття мостових схем базується на класичній мостовій схемі, що являє собою кільце опорів (рис. 3.1). Опори з'єднані так, що утворюють вершини моста  $a$ ,  $b$ ,  $c$  і  $d$ , діагональ живлення  $ac$  і діагональ виміру  $bd$ .

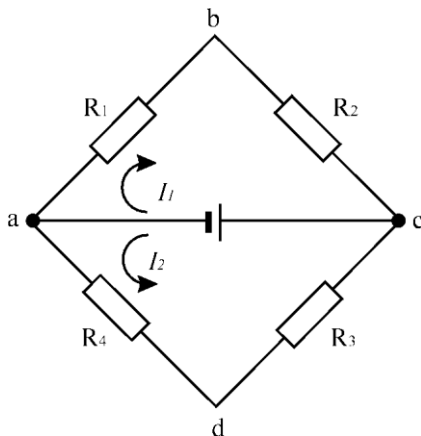


Рис. 3.1 – Схема рівноважного моста:

$R_1, R_2, R_3, R_4$  – резистори;  $ac$  – діагональ живлення;  $bd$  – діагональ виміру

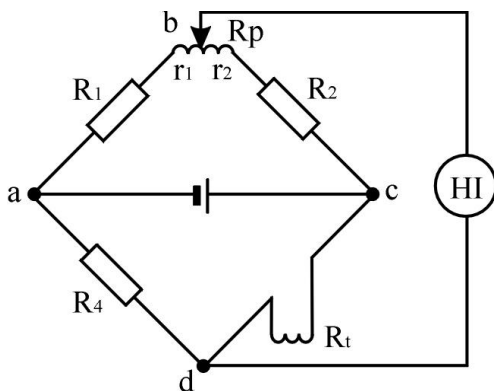


Рис. 3.2 – Вимірювальний міст:

$R_p$  – реохорд; HI – нуль-індикатор

Вимір заснований на дотриманні певного співвідношення між опорами (плечима) мосту, називаного умовою рівноваги.

Під умовою рівноваги мається на увазі таке співвідношення опорів мосту, при яких на вершинах вимірювальної діагоналі різниця потенціалів  $U_{bd} = 0$  і в

ланцюзі виміру відсутній вихідний сигнал. Стану  $U_{bd} = 0$  відповідає рівність падінь напруг відповідно в прилеглих плечах, тобто

$$U_1 = U_4; U_2 = U_3 \quad (3.1)$$

За законом Ома

$$U_1 = J_1 R_1; U_2 = J_1 R_2; U_3 = J_2 R_3; U_4 = J_2 R_4. \quad (3.2)$$

Підставляючи в рівність падінь напруг (3.1) їх значення, виражені через струми й опори (3.2), і поділивши почленно, одержимо:

$$\frac{J_1 R_1}{J_1 R_2} = \frac{J_2 R_4}{J_2 R_3} \quad (3.3)$$

або, скоротивши значення струмів  $J_1$  і  $J_2$ , маємо рівність:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4, \quad (3.4)$$

яке називається класичною умовою рівноваги мостової схеми, що читається так: «Якщо добуток опорів протилежних плечей мостової схеми рівні між собою, то на вершинах вимірювальної діагоналі відсутня різниця потенціалів». Цей метод називається нульовим методом виміру опорів.

Принципова схема рівноважного моста наведена на рис. 3.2.

Мідний чи платиновий термометр опору  $R_t$ , величина електричного опору якого повинна бути обмірювана, включається в одне з плечей моста за допомогою сполучних проводів, що мають опори  $R_d$ . Інші плечі моста складаються з постійних манганінових опорів  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_4$  і перемінного каліброваного опору реохорда  $R_p$ , виконаного також з



манганіну. До однієї діагоналі моста підведене живлення постійного або перемінного струму, в іншу включений нуль-індикатор. При рівновазі моста задовольняється рівність:

$$R_1 R_t = R_2 R_4, \quad (3.5)$$

відкіля з урахуванням опорів реохорда  $r_1$  і  $r_2$  запишемо:

$$(R_1 + r_1) R_t = (R_2 + r_2) R_4. \quad (3.6)$$

У цьому випадку різниця потенціалів між точками  $b$  і  $d$  дорівнює нулю, струм не протікає через нуль-гальванометр і його стрілка установиться на нульовій позначці. При зміні температури величина електричного опору термометра зміниться і міст розбалансується. Щоб відновити рівновагу, необхідно за постійних опорів  $R_1$ ,  $R_2$  і  $R_4$  змінити величину опору реохорда, перемістивши його рухливий контакт.

Таким чином, якщо відкалібрувати опір реохорда, то за положенням його движка при рівновазі моста можна судити про величину опору  $R_t$ , отже, про вимірювану температуру.

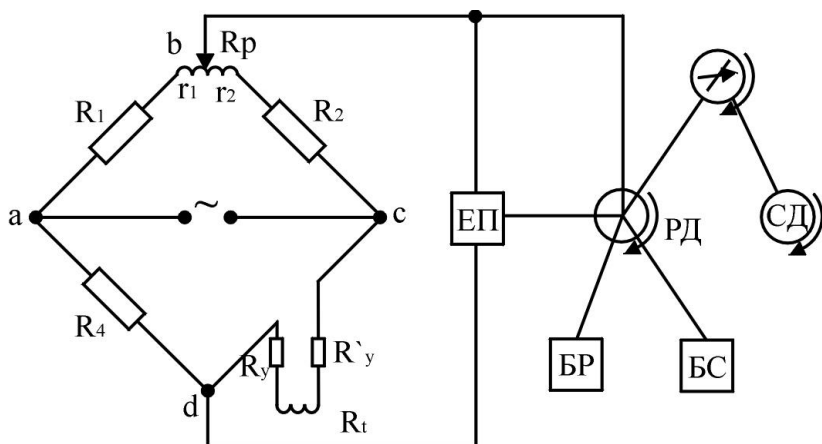


Рис. 3.3 – Схема рівноважного електронного моста:

де ЕП – електронний підсилювач; РД – реверсивний двигун;  
СД – синхронний двигун

Розглянемо принципову схему автоматичного електронного самописного рівноважного моста перемінного струму (рис. 3.3). За зміни температури середовища, у якій знаходиться термометр опору  $R_t$ , зміниться температура термометра  $t$ , отже, величина його електричного опору. При цьому вимірювальний міст, що складається з постійних та перемінних опорів ( $R_1$ ,  $R_2$  і  $R_4$ ) і живиться (6,3 В) від однієї з обмоток силового трансформатора, розбалансується, і в діагоналі моста між точками  $b$  і  $d$  з'явиться напруга небалансу  $U_{bd}$ . Остання подається на вхід електронного підсилювача ЕП, де підсилюється по напрузі і потужності, потім надходить на реверсивний двигун РД і надає руху його ротору. Обертаючи в той чи інший бік, залежно від знака розбалансу, ротор реверсивного двигуна переміщає механічно з ним зв'язаний движок реохорда  $R_p$ , стрілку і перо по шкалі приладу доти, поки вимірювальний міст не прийде в стан рівноваги. Напруга на вході електронного підсилювача ЕП в цьому випадку стане рівною нулю, електродвигун РД зупиниться, а прилад покаже вимірювану температуру.

Точність показань приладу залежить від припасування опорів проводів, що з'єднують термометр опору з автоматичним рівноважним мостом. Для припасування опорів сполучних проводів до градуювального значення служать опори  $R_y$  і  $R'_y$  величиною до 2,5 Ом кожний. При градуюванні приладів опір кожного проводу, що йде від термометра до приладу, прийнятий  $2,5 \pm 0,01$  Ом. Якщо опір кожного проводу буде менший 2,5 Ом, то в сполучну лінію послідовно включається додатковий опір, що доповнює опір кожного проводу до 2,5 Ом.

У виробничих умовах термометр опору може знаходитися на значному видаленні від вторинного приладу,

при коливаннях температури середовища величина їх опору буде змінюватися, що приведе до додаткової погрішності в показаннях автоматичного рівноважного моста. Для усунення зазначеної погрішності застосовується трьохдротова схема з'єднань термометра опору з вторинним приладом, яка полягає в тому, що точка С (рис. 3.4) переноситься безпосередньо до термометра опору. При такому з'єднанні опір проводу  $R_{11}$  додається до плеча вимірювального моста, а опір  $R_{12}$  – до плеча з постійним опором. Тоді умова рівноваги мостової схеми буде мати вигляд:

$$(R_1 + r_{R_1})(R_t + R_{11}) = (R_2 + r_{R_2} + R_{12})R_4. \quad (3.7)$$

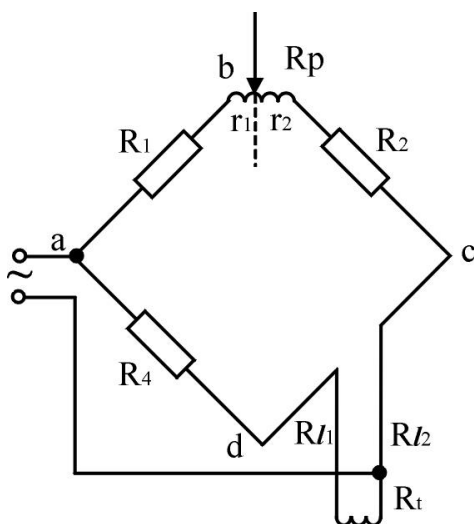


Рис. 3.4 – Трьохдротова схема включення термометра опору

Вимірювальна схема автоматичного рівноважного моста може також живитися від сухої батареї постійного струму або від акумулятора з напругою 1,2–1,5 В. У такому випадку електронний підсилювач приладу повинен мати

віброперетворювач для перетворення сигналу небалансу постійного струму на перемінний з метою його наступного посилення.

У зв'язку з цим рівноважні мости постійного струму застосовуються з можливою появою у вимірювальному ланцюзі різних наведень (наприклад, при монтажі термометра опору в електropечax чи місцях з великими магнітними полями). Крім того, мости постійного струму використовують у тих випадках, коли за умовами експлуатації приладів і пожежної безпеки їх живлення здійснюється малопотужними джерелами постійного струму.

Конструктивно автоматичний самописний рівноважний міст являє собою стаціонарний прилад, усі вузли якого розміщені у середині сталевого корпусу. Запис показань здійснюється на діаграмному папері, який переміщується синхронним двигуном.

Промисловість випускає автоматичні рівноважні мости, які показують і записують на дисковій діаграмі; мости КСМ2, КСМ3, КСМ4, які показують і записують на стрічковій діаграмі; мости, що показують, з обертовою шкалою, та інші модифікації. Принципові схеми їх подібні розглянутій схемі автоматичного рівноважного моста і відрізняються вони одна від одної тільки конструкцією окремих вузлів.

Однак розглянутий вище тип електронного приладу має і ряд недоліків:

- малий діапазон виміру температури (до 600°C);
- термометр опору, встановлюваний у технологічних апаратах, повинен розміщатися в об'ємі продукту;
- вторинний прилад не має спеціальних засобів вибухозахисту і встановлюється тільки в приміщеннях КВПіА.

### 3.2 Електронний автоматичний потенціометр

Електронний автоматичний потенціометр призначений для виміру, запису і регулювання температури. Працює він у комплекті з термопарами стандартних градувань, застосовується для виміру температур від  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $2000^{\circ}\text{C}$ . Як конструкційні матеріали для електродів термопари використовуються: залізо-копель, копель-алюмель, хромель-алюмель, платина-платинородій та ін. Залежність термоелектрорушійної сили (ТЕРС) від зміни температури носить лінійний характер.

В електронних потенціометрах застосовується потенціометричний (компенсаційний) метод виміру, який заснований на зрівноважуванні (компенсації) вимірюваної ТЕРС відомою різницею потенціалів, утвореною допоміжним джерелом живлення.

З принципової схеми (рис. 3.5) видно, що термопара підключена так, що її струм на ділянці  $R_{\text{АД}}$  йде в тому ж напрямку, що і від джерела живлення Б, а різниця потенціалів між точкою А і будь-якою проміжною точкою Д пропорційна опору  $R_{\text{АД}}$ .

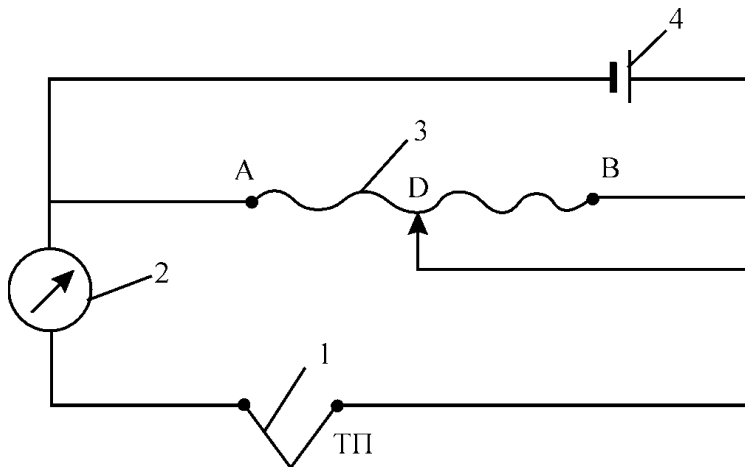


Рис. 3.5 – Принципова схема компенсаційного методу виміру:

1 – термопара; 2 – вимірювальний прилад; 3 – реохорд; 4 – джерело живлення

Пересуваючи рухливий контакт Д за умови, що  $E_{ТП} < E_B$ , можна знайти таке його положення, при якому струм у ланцюзі термопари буде дорівнювати 0, тобто ТЕРС термопари може бути обмірювана величиною спадання напруги на ділянці опору  $R_{AD}$ . Схема такого виду широко використовується для виміру температури в переносних приладах.

Недолік розглянутої схеми полягає в тому, що ТЕРС залежить від сталості струму в ланцюзі реохорда.

Варіювання робочого струму в ланцюзі реохорда може вносити погрішності в результати виміру. Установку необхідної величини робочого струму і контроль його сталості роблять також компенсаційним методом (рис. 3.6).

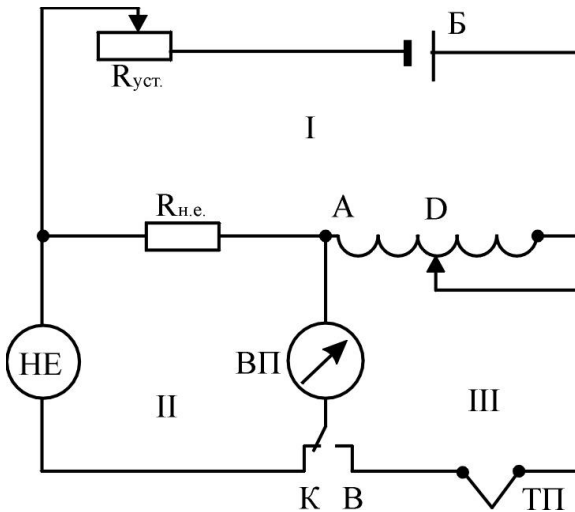


Рис. 3.6 – Принципова схема контролю робочого струму

Схема має три ланцюги:

– ланцюг джерела струму (джерело струму Б, настановний опір, постійний опір, реохорд із рухливим контактом Д);

– ланцюг нормального елемента (нормальний елемент НЕ, постійний опір, вимірювальний прилад ВП);

– ланцюг термопар (термопара ТП, вимірювальний прилад ВП, частина перемінного опору реохорда).

У режимі контролю перемикач встановлюють у положення К, підключаючи нормальний елемент до кінців опору  $R_{HE}$  (ЕРС джерела живлення Б спрямована назустріч ЕРС нормального елемента). При зниженні величини робочого струму його регулюють настановним опором і домагаються такого положення, при якому різниця потенціалів на кінцях опору  $R_{HE}$  не стане дорівнювати ЕРС нормального елемента. Струм у ланцюзі вимірювального приладу стане рівним нулю. Якщо  $R_{уст}$  не вдається встановити робочий струм, то батарею замінюють. У режимі виміру перемикач встановлюють у положення В, підключаючи тим самим термопару послідовно з нормальним елементом, реохордом у точці А та рухливим контактом Д. ТЕРС термопар в цьому випадку буде спрямована в протилежний бік ЕРС джерела Б. Переміщаючи контакт Д, знаходять таке його положення, при якому різниця потенціалів між точкою А та контактом Д реохорда дорівнює ТЕРС термопар.

У приладах серії ГСП живлення вимірювальної схеми здійснюється стабілізованим джерелом, що спрощує конструкцію та експлуатацію.

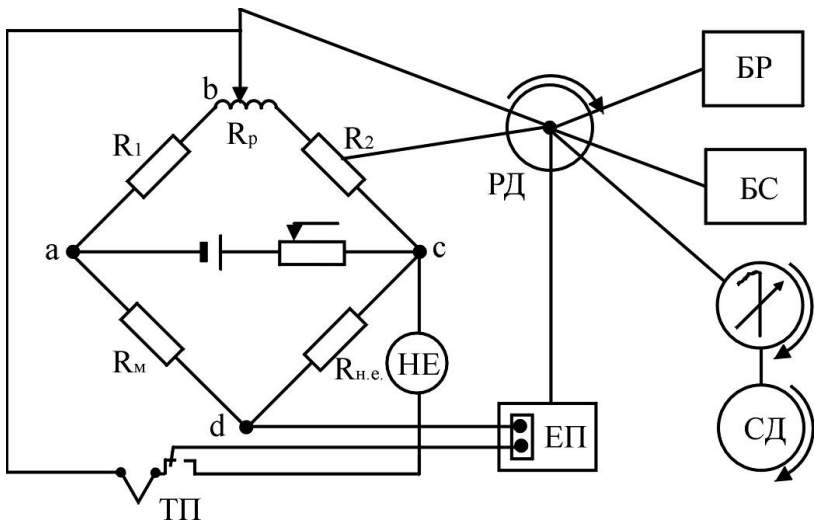


Рис. 3.7 – Принципова схема електронного потенціометра:

HE – нормальний елемент; РД – реверсивний двигун; БР – блок регулювання; БС – блок сигналізації

Розглянуті вище схеми реалізуються в електронних автоматичних стаціонарних потенціометрах (рис. 3.7).

На відміну від лабораторних переносних приладів движок реохорда автоматичних електронних потенціометрів переміщається не вручну, а автоматично за допомогою спеціального пристрою. При цьому нульовий прилад, який показує небалансовий струм вимірювального ланцюга потенціометра,

замінений електронним нуль-індикатором, що складається з електронного підсилювача і реверсивного двигуна. За зміни ТЕРС термопари в ланцюзі з'являється постійна напруга небалансу, яка перетворюється і підсилюється до величини достатньої для обертання ротора реверсивного двигуна.

Останній за допомогою кінематичного механізму переміщає движок реохорда залежно від знака напруги небалансу в той чи інший бік, автоматично врівноважуючи



вимірювальну схему. Одночасно з движком реохорда переміщуються стрілка, що показує, і записуюче перо. У потенціометрі використовується мостова вимірювальна схема, яка забезпечує високу точність і чутливість приладу та дозволяє автоматично уводити виправлення на зміну температури холодних спаїв термопари, а також легко змінювати межі виміру і градування шкали приладу.

Всі опори вимірювальної схеми потенціометра, крім  $R_M$  (рис. 3.7), виконані з манганіну. Опір  $R_M$  і холодні спаї термопари повинні знаходитися при однаковій температурі і розташовуватися поруч із клемами для включення термопари.

Вимірювана ЕРС термопари компенсується спаданням напруги на опорі  $R_p$ , величина якого залежить від положення движка реохорда. Якщо ЕРС термопари не дорівнює падінню напруги на зазначених опорах, то різниця напруг, що з'являється на вершинах вимірювального моста  $b$  і  $d$ , подається на каскад перетворення, який складається з вібраційного перетворювача і вхідного трансформатора.

У каскаді перетворення постійний струм напругою біля кількох мілівольтів перетворюється на перемінний. Далі перемінний струм підсилюється за напругою і потужністю до значення, достатнього для обертання реверсивного двигуна.

Реверсивний двигун обертається по годинниковій стрілці або проти неї (залежно від знака розбалансу), пересуває движок реохорда і тим самим устанавлюється рівновага вимірювальної схеми. При цьому напруга вимірювальної схеми, що компенсує, за зміни температури змінюється на таку ж величину, як і ЕРС термопари, але зі зворотним знаком. За рівноваги вимірювальної схеми реверсивний двигун обертатися не буде, тому що на вхід каскаду перетворення напруга не подається.

Для усунення перешкод, що виникають у ланцюзі термопари, на вхід потенціометра підключений фільтр, який складається з опорів і конденсаторів.

Конструктивно потенціометр являє собою стаціонарний прилад, усі вузли якого розміщені у середині сталевого корпуса.

Автоматичні потенціометри, що випускаються промисловістю, мають однакову принципову вимірювальну схему, але різноманітне конструктивне виконання. Вони відрізняються за габаритами, типом діаграми, градуванням, межами виміру, видами додаткових пристроїв тощо. На даний час переважно випускаються вхідні в систему ГСП автоматичні потенціометри серії КС: КСП1, КСП2, КСП3, КСП4, а також КПП1, КВП1, ПСМ2.

### **3.3 Багатотокові мости і потенціометри**

Автоматичні мости і потенціометри з дисковою діаграмою служать для виміру, запису і регулювання температури в одній точці. При вимірі в двох, трьох і більше точках застосовуються кілька одно точкових приладів. Це здорожує технологічну установку, ускладнює обслуговування й утрудняє зіставлення результатів видаваної інформації.

Запис у полярних координатах менш наочна, а швидкість обертання діаграми постійна і відносно мала. Прилади з обертовою шкалою і шкалою, що показує, не передбачають запису.

З метою виключення цих недоліків застосовуються багатоточечні прилади з записом на стрічковій діаграмі. Вони призначені для виміру, регулювання і запису температури в 3, 6, 12, 24 точках.

Принципові вимірювальні схеми багатоточечних автоматичних мостів і потенціометрів не відрізняються від вимірювальних схем однотоочечних приладів. На відміну від однотоочечних приладів багатоточечні мають відповідне число чутливих елементів (ТС або ТП 3, 6, 12, 24 ...), що за допомогою багатопозиційного двополюсного перемикача по черзі

включаються у вимірювальну схему і вимірюють зміну параметра у відповідній точці.

Двохполюсний багатопозиційний перемикач конструктивно виконаний з кількох пар нікелевих ламелей із двома струмозйомними кільцями, включеними в мостову схему. Схема електроз'єднань визначається кількістю точок виміру (1, ..., n). З'єднання панелей з струмозйомними кільцями здійснюється за допомогою рухливих срібних контактів на обіговому пристрої.

Багатопозиційний перемикач може бути використаний у системах автоматичного контролю опитувального типу (рис. 3.8).

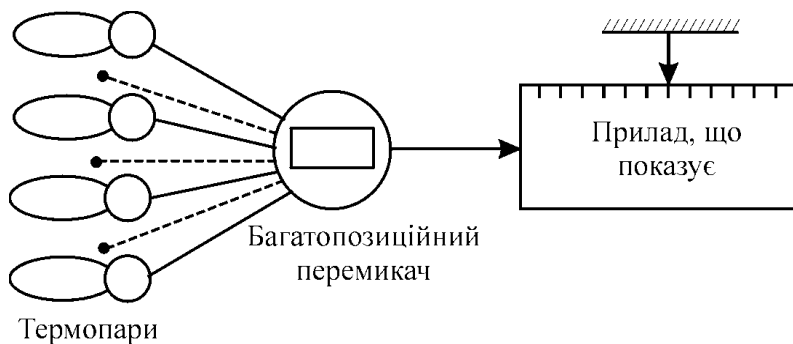


Рис. 3.8 – Система автоматичного контролю опитувального типу

Більш широке застосування він знайшов в автоматичних багатоточкових приладах. Багатоточковий електронний автоматичний міст (рис. 3.9) забезпечує вимір температури по черзі в кожному з термометрів опорів, що підключаються багатопозиційним перемикачем. Переміщення обігового пристрою на включення термометрів опорів здійснюється автоматично синхронним

двигуном. При включенні кожного з термометрів опорів вимір здійснюється, як одноточковим приладом. Деяка відмінність спостерігається в роботі системи видачі інформації, обумовлена особливістю її конструкції:

- шкала лінійна і відлік здійснюється після зрівноваження системи по розташуванню стрілки, що показує;

- запис здійснюється періодично відповідно заданого часу циклу виміру (1, 3, 5, 10, 25 с) друкуючою кареткою;

- друкуюча каретка на профільній діаграмній стрічці друкує символ (1; 2 ...), що означає точки відліку температури і номер датчика.

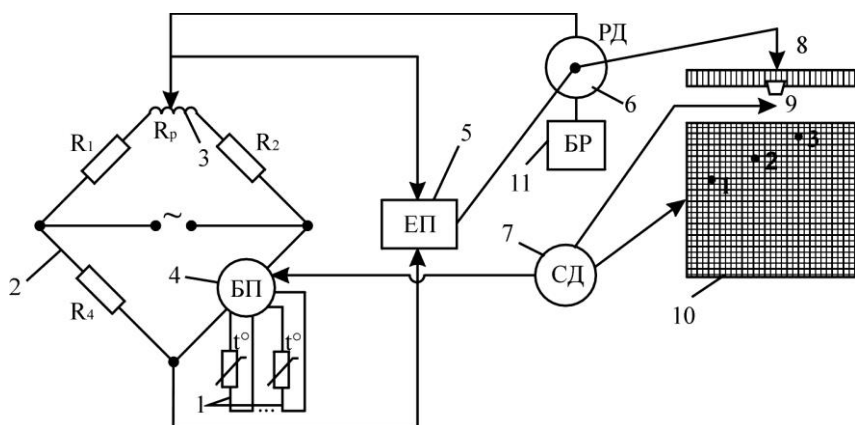


Рис. 3.9 – Принципова схема багатоточкового електронного автоматичного моста:

1 – термометр опорю; 2 – вимірювальний міст; 3 – реохорд; 4 – багатопозиційний перемикач; 5 – електронний підсилювач; 6 – реверсивний двигун; 7 – синхронний двигун; 8 – шкала відліку; 9 – друкуюча каретка; 10 – діаграмна стрічка

Автоматичні багатоточкові потенціометри мають як датчики – термопари, а метод виміру потенціометричний. Незважаючи на очевидні достоїнства цих приладів і широку

поширеність їх у практиці автоматизації періодичність виміру температури і відповідно відсутність в оператора інформації в визначений час накладає обмеження на їх впровадження для автоматичного захисту швидко рухливих пожежо- та вибухонебезпечних технологічних процесів.

### **3.4 Електронні диференційно-трансформаторні прилади**

Електронні диференційно-трансформаторні прилади призначені для автоматичного виміру, запису і регулювання різних неелектричних величин (тиску, розрядження, рівня, витрат тощо), зміна яких може бути перетворена за допомогою чутливих елементів (мембран, сильфонів, дифманометрів, поплавців та ін.) на лінійне переміщення. Прилади цього типу працюють у комплекті з індукційним датчиком, що забезпечує перетворення неелектричної величини на електричну. Датчик з чутливим елементом монтується в об'єкті, на якому здійснюється автоматичний контроль чи регулювання. Вимірювальний пристрій приладу виконаний за диференційно-трансформаторною (індукційною) схемою (рис. 3.10), яка складається з двох індукційних котушок, включених відповідним чином в одну схему і розташованих одна в індукційному датчику, інша – у приладі.

Кожна котушка має по одній первинній і вторинній обмотці. Первинна обмотка живиться перемінною напругою 33 В від трансформатора підсилювача.

Вторинні обмотки виконані у вигляді двох секцій, кожна з яких розташована на половині всієї довжини котушки і має однакову кількість витків. Кінці кожної секції вторинної обмотки з'єднані між собою так, що ЕРС, яка індукується в одній із секцій, має напрямок, зворотній ЕРС, яка індукується в іншій. У середині кожної котушки є сердечник, виконаний з м'якого заліза, довжина якого менше котушки, що забезпечує можливість його переміщення.

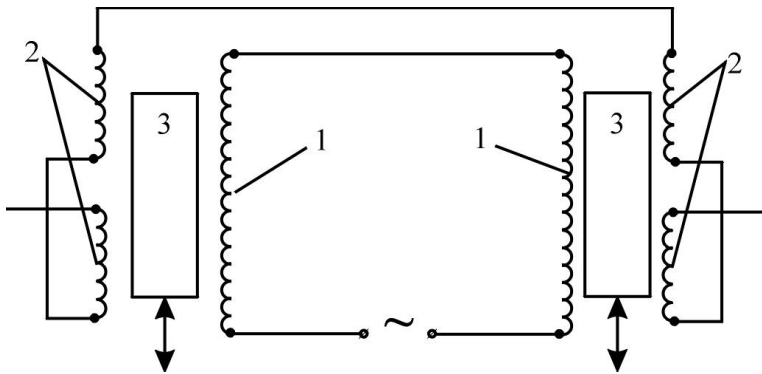


Рис. 3.10 – Індукційна схема виміру:

1 – первинна обмотка; 2 – вторинна обмотка; 3 – сердечник

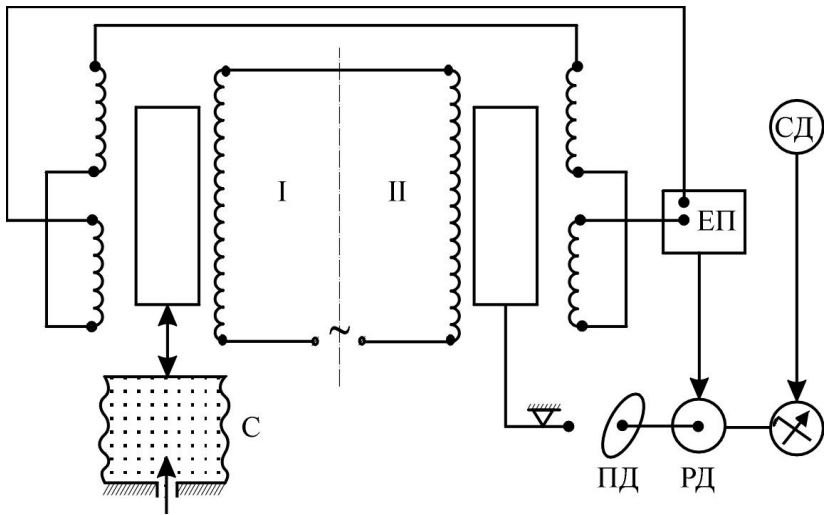


Рис. 3.11 – Принципова схема електронного приладу з індукційною схемою:

С – силфон; ПД – профільований диск; РД – реверсивний двигун; СД – синхронний двигун

Коли сердечник знаходиться в котушці в середньому положенні, ЕРС, що індукується в кожній із секцій, рівні,

спрямовані назустріч одна одній і взаємно компенсуються. Між початками вторинних обмоток напруги не буде, оскільки обидві котушки з'єднані послідовно і вироблювані в них ЕРС спрямовані також назустріч одна одній, то й результуюча різниця напруги на вихідних затискачах виміральної схеми електрично урівноважена. Якщо ж сердечник зміститься від середнього положення під впливом чутливого елемента (унаслідок зміни регульованої величини), то магнітний потік, що пронизує вторинну обмотку, виявиться різним для секцій, у результаті чого ЕРС, що індукуються в них, не будуть рівні (ЕРС однієї збільшується, другої зменшується). Фаза і величина результуючої ЕРС залежить від напрямку зсуву сердечника. При змінах положень сердечників у котушках I і II з'явиться напруга небалансу, яка подається на вхід електронного підсилювача (рис. 3.11).

Посилений сигнал подається на обмотку управління реверсивного двигуна, ротор якого, обертаючись, пускає в хід укріплений на його осі профільований диск і сердечник котушки II у бік зменшення неузгодженості доти, поки ЕРС I і II котушок не будуть рівні. Одночасно реверсивний двигун пускає в хід стрілку, що показує, і записуюче перо. Синхронний двигун спричиняє обертання діаграми.

Промисловістю випускаються електронні потенціометри індукційної дії з записом на дисковій діаграмі зі шкалою, що показує, нормального або тропічного виконання: КСД1, КСД2, КСД3, КВПД (із серії ГСП).

## РОЗДІЛ 4. АВТОМАТИЧНІ СИСТЕМИ ВИБУХОЗАХИСТУ

### 4.1 Загальні відомості про системи вибухозахисту

Для захисту від вибухів використовуються автоматичні системи придушення вибухів (АСПВ).

АСПВ призначені для вибухозахисту технологічного устаткування (у якому є замкнуті об'єми, що містять пальні суміші), яке експлуатується у різних галузях промисловості, за винятком виробництв вибухових речовин і боєприпасів.

У хімічній промисловості застосовується система елементів активного вибухозахисту „Щит”, на прикладі якої розглянемо принципи побудови аналогічних за призначенням систем.

Система елементів активного вибухозахисту (СЕАВ) „Щит” – це функціонально повний набір типових елементів із взаємно погодженими вхідними і вихідними параметрами, який дозволяє компонувати АСПВ для вибухозахисту виробництв із будь-якою кількістю вибухонебезпечного технологічного устаткування.

АСПВ постійно працюють у режимі очікування і приводяться у дію при спалаху середовища в одному з технологічних апаратів, що захищаються, здійснюючи активне придушення і локалізацію вибуху на ранній стадії його розвитку.

До складу СЕАВ „Щит” входять вибухореєструюча апаратура і виконавчі пристрої.

До складу вибухореєструючої апаратури входять: блок керування БК-2, індикатор вибуху ІВ-1, сигналізатор полум'я „Сиріус” і пристрій командний ПК-1.

Виконавчими пристроями, що входять до складу СЕАВ „Щит”, є: гідрогармати (ГПФ-5, ГПФ-10), полум'япридушувачі порошкові (ПП-5, ПП-10), зрошувачі (АТ-15, АТ-30, АО-В-15, АО-В-30), полум'явідсікачі (ПО-100, ПО-150, ПО-200, ПО-250, ПО-300, ПО-350, ПО-1Ш-



100, ПО-1Ш-150, ПО-1Ш-200, ПО-1Ш-250, ПО-1Ш-300, ПО-1Ш-350).

Принцип дії АСПВ полягає в наступному. При заpalенні середовища в апараті 1 (рис. 4.1) полум'я виявляється за допомогою індикатора вибуху 6, що через блок керування 7 пускає в хід виконавчі пристрої 3 і 4, які впорскують у порожнину апарата вогнегасну рідину. Крім того, як виконавчі пристрої системи можуть використовуватися полум'явідсікачі 5 і зрошувач 2, що запобігають поширенню полум'я по технологічних комунікаціях в інші апарати. На рис. 5.1 показаний найпростіший випадок вибухозахисту одного апарата.

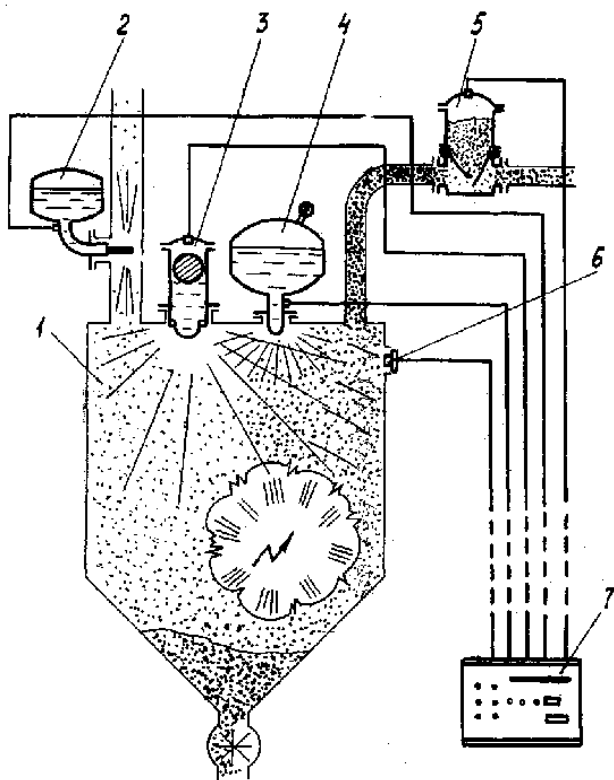


Рис. 4.1 – Схема розміщення елементів СЕАВ „Щит” на апараті:

1 – апарат; 2, 4 – зрошувачі; 3- гідрогармата; 5 – полум'явідсікачі; 6-індикатор вибуху; 7 – блок керування

АСПВ можуть застосовуватися для захисту цілих виробництв, що включають будь-яку кількість вибухонебезпечних апаратів.

Перевагою способу вибухопридушення в порівнянні зі скиданням тиску вибуху через запобіжні пристрої є відсутність викидів в атмосферу токсичних і вибухонебезпечних продуктів, гарячих газів і відкритого полум'я.

## 4.2 Вибухореєструюча апаратура

Вибухи в замкнутах просторах супроводжуються світловим випромінюванням, підвищенням температури і тиску, а також іонізацією газу, тому і знайти вибух в апараті можна за кожним з цих зовнішніх проявів. Індикатори вибуху являють собою пристрої, що перетворюють один із зазначених параметрів на електричний сигнал.

Для виявлення вибухів у СЕАВ "Щит" використовуються два типи індикаторів вибуху:

- сигналізатор теплового випромінювання полум'я «Сиріус», що реагує на збільшення енергетичної освітленості в часі;

- індикатор вибуху ІВ-1, що представляє собою диференціальне контактне реле тиску, що реагує відповідно на задану величину тисків чи на задану швидкість підвищення тиску.

Сигналізатор теплового випромінювання полум'я «Сиріус» і індикатор вибуху ІВ-1 за допомогою кабельних ліній зв'язку з'єднуються з блоком керування БК-2.

Блок керування БК-2 приймає сигнали аварійності від сигналізатора полум'я «Сиріус» та індикатора вибуху ІВ-1, видає командні сигнали на виконавчі пристрої і здійснює безупинний контроль справності всієї АСПВ.

До складу вибухореєструючої апаратури включений командний пристрій КП-1, що представляє собою індикатор швидкості підвищення тиску, який не потребує електроживлення, здатний генерувати могутній командний імпульс, достатній для спрацьовування не більше трьох виконавчих пристроїв. Це дає можливість компоувати спрощені локальні автономні АСПВ без застосування блоку керування і довгих кабельних ліній зв'язку.

Сигналізатор полум'я «Сиріус» призначений для сигналізації збільшення енергетичної освітленості на величину  $1 \text{ Вт/м}^2$  за час, що знаходиться в межах від 3 до  $20 \text{ мс}$  у діапазоні енергетичної освітленості від 0 до  $10 \text{ Вт/м}^2$ . Сигналізатор конструктивно складається з двох блоків: перетворювача вимірювального і блоку керування.

Перетворювач вимірювальний призначений для застосування у вибухонебезпечних установках.

Блок керування відноситься до електроустаткування загального призначення і повинен установлюватися поза вибухонебезпечними зонами приміщення і зовнішніх установок.

**Сигналізатор «Сиріус»** є оптичним інфрачервоним перетворювачем граничного значення збільшення інфрачервоного випромінювання в дискретний пропорційний електричний сигнал (рис. 4.2). Як характеристику чутливості сигналізатора обрано енергетичну освітленість, що характеризує поверхневу щільність потоку випромінювання, у площині захисного вікна сигналізатора. Випромінювання від полум'я через захисне скло 3 попадає на приймач випромінювання 4 з максимальною чутливістю в ближній ІЧ-області спектра (1,1-2,5 мкм). Приймач випромінювання включений у мостову схему і перетворює оптичний сигнал у пропорційний йому електричний сигнал. Останній через розділовий конденсатор подається на підсилювач 5 і

граничний пристрій 7, на виході якого з'являється одиночний електричний імпульс, що керує сигналізуючим пристроєм 8.

У пристрої, що сигналізує, розмикаються контакти реле, у ланцюг яких через блок керування СЕАВ „Щит” (БК-2) 9 включений піропатрон, що входить у вибухопридушуючий пристрій 10.

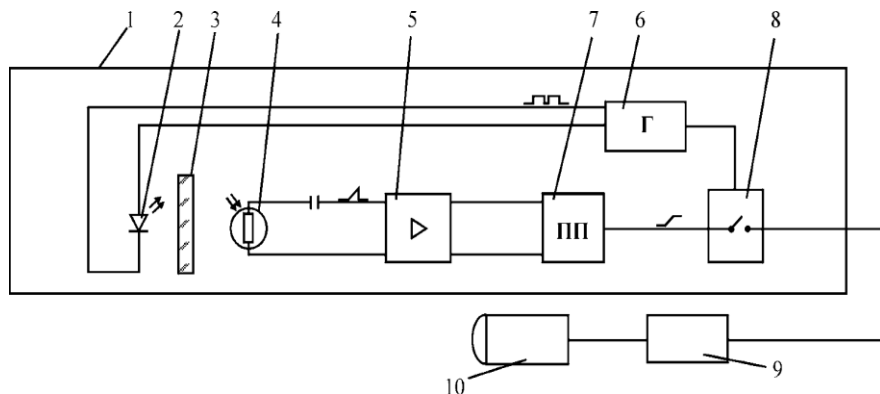


Рис. 4.2 – Принципова схема сигналізатора „Сиріус”:

1 – сигналізатор; 2 – випромінюючий діод; 3 – захисне скло; 4 – приймач ІЧ-випромінювання; 5 – підсилювач; 6 – генератор контрольних імпульсів; 7 – пороговий пристрій; 8 – сигнальний пристрій; 9 – блок керування; 10 – вибухопридушуючий пристрій.

Завдяки наявності розділового конденсатора, що не пропускає постійну складову сигналу, на вхід підсилювача надходить електричний сигнал тільки від швидко наростаючого випромінювання. Тому сигналізатор не реагує на стабільну чи повільно змінювану інтенсивність випромінювання, яка не характерна для вибуху. Це забезпечує необхідний захист від хибних спрацювань.

У сигналізатор вбудована схема контролю несправності, яка складається з генератора імпульсів 6 і випромінюючого діода 2. Генератор видає на

випромінюючий діод імпульси тривалістю 2-3 мс через кожні 500 мс. Імпульси випромінювання діода через вхідне вікно попадають на приймач, а відповідні їм сигнали приймача після підсилювача 5 і граничного пристрою 7 надходять на індикатор справності сигналізатора. При цьому на час проходження контрольного імпульсу блокується пристрій сигналізації 8. Якщо в сигналізаторі з'явиться яка-небудь несправність чи відбудеться сильне забруднення вхідного вікна, то контрольні імпульси не пройдуть по вимірювальному тракту і на передній панелі блоку керування сигналізатора спрацює індикатор «НЕСПРАВНІСТЬ», буде поданий сигнал на блок керування БК-2 для відповідної сигналізації.

**Блок керування сигналізатора полум'я «Сиріус»** призначений для перетворення імпульсу напруги, що надходить з перетворювача у вихідний сигнал, для формування контрольних команд і їхнього аналізу, візуальної індикації і живлення сигналізатора.

### **Технічна характеристика сигналізатора «Сиріус»**

Номінальне значення збільшення енергетичної освітленості, за якої спрацьовує сигналізатор за час, що знаходиться в діапазоні від 3 до 20 мс, Вт/м<sup>2</sup>

Час запізнювання (інерційність) сигналізатора від моменту подачі до моменту видачі сигналу, мс	не більше 20
Кут огляду (кут поля зору), град	не менше 90
Спектральний діапазон, мкм	від 1,1 до 2,5
Мінімальна поверхня полум'я, яка реєструється, м <sup>2</sup>	0,07
Умови експлуатації сигналізатора:	
– для перетворювача вимірювального, °С	–50 ÷ +50
– для блоку керування, °С	+5 ÷ +50
Відносна вологість, %:	
– для перетворювача вимірювального	30% ÷ 95%

– для блоку керування	30% ÷ 80%
Надлишковий тиск в апараті, МПа	0,04 ÷ 0,35

**Індикатор вибуху ІВ-1** є стаціонарним пристроєм безупинної дії призначений для фіксації початкової стадії вибуху пилоповітряної суміші за збільшенням тиску в технологічних апаратах (технологічних лініях). За принципом дії індикатор відноситься до диференціальних контактних реле тиску і характеризується вибірковістю до динамічних впливів тиску: не реагує на повільне підвищення тиску і спрацьовує лише тоді, коли швидкість наростання тиску перевищує визначену величину.

Загальний вид, габаритні і настановні розміри індикатора приведені на рис. 4.3.

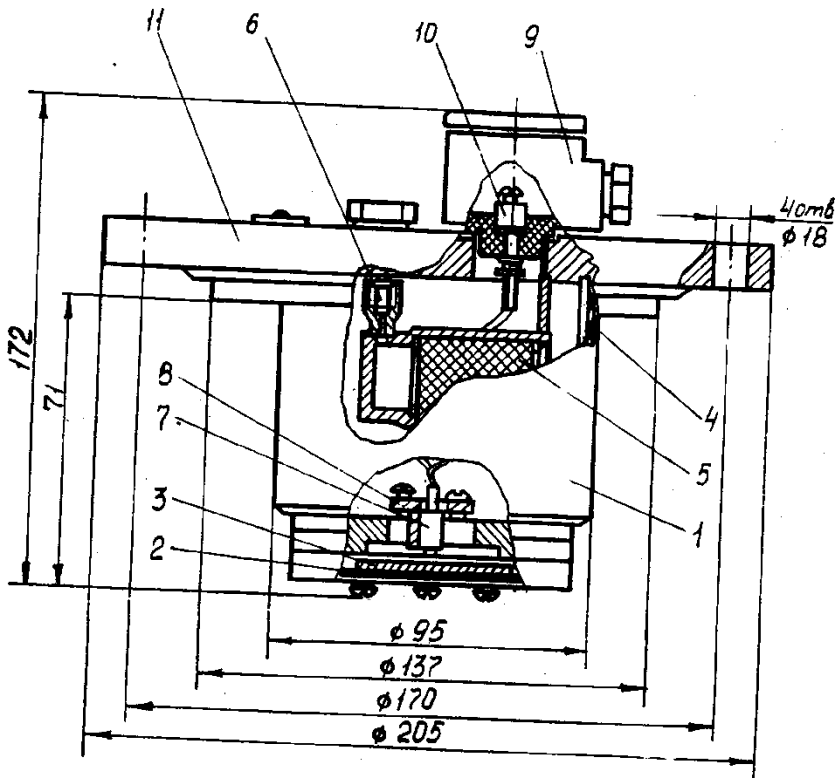


Рис. 4.3 – Індикатор вибуху ІВ-1:

1 – корпус; 2 – мембрана; 3 – твердий центр мембрани;  
 4, 5 – фільтри; 6 – штуцер із дроселем (сопло); 7 – мікроперемикач;  
 8 – утримувач; 9 – корпус; 10 – контакти; 11 – фланець

Конструктивно індикатор виконаний єдиним блоком. Основними конструктивними і функціональними вузлами й елементами індикатора є: корпус 1, мембранний вузол з мембраною 2 і твердим центром 3, фільтри 4 і 5, штуцер із дроселем (соплом) 6, мікроперемикач 7 із утримувачем 8. Виводи мікроперемикача 7 виконані через клемну колодку, що складається з корпуса 9 і контактів 10. Індикатор кріпиться до апарата за допомогою фланця 11. Тиск в апараті впливає як на зовнішню сторону мембрани 2 із

твердим центром 3, так на внутрішню. Внутрішня порожнина індикатора зв'язана з порожниною апарата через фільтри 4 і 5 і дросель (сопло) 6. Дросель 6 забезпечує певну протіку повітря у внутрішню порожнину індикатора. Якщо тиск навколишнього середовища підвищується повільно, то тиск на зовнішню сторону мембрани за рахунок переходу середовища через дросель у внутрішню порожнину виробу буде скомпенсовано тиском на внутрішню сторону мембрани. За швидкої зміни тиску в апараті прохід через дросель не забезпечить рівності тисків на зовнішню і внутрішню сторони мембрани, і за визначеної швидкості наростання тиску на мембрані виникає перепад тисків, достатній для спрацьовування мікроперемикача 7.

Передбачена можливість встановлення змінних дроселів з діаметрами отворів 1,0; 1,5 мм (при вивернутому дроселі отвір, що з'єднує внутрішню порожнину виробу з атмосферою, має діаметр 2 мм). За рахунок установки відповідного дроселя добиваються спрацьовування індикатора на необхідну швидкість наростання тиску. Індикатор поставляється з встановленим у ньому дроселем з діаметром отвору 0,5 мм.

## **Технічні характеристики індикатора вибуху ІВ-1**

Поріг спрацьовування (установлюється змінними дроселями):

- за швидкістю наростання тиску, МПа - 0,01; 0,03; 0,05 і 0,10
- за амплітудним значенням тиску, кПа - від 0,6 до 2,0

Умови експлуатації індикатора вибуху:

- температура навколишнього повітря - від +5 до +80
- відносна вологість повітря - до 80% при +35°C

**Блок керування БК-2** здійснює електроживлення всієї АСПВ, прийом сигналів від індикаторів вибуху ІВ-1 і сигналізаторів полум'я «Сиріус», посилення і видачу



командних імпульсів на виконавчі пристрої відповідно до заданого алгоритму, а також світлову і звукову сигналізацію про несправність і про спрацьовування системи.

Блок керування має вхідні іскробезпечні ланцюги і призначений для установки поза вибухонебезпечними зонами.

Блок керування БК-2 має ефективну систему автоматичного виявлення несправностей і самоконтролю.

У командному пристрої КК-1 використовується магнітоіндуктивний метод перетворення тиску в електричний імпульс струму. За принципом дії пристрій відноситься до диференціальних датчиків тиску і характеризується вибірковістю до динамічних впливів тиску зовнішнього середовища: не реагує на повільне підвищення тиску і спрацьовує лише тоді, коли швидкість наростання тиску перевищує певну величину. Пристрій комплектується змінними соплами діаметрами отворів 0,5; 1,0; 1,5 мм.

При вивернутих соплах отвір, що з'єднує внутрішню порожнину пристрою з порожниною апарата, має діаметр 2 мм.

За рахунок установки відповідного сопла домагаються спрацьовування пристрою на необхідну швидкість наростання тиску.

Загальний вид, габаритні і настановні розміри пристрою ПК-1 приведені на рис 4.4. Основними конструктивними вузлами пристрою є: корпус 1, мембрана 2, шток 3, призначений для взведення пристрою. Пристрій зведений, якщо верхній кінець штока знаходиться у нижньої крайки поперечного отвору заглушки 4.

### **Технічні характеристики пристрою командного ПК-1**

Поріг спрацьовування при збільшенні від 3,92 і вище тиску, КПа

Вихідний сигнал при навантаженні 0,2 не менше 2 В  
Ом,  
Умови експлуатації, °С  $-50 \div +70$

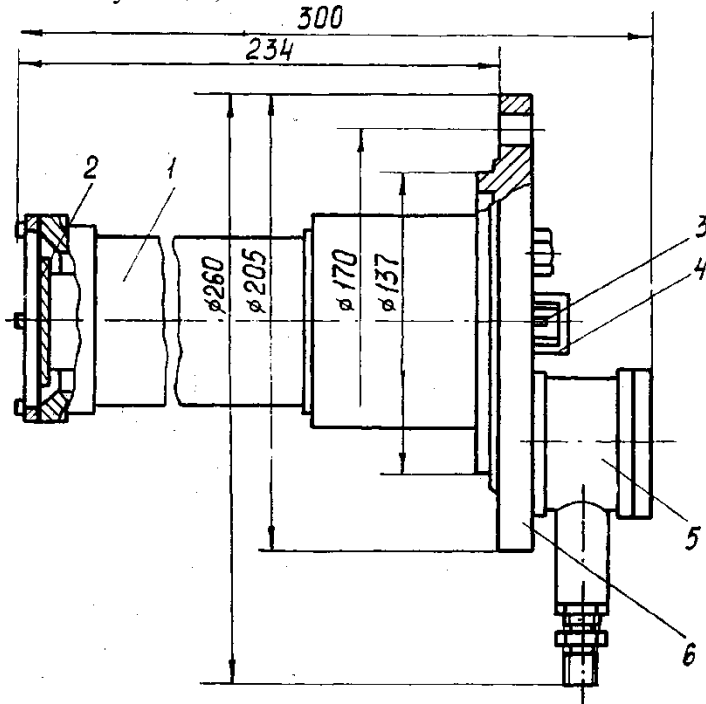


Рис. 4.4 – Пристрій командний ПК-1:

1 – корпус; 2 – мембрана; 3 – шток; 4 – заглушка; 5 – клемна коробка;  
6 – фланець

**Вибухопридушчі пристрої** є основними виконавчими пристроями СЕАВ «Щит». Головне їхнє призначення полягає в тому, щоб швидко і рівномірно по всьому об'єму апарата, що захищається, доставити і розподілити запас вогнегасної речовини, який утримується в ньому.

Для придушення вибухів газопилеповітряної суміші усередині технологічних апаратів у СУАВ «Щит»

використовуються: гідрогармати ГПФ-5 і ГПФ-10; порошкові полум'япридушувачі ГШ-5 і ПП-10 з вогнегасною речовиною відповідно 5 і 10 дм<sup>3</sup>; зрошувачі АТ-15, АТ-30, АО-В-15 і А-В-30 з вогнегасною речовиною відповідно 15 і 30 дм<sup>3</sup>.

До виконавчих пристроїв СЕАВ «Щит» відносяться також швидкодіючі полум'япридушувачі ПО і ПО-1Ш. Вони призначені для запобігання поширенню полум'я в інші апарати і комунікації.

**Гідрогармати ГПФ-5 і ГПФ-10** призначені для упорскування рідких тонкорозпилених вогнегасних складів. Принцип дії їх базується на витисненні вогнегасної рідини з порожнини гідрогармата через насадку-розпилювач тиском газів, що утворюються при згорянні порохового заряду.

Конструктивно гідрогармата (рис. 4.5) складається з корпусу 1, у якому розміщений вогнегасний склад і за допомогою пружинного кільця 2 закріплена насадка 3, кожуха 4, де розташовані поршень 5 і піропатрон 6. Між кришкою кожуха 8 і поршнем 5 розміщується порохова навіска 9. Вогнегасний склад герметизується двома мембранами 10 і 11. На апараті гідрогармата кріпиться за допомогою фланця 1.

При подачі електричного командного імпульсу спрацьовує піропатрон, що підпалює порохову навіску. Навіска, згоряючи, створює тиск близько 8 МПа, у результаті чого поршень рухається вниз і розриває мембрани 10 і 11; при цьому насадка висувається, і в апарат, що захищається, впорскується вогнегасний склад.

Гідрогармати комплектуються трьома типами розпилювачів, що дозволяють одержувати форму смолоскипа зрошення, що відповідає формі апарата, що захищається.

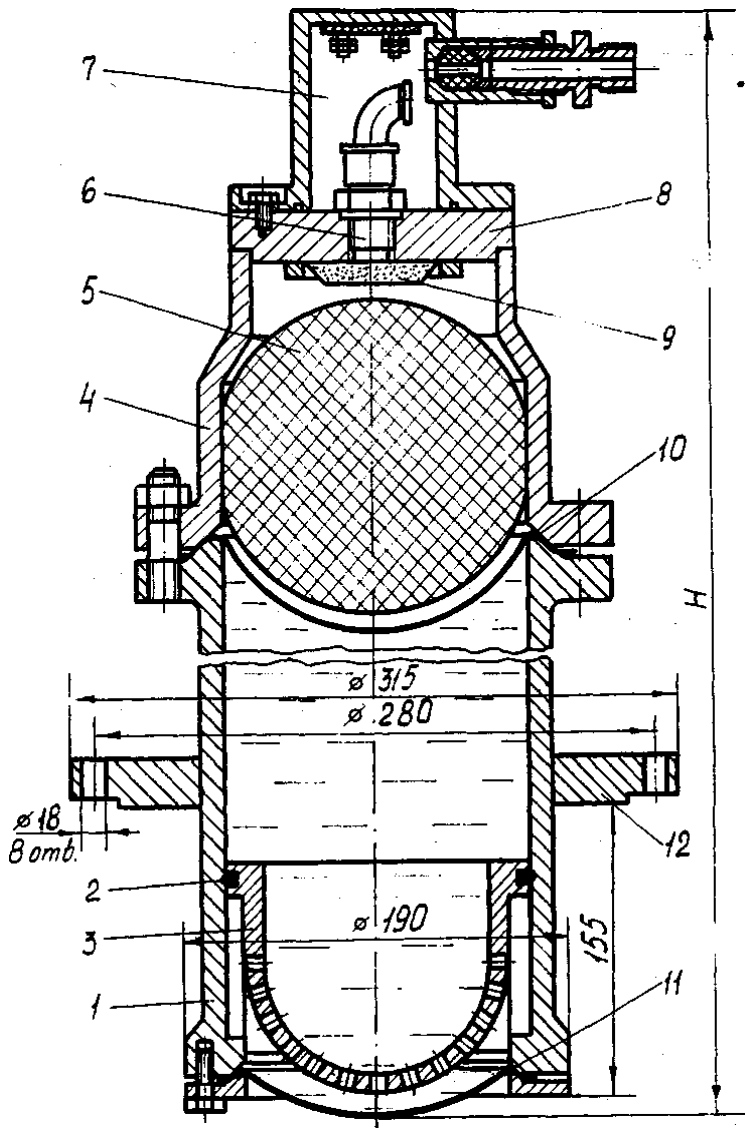


Рис. 4.5 – Гідрогармата:

1 – корпус; 2 – кільце пружинне; 3 – насадка; 4 – кожух; 5 – поршень;  
 6 – піропатрон; 7 – кришка вступного кабельного пристрою; 8 – кришка  
 кожуха; 9 – порохова навіска; 10, 11 – мембрани; 12 – фланець

## Технічні характеристики гідрогармат

Найменування технічної характеристики	Марка	
	гідрогармат	
	ГПФ-5	ГПФ-10
Кількість вогнегасної речовини, дм <sup>3</sup>	5	10
Час подачі всього об'єму вогнегасної речовини (швидкодія), мс	50	100
Кут розпилу вогнегасної речовини, град	180	180
Ефективна далекобійність, м	3	4
Вогнегасна речовина	Вода чи хладони	
	не	
Маса (без заряду), кг	більше	60
	50	

**Порошкові полум'япридушувачі ПП-5 і ПП-10** призначені для швидкого введення вогнегасних порошоків. Принцип роботи полум'япридушувача базується на витисненні вогнегасного порошку тиском газів, що утворюються при згорянні порохового заряду.

Конструктивно полум'япридушувач (рис. 4.6) складається з корпусу 1, у якому розміщений вогнегасний склад 2 і розпилувач 3, закріплені пружинним кільцем 4, кожуха 5, де розташований поршень 6, пороховий заряд 7 і піропатрон 8. На кожух 5 кріпиться кришка 9 вступного кабельного пристрою.

Вогнегасний склад герметизується двома мембранами 10 і 11. Мембрана 10 фіксується між фланцями кожуха і корпусу, а мембрана 11 – фланцем 12.

Пристрій працює в такий спосіб. При подачі командного імпульсу спрацьовує піропатрон, що підпалює пороховий заряд. Під дією тиску порохових газів поршень розриває мембрани 10 і 11 і виштовхує вогнегасний склад у порожнину апарата, що захищається.

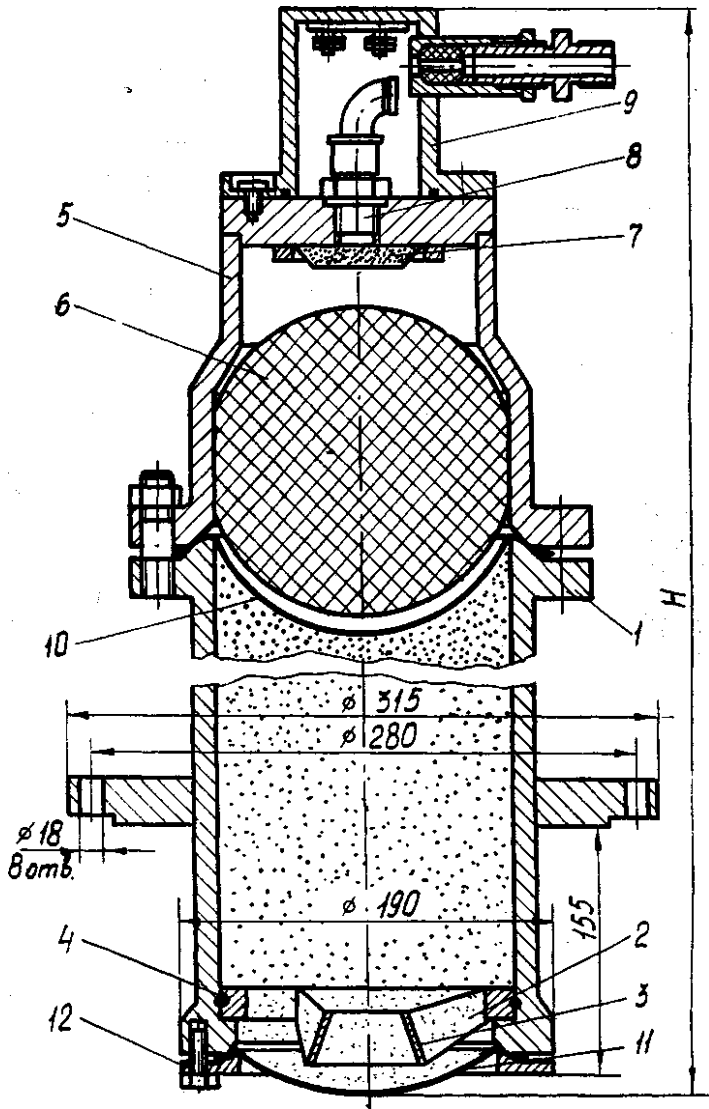


Рис. 4.6 – Порошковий полум'япридушувач:

1 – корпус; 2 – вогнегасний склад; 3 – розпилювач; 4 – пружинне кільце;  
 5 – кожух; 6 – поршень-куля; 7 – пороховий заряд; 8 – піропатрон;  
 9 – кришка вступного пристрою; 10, 11 – мембрани; 12 – фланець

## Технічні характеристики порошкових полум'япридушувачів

Найменування технічної характеристики	Марка полум'япридушувача	
	ПП-5	ПП- 10
Об'єм вогнегасної речовини, дм <sup>3</sup>	5	10
Час подачі всієї вогнегасної речовини (швидкодія), мс	25	40
Кут розпилу вогнегасної речовини, град	90	90
Ефективна далекобійність, м	6	8
Вогнегасна речовина	Вогнегасні порошки	
Маса (без заряду), кг	не більше 50	60

**Зрошувачі АО, АО-В** призначені для введення тонкорозпиленої вогнегасної рідини в порожнину апарата чи трубопроводу, з метою запобігання повторних загорянь в апаратах і поширення полум'я по трубопроводу. Вогнегасна рідина знаходиться в судині під тиском азоту 8 МПа і відділена від основи за допомогою мембрани 4, затиснутої між фланцями судини і основи. На верхнім днищі розташований манометр контролю тиску 5 і зворотний клапан 6 для зарядки судини азотом. На нижньому кінці основи на запірному кільці 7 закріплена насадка 8. Від порожнини апарата насадка, що захищається, відділена мембраною 9. До апарата, що захищається, зрошувач кріпиться за допомогою фланця 10.

Принцип роботи зрошувача полягає в наступному. При надходженні командного імпульсу до вузла розкриття мембрани 3 мембрана 4 руйнується, і вогнегасна речовина під тиском азоту спрямовується в патрубок основи, висуває насадку 8 до упора, руйнуючи при цьому мембрану 9, і через

отвори насадки подається в порожнину апарата, що захищається.

Зрошувачі комплектуються трьома типами розпилювачів, що дозволяють одержувати форму смолоскипа розпилу, що відповідає формі об'єму, що захищається.

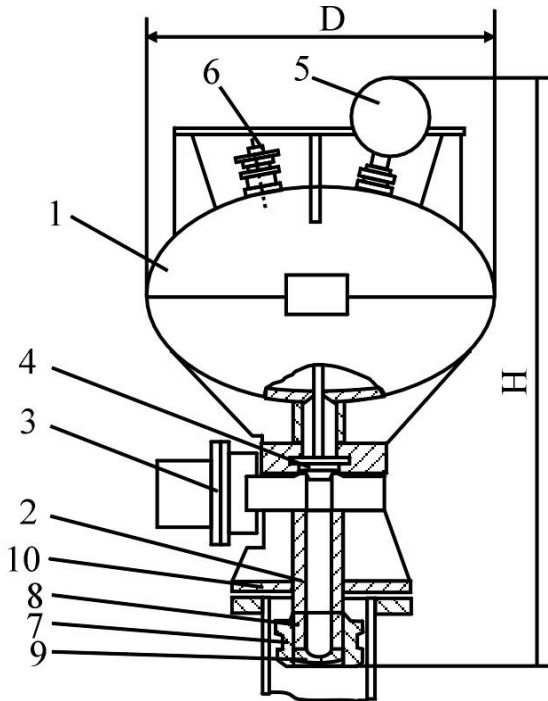


Рис. 4.7 – Зрошувач:

1 – судина; 2 – основа; 3 – вузол розкриття мембрани; 4, 9 – мембрани; 5 – манометр; 6 – зворотний клапан; 7 – запірне кільце; 8 – насадка; 10 – фланець

### Технічні характеристики зрошувачів

Найменування технічної

Марка зрошувача



характеристики	АО-15, АО-В-15	АО- 30,АО-В- 30
Кількість вогнегасної речовини, дм <sup>3</sup>	15	30
Час спрацьовування, с	3	5
Кут розпилу вогнегасної речовини, град	180	180
Вогнегасна речовина	Вода, фреон, порошок	
Маса (без вогнегасної речовини), кг	72	89

**Полум'явідсікачі ПО і ПО-1Ш** призначені для відключення апаратів, у яких сталося запалення, від іншого устаткування з метою запобігання поширення полум'я по технологічних комунікаціях.

Конструктивно полум'явідсікач ПВ (рис. 4.8) складається з основи 1, обичайки 2, у якій розміщений запірний орган 3, і верхнього днища 7 з піропристроєм 6, закритим кришкою вступного пристрою 5. Запірним органом є сипучий матеріал (кварцовий пісок), відділений від верхнього днища мембраною 8, а від підстави – пакетом, що складається з мембрани 9, двох опорних пелюстків 10 і захисної плівки 11. Підстава, обичайка і верхнє днище з'єднуються між собою за допомогою фланців.

Принцип роботи полум'явідсікача полягає в наступному. При надходженні командного імпульсу на піропатрон останній спрацьовує, підпалює порохову навіску, і порохові гази, що утворюються, через радіальні отвори надходять у порожнину верхнього днища; тиск у порожнині зростає до 1,0 МПа, руйнує мембрани 8, 9 і з великою швидкістю переміщає сипучий матеріал у порожнину основи. Опорні пелюстки від дії потоку сипучого матеріалу відгинаються і перекидають патрубки підстави полум'явідсікача, а сипучий матеріал щільно заповнює всю

порожнину, тим самим припиняє поширення полум'я по трубопроводу.

Конструктивно полум'явідсікач ПО-1Ш (рис. 4.9) складається з основи 1 із входним 2 і вихідним 3 патрубками, кришки 4 з вузлом розкриття мембрани і вступним пристроєм 5, судини 6 з манометром 7 контролю тиску і штуцером зарядки 8. Між фланцями судини 6 і кришки 4 встановлена розділова мембрана 9, а між фланцями кришки 4 і основи 1 – мембрана запірна 10. Торець патрубка 2 виконує роль сідла запірного органа – запірної мембрани 10. Вузол розкриття розділової мембрани 9 розташований на верхньому фланці кришки 4 і складається з ножа 11, укріпленого на штоку поршня 12, і піропатрона 13.

Пристрій працює в такий спосіб. При надходженні командного імпульсу на піропатрон останній спрацьовує, і тиском газів, що утворюються, переміщає поршень зі штоком і ножем. Ніж розрізає розділову мембрану 9, і стиснутий газ із судини 6 надходить у порожнину кришки 4, тиск у якій зростає до 1,0 МПа і впливає на запірну мембрану 10, що перекидає прохідний канал патрубка 2 основи.

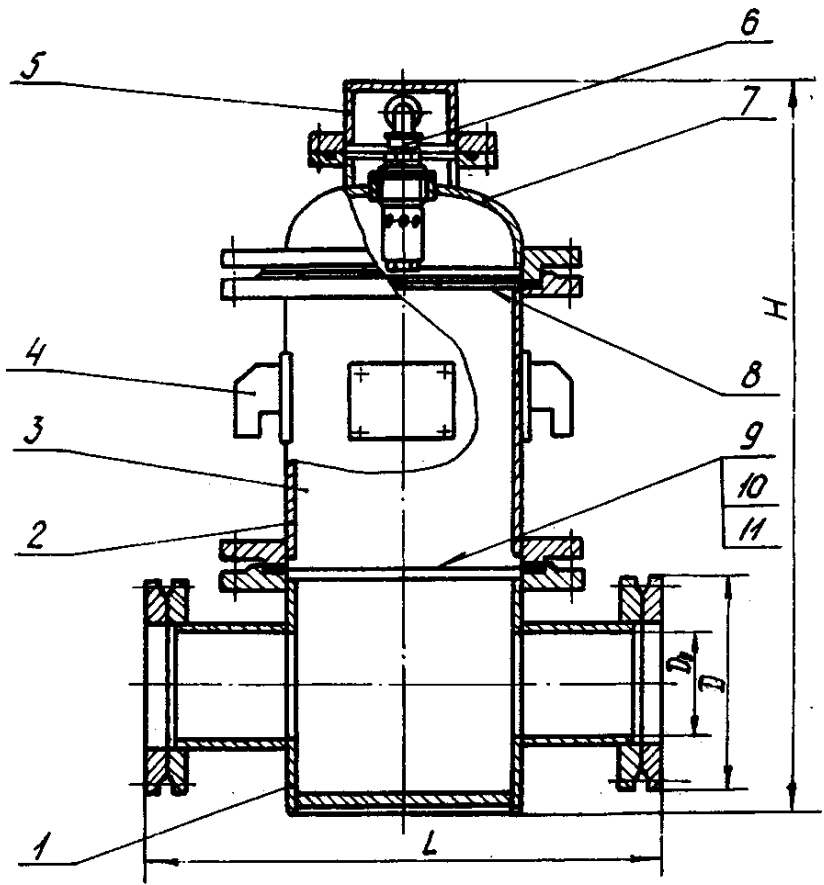


Рис. 4.8 – Полум'явідсікач швидкодіючий ПО:

1 – підстава; 2 – обичайка; 3 – запірний орган; 4 – гак вантажної; 5 – кришка вступного пристрою; 6 – піропристрій; 7 – днище верхнє; 8 – мембрана верхня; 9 – мембрана нижня; 10 – пелюстки опорні; 11 – плівка захисна

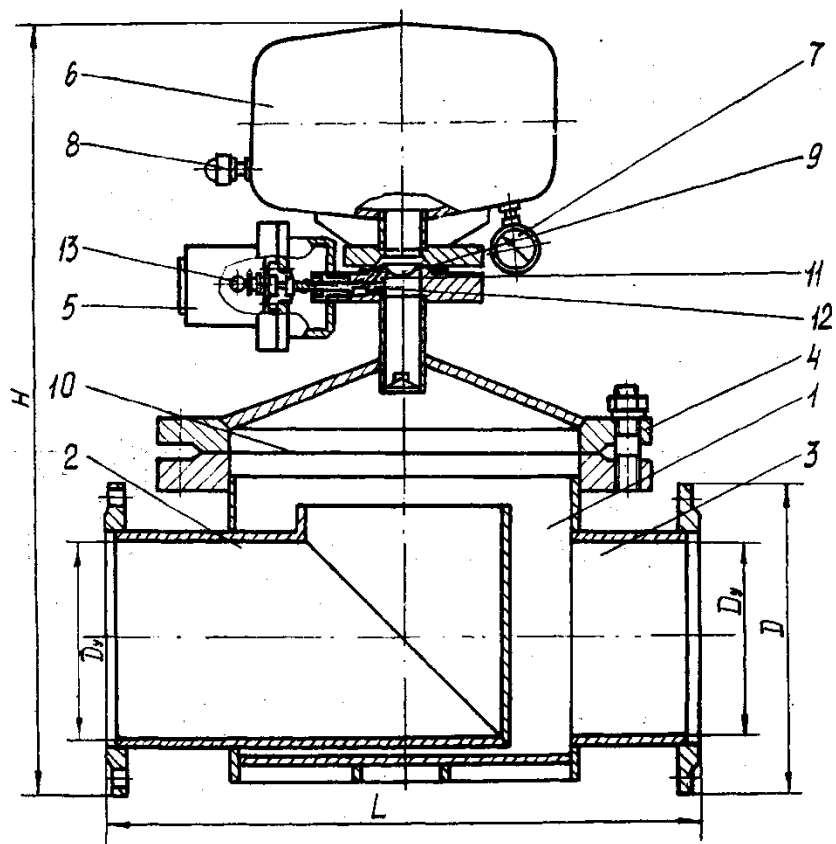


Рис. 4.9 – Полум'явідсікач ПО-1Ш:

1 – основа; 2 – патрубок вхідний; 3 – патрубок вихідний; 4 – кришка;  
 5 – вступний пристрій; 6 – судина; 7 – манометр; 8 – штуцер зарядки;  
 9 – мембрана розділова; 10 – мембрана запірня; 11 – ніж; 12 – шток поршня;  
 13 – піропатрон.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики полум'явідсікачів

Модель полум'явідсікача	Умовний прохід $D_v$ , мм	Час спрацьовування	Габаритні розміри			Маса, кг
			висота, мм	діаметр, мм	довжина, мм	
ПО- 100	100	0,03	517	205	710	90
ПО- 150	150	0,05	536	260	805	100
ПО-200	200	0,08	692	315	1020	170
ПО-250	250	0,12	770	370	1110	240
ПО-300	300	0,11	686	435	1294	300
ПО-350	350	0,20	924	485	1430	360
ПО-1Ш-100	100	0,01	406	205	626	61
ПО-1Ш-150	150	0,02	520	260	710	80
ПО-1Ш-200	200	0,03	634	315	800	110
ПО-1Ш-250	250	0,04	746	370	895	144
ПО-1Ш-300	300	0,05	858	435	960	175
ПО-1Ш-350	350	0,07	962	485	1040	220

### 4.3 Рекомендації з проектування та монтажу АСПВ

Порядок проектування АСПВ для захисту замкнутого технологічного устаткування повинен бути наступним.

1. Визначити перелік потенційно вибухонебезпечного устаткування, у якому може виникнути вибух. При цьому слід вважати, що вибух може статися у тім устаткуванні, у якому постійно чи періодично хоча б випадково (навіть у результаті помилок) можуть утворюватися горючі газоподібні чи пилоподібні суміші.

2. Визначити перелік устаткування, вибухозахист якого може бути забезпечено за допомогою більш простих і доступних засобів, наприклад, запобіжних мембран, вибухових клапанів і т.д. При цьому аналізі необхідно враховувати насамперед можливість викиду середовища в

атмосферу, оцінивши ступінь його шкідливості і ступінь пожежної небезпеки викиду продуктів вибуху.

3. Визначити перелік устаткування, умови роботи в якому не відповідають умовам роботи елементів СЕАВ. До такого устаткування відносяться:

- цілком відкриті апарати й апарати з постійно відкритими люками;

- апарати, у яких робочі тиски вище 6,1 МПа і температури вище +70°C і нижче -50 °С;

- апарати з робочим об'ємом менше 1м<sup>3</sup>;

- апарати з насадками.

4. Визначити перелік устаткування (виключивши устаткування, про яке йшлося в п. 2 і 3), що доцільно захистити за допомогою АСПВ.

5. Визначити можливість поширення полум'я по технологічних комунікаціях і необхідність його локалізації.

Для локалізації полум'я пилоповітряних сумішей рекомендується використовувати полум'явідсікачі ПО, а для локалізації полум'я парогазоповітряних сумішей – полум'явідсікачі ПО-ІІІ. Зрошувачі АТ можуть використовувати для локалізації полум'я пилових і газових сумішей.

6. Здійснити вибір і визначити кількість різних елементів системи: вибухореєструючої апаратури і виконавчих пристроїв.

Для придушення вибухів парогазоповітряних сумішей рекомендується як датчик використовувати сигналізатор полум'я „Сиріус”, а коли робочим середовищем є пил як датчик доцільніше використовувати індикатор вибуху ІВ-1 або пристрій командний ПК-1.

Виконавчі пристрої повинні бути встановлені на апараті таким чином, щоб максимально забезпечувався рівномірний розподіл вогнегасної речовини по всьому об'єму, що захищається.

Кількість виконавчих пристроїв залежить від об'єму апарата, що захищається, і визначається з урахуванням розмірів смолоскипа розпилу кожного пристрою.

7. Здійснити вибір ефективної вогнегасної речовини і встановити її кількість.

Для придушення вибухів більшості пилоутворюючих продуктів органічного походження рекомендується застосовувати як вогнегасні речовини воду та вогнегасні порошки, а для придушення газових вибухів – вогнегасні порошки і хладони. Допускається застосування інших вогнегасних речовин, що забезпечують ефективне придушення вибухів, і комбінованих вогнегасних речовин: порошок + хладон, порошок + азот, вода + хладон та ін. Вибір ефективних складів необхідно здійснювати експериментально.

8. Розробити алгоритм спрацьовування виконавчих пристроїв АСПВ.

При монтажі системи елементів вибухозахисту доцільно дотримуватися наступних рішень.

1. Перетворювач сигналізатора встановлюється на поверхні технологічного апарата за умови, що він здійснює повний огляд внутрішнього апарату: у зоні кута зору перетворювача повинен знаходитися весь внутрішній простір технологічного апарата (якщо ця умова не виконується, необхідно передбачити установку декількох перетворювачів).

2. Блок керування сигналізатора полум'я встановлюється на щиті (у щитовій). З'єднання перетворювача з блоком керування здійснюється броньованим кабелем.

3. На апаратах об'ємом  $10 \text{ м}^3$  і більше повинні бути встановлені два індикатори вибуху, причому установка їх повинна бути здійснена в різних площинах.

Для підвищення надійності спрацьовування АСПВ включення індикаторів вибуху повинно бути послідовним

(за схемою „чи”), для виключення помилкових спрацьовувань включення індикаторів вибуху повинно бути рівнобіжним (за схемою „і”).

4. Гідрогармати і зрошувачі слід орієнтувати таким чином, щоб факели розпилу за можливістю заповнювали усю внутрішню порожнину апарата, що захищається.

5. При захисті великомасштабного промислового устаткування (об'ємом 50 м більше) за допомогою АСПВ виконавчі пристрої на апараті, що захищається, повинні бути встановлені таким чином, щоб відстань від них до самої віддаленої точки апарата була не більше 10 м.

6. Гідрогармати і порошкові полум'япридушувачі можна встановлювати на апараті в будь-якім положенні.

7. Зрошувачі типу АТ устанавлюються на горизонтальних стінках апаратів і ділянках трубопроводів, а зрошувачі типу В – на вертикальних. Допускається відхилення від вертикалі і горизонталі до 30°. Полум'явідсікачі можна встановлювати у будь-якому положенні.



## **РОЗДІЛ 5. ОРГАНІЗАЦІЯ І ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЮ ЗА СТАНОМ ЗАСОБІВ ВИМІРІВ**

### **5.1 Види робіт з проведення контролю за станом засобів вимірів**

З метою встановлення чи підтвердження придатності засобів вимірів до застосування проводять процедуру, яка називається повіркою.

Вимоги до організації і порядку проведення повірки засобів вимірів, що випускаються з виробництва і ремонту, знаходяться в експлуатації, підлягають продажу або прокату і ввезенню через границю, регламентовані на державному рівні ДСТУ 2708-94 „Метрологія. Повірка засобів вимірювань. Організація і порядок проведення”.

Існує державна і відомча повірка. Державну повірку засобів вимірів здійснюють органи державної метрологічної служби, а відомчу - метрологічні служби підприємств і організацій, міністерств.

Державній повірці підлягають вихідні зразкові засоби вимірів метрологічних служб, робочі засоби вимірів, що застосовуються в галузі охорони здоров'я, при виробництві і контролі медикаментів і харчових продуктів, при здійсненні заходів для охорони навколишнього середовища, охорони праці і техніки безпеки, при геодезичних і гідрометеорологічних роботах, при розрахунках з покупцями (а також операціях, що включають усі види торгової діяльності, пов'язані з визначенням кількості товарів або послуг), при обліку матеріальних ресурсів (електричної і теплової енергії, газу, нафтопродуктів тощо), при проведенні податкових, митних і поштових операцій, при проведенні експертиз, при реєстрації національних і міжнародних спортивних рекордів, а також при виконанні робіт, пов'язаних з обов'язковою сертифікацією продукції.

Засоби вимірів, застосовувані для спостереження за зміною величин без оцінки їх значення в одиницях фізичних величин з нормованою точністю (як індикатори), а також засоби вимірів, що використовуються тільки в навчальних

ціль, перевірка не підлягає. На такі засоби вимірів та їх експлуатаційні документи повинно бути нанесене відповідне позначення "Г" чи "У".

Контроль за придатністю таких засобів вимірів до застосування здійснюється в порядку, встановленому підприємством або обговореному в правилах їх експлуатації.

Засоби вимірів, застосовувані у вимірювальних каналах інформаційно-вимірювальних систем і автоматизованих систем управління, можуть окремо не повірятися, якщо це передбачено нормативними документами чи технічною документацією.

Засоби вимірів, які підлягають державній повірці, повіряються відомчими метрологічними службами.

Результати повірки, проведеної в інших країнах, можуть визнаватися дійсними відповідно до укладених міжнародних договорів (угод) чи за рішенням Держстандарту України.

Засоби вимірів визнають придатними до застосування протягом міжповірочного інтервалу, якщо результати повірки підтверджують їх відповідність метрологічним і технічним вимогам до даного засобу вимірів, встановленим у нормативних документах чи технічній документації.

Засоби вимірів піддають первинній, періодичній, позачерговій, інспекційній та експертній повірці.

**Первинній повірці** підлягають засоби вимірів при випуску з виробництва і ремонту, а також при ввезенні через границю у випадку відсутності передбачених договорів чи угод.

**Періодичній повірці** підлягають засоби вимірів, що знаходяться в експлуатації або призначені до продажу і прокату. Проміжок часу між повірками (міжповірочний інтервал) установлюється таким чином, щоб забезпечити придатність засобів вимірів до застосування протягом цього періоду.

**Позачергова повірка** проводиться в процесі експлуатації засобів вимірів до закінчення міжповірочного інтервалу.

**Інспекційна повірка** проводиться з метою повірки придатності засобів вимірів до застосування при здійсненні державного метрологічного контролю.

**Експертна повірка** проводиться у випадку виникнення спірних питань щодо метрологічних характеристик і придатності засобів вимірів до застосування.

Державна повірка проводиться органами державної метрологічної служби, які одержали дозвіл у Держстандарті України на право її проведення.

В обґрунтованих випадках право державної повірки засобів вимірів може бути надано Держстандартом України іншим державним підприємствам, установам і організаціям за клопотанням територіальних органів Держстандарту України.

Відомча повірка, якщо вона проводиться для інших підприємств, установ, організацій і громадян-суб'єктів підприємницької діяльності, здійснюється за умови одержання відповідного дозволу (ліцензії) в органах державної метрологічної служби.

Повірочна діяльність підприємств, установ і організацій, а також громадян-суб'єктів підприємницької діяльності підлягає державному метрологічному контролю.

Посадові особи органів державної метрологічної служби, що проводять повірку (державні повірителі), а також повірителі – працівники відомчих метрологічних служб – підлягають обов'язковій атестації.

Позитивні результати повірки засобів вимірів засвідчуються відбитком повірочного клейма та (або) свідченням про повірку. Відбиток повірочного клейма ставиться на засіб вимірів та (або) на експлуатаційну документацію.

У тому випадку, коли доступ до вимірювального механізму засобів вимірів пломбується, відбиток повірочного клейма ставиться на пломбу.

Якщо в результаті повірки засіб вимірів визнається непридатним до застосування, орган метрологічної служби видає довідку про непридатність засобу вимірів і погашає колишнє клеймо.

Якщо відбиток повірочного клейма чи пломба ушкоджені або свідчення загублене, засіб вимірів вважається неповіренным.

## **5.2 Організація і порядок проведення повірки**

Підприємства, установи й організації, а також громадяни-суб'єкти підприємницької діяльності, що випускають засоби вимірів з виробництва і ремонту, а також експлуатують або володіють ними з метою експлуатації у сферах, на які поширюється державний метрологічний нагляд, зобов'язані вчасно представляти засоби вимірів на державну повірку.

Перелік засобів вимірів, що перебувають в експлуатації і підлягають державній перевірці, складає їх користувач і погоджує з органом державної метрологічної служби.

Повірку засобів вимірів органи державної метрологічної служби можуть робити:

- у стаціонарній і пересувній повірочній лабораторіях;
- безпосередньо на підприємствах шляхом відрядження державних повірителів на ці підприємства.

При проведенні державної повірки засобів вимірів на місцях їх виготовлення, ремонту або експлуатації підприємства зобов'язані:

- забезпечувати в необхідних випадках доставку засобів вимірів і допоміжних засобів, що належать органам державної метрологічної служби, до місця повірки і назад;

- надавати допоміжний персонал і приміщення, необхідні для проведення повірки;
- забезпечувати в необхідних випадках збереження зразкових засобів вимірів, що належать органам державної метрологічної служби;
- надавати при обслуговуванні підприємства пересувною повірочною лабораторією, місце стоянки і забезпечувати її підключення до мереж електро-, газо- і водопостачання, каналізації.

Підприємства, що випускають з виробництва чи ремонту, а також експлуатують засоби вимірів, державну повірку яких необхідно проводити, відповідно, на місцях виготовлення, ремонту або експлуатації з застосуванням стаціонарних зразкових засобів вимірів, повинні мати зазначені зразкові засоби вимірів і надавати їх у розпорядження органів державної метрологічної служби.

Засоби вимірів, відомча повірка яких не може бути забезпечена підприємством, представляють на повірку в органи державної метрологічної служби іншого підприємства, якому право проведення повірки надано органами державної метрологічної служби.

Первинній повірці підлягає кожен екземпляр засобів вимірів. Допускається вибіркова первинна повірка засобів вимірів, якщо це передбачено відповідними нормативними документами або технічною документацією. Позитивні результати вибіркової повірки поширюються на всі засоби вимірів партії, що перевіряється.

Первинну повірку проводять: на місці виготовлення (ремонту) засобів вимірів, на місці застосування засобів вимірів, частково на місці виготовлення (ремонту) і частково на місці застосування засобів вимірів і на території органа державної метрологічної служби або відомчої метрологічної служби. Державну первинну повірку засобів вимірів при випуску з виробництва і ремонту здійснюють органи державної метрологічної служби на контрольно-

перевірочних пунктах (КПП) підприємств, що випускають чи ремонтують засоби вимірів.

Періодичній повірці підлягає кожен засіб вимірів (якщо періодична повірка передбачена для засобів вимірів даного типу). Засоби вимірів, що перебувають на довгостроковому збереженні, можна не піддавати періодичній повірці. Періодична повірка може проводитися на території користувача засобів вимірів, органа державної метрологічної служби або відомчої метрологічної служби. Місце повірки обирає користувач за узгодженням з відповідним органом метрологічної служби, виходячи з економічних факторів і можливості транспортування перевірочних і зразкових засобів вимірів. Міжповірочний інтервал устанавлюється при затвердженні типу або при метрологічній атестації засобів вимірів.

Органи метрологічної служби (державної і відомчий) зобов'язані вести облік і аналіз результатів періодичної повірки. На їх підставі органи державної метрологічної служби можуть приймати рішення, а органи відомчої метрологічної служби – надавати користувачу пропозиції за зміною міжповірочного інтервалу.

Якщо користувач засобів вимірів не згоден з рішенням органа державної метрологічної служби про зміну міжповірочного інтервалу, він може звернутися у відповідну головну організацію за видом вимірів, яка приймає остаточне рішення на підставі представлених матеріалів.

Періодичну державну повірку проводять у календарний термін, устанавлений графіком повірки засобів вимірів або за заявою користувача засобів вимірів.

Відомчу повірку проводять відповідно до порядку, встановленого користувачем засобів вимірів.

Державна повірка засобів вимірів повинна забезпечуватися органами державної метрологічної служби безвідмовно (відповідно до погодженого графіка).

За відсутності умов, необхідних для проведення повірки, керівник територіального органа державної

метрологічної служби зобов'язаний вказати інший найближчий орган державної метрологічної служби або підприємство, яке може виконати повірку.

Позачергова повірка проводиться в таких випадках:

- за необхідності переконатися в придатності засобів вимірів до застосування;
- при ушкодженні відбитка повірочного клейма або втраті свідчення, що підтверджує проходження засобами вимірів первинної чи періодичної повірки;
- при використанні засобів вимірів як комплектуючих у випадку закінчення половини міжповірочного інтервалу;
- при продажі (відправленні) споживачу засобів вимірів після закінчення половини міжповірочного інтервалу.

Інспекційна повірка здійснюється при проведенні державного метрологічного нагляду у присутності представників підприємства, що перевіряється. За рішенням інспектора інспекційну повірку можна проводити не в повному обсязі, передбаченому нормативними документами чи технічною документацією.

Експертну повірку проводять органи державної метрологічної служби за письмовою заявою державних органів (суду, прокуратури та ін.) при виникненні спірних питань щодо метрологічних характеристик, придатності до застосування і правильності експлуатації засобів вимірів. У заяві повинні бути зазначені предмет, мета експертної повірки і причина, що викликала необхідність її проведення. При проведенні експертної повірки засобів вимірів у разі потреби можуть бути присутніми заявники, а також представники зацікавлених сторін. За результатами експертної повірки складають висновок, що затверджується керівником органа державної метрологічної служби і направляється заявнику. Один екземпляр висновку повинен зберігатися в органі державної метрологічної служби, що проводила експертну повірку.

## РОЗДІЛ 6. ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ

### 6.1 Загальні відомості про похибки вимірювань

Незалежно від того, як ретельно проводиться вимір будь якої фізичної величини, неможливо отримати вільний від спотворення результат. Причини цих відмінностей можуть бути різні. Наприклад, недосконалість методів, засобів вимірювання, мінливість умов вимірювання тощо. Саме це відхилення від дійсного значення величини називають похибкою.

Точність вимірів є одним з об'єктів вивчення науки *метрології*. Метрологія (від грец. μέτρον «міра» + λόγος «ідея; причина») – наука про виміри, методи та засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності. Предметом метрології є вилучення кількісної інформації про властивості об'єктів із заданою точністю та достовірністю

Якість засобів та результатів вимірів прийнято характеризувати, вказуючи їх похибки.

Введення поняття "похибка" вимагає визначення та чіткого розмежування трьох понять: справжнього (істинного) та дійсного значень вимірюваної фізичної величини та результату вимірювання.

*Справжнє значення* фізичної величини – це значення, що ідеально відображає властивість даного об'єкта як у кількісному, так і у якісному відношенні. Воно не залежить від засобів нашого пізнання і є тією абсолютною істиною, якої ми прагнемо, намагаючись представити у вигляді числових значень. Насправді справжнє значення майже завжди невідомо (в окремих випадках воно може бути визначене із застосуванням первинних або вторинних еталонів), тому його доводиться замінювати поняттям "дійсне значення".

*Дійсне значення* фізичної величини – значення, знайдене експериментально та настільки наближене до



істинного, що для даної мети воно може бути використане замість нього. Дійсне значення може бути отримано за допомогою робочих еталонів.

*Результат вимірювання* (виміряне значення)  $x$  є наближеною оцінкою справжнього значення величини, знайдену шляхом вимірювання (результат, отриманий за допомогою робочого засоби виміру).

Оскільки справжнє значення вимірюваної величини завжди залишається невідомим, можна знайти лише наближену оцінку похибки виміру. Як дійсна, що точніше виміряного значення, зазвичай застосовується величина, визначена теоретично або виміряна більш точним або зразковим приладом.

Похибка результату виміру дає уявлення про те, які цифри у числовому значенні величини, отриманому в результаті виміру, є найбільш сумнівними. Округлювати числове значення результату вимірювання необхідно відповідно до числового розряду значущої цифри похибки, тобто числове значення результату вимірювання повинно закінчуватися цифрою того ж розряду, що і значення похибки. При заокругленні рекомендується користуватися правилами наближених обчислень.

**Класифікація похибок.** Існує кілька класифікаційних ознак, за якими похибки поділяються на групи.

За способом математичного виразу:

- абсолютна;
- відносна.

*Абсолютна похибка* – це різниця між виміряним  $x_v$  і дійсним  $x$  значенням параметру

$$\Delta x = |x_v - x|.$$

Позначатися абсолютна похибка може –  $\Delta = \pm 50$  мг.

Приклади позначень абсолютної похибки:

- номінальна маса гирі 1 кг  $\pm 50$  мг;

• діапазон вимірювання ваг середнього III класу точності від 20 г до 15 кг ± 10 г.

*Відносна похибка* – відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваного параметру

$$\overline{\Delta x} = \frac{|x_{\text{в}} - x|}{x}$$

Позначатися відносна похибка може –  $\delta = \pm 0,5$ .

Приклади позначень відносної похибки:

виміряне значення надлишкового тиску з відносною похибкою 1 бар ± 0,5%, тобто –  $P_{\text{надл}} = 1 \text{ бар} \pm 5 \text{ мбар}$ .

Дійсне значення параметра що вимірюється позначається наступним чином:

$$x = x \mp \Delta x$$

По взаємодії змін в часі і вхідної величини:

• статичні – що залишаються незмінними у часі при зміні вихідних даних;

• динамічні – що змінюються у часі.

За характером появи:

• систематичні;

• випадкові;

• промахи і грубі помилки.

Систематична похибка – складова похибки вимірювання, що залишається постійною або закономірно змінюється при повторних вимірах однієї і тієї ж величини. Причинами появи систематичних похибок можуть бути несправності засобів виміру, недосконалість методів виміру, неправильне встановлення вимірювальних приладів, відхилення від нормальних умов їх роботи тощо. Систематичні похибки у принципі можуть бути виявлені та враховані. Для цього потрібне проведення ретельного

аналізу можливих джерел похибок у кожному конкретному випадку.

Випадкові похибки змінюються випадковим чином при багатократних змінах одного та того ж параметру. Вони принципово не можуть бути враховані або усунені при вимірюваннях.

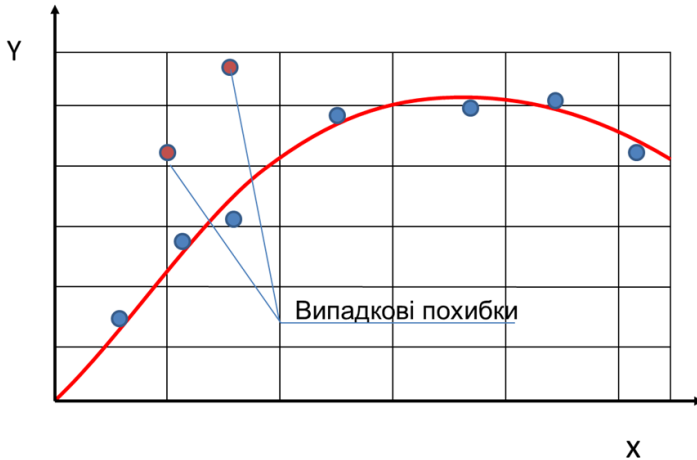


Рис. 6.1 – Приклад випадкових помилок

У багатьох випадках вплив випадкових похибок можна зменшити шляхом виконання багаторазових вимірів з наступною статистичною обробкою отриманих результатів.

Промахи і грубі помилки – надмірно великі помилки, які явно спотворюють результат вимірювання. Цей клас похибок викликаний найчастіше неправильними діями експериментатора (наприклад, через неуважність замість показання приладу «212» записується «221»), виникнення сильної короточасної перешкоди, поштоуху, порушення електричного контакту тощо.

За характером залежності похибки від величин, що впливають:

- основні;
- додаткові.

Основна похибка – це похибка за нормальних, стандартних умов експлуатації вимірювального приладу (як правило, наведена у паспорті на вимірювальний прилад).

Додаткова (систематична) похибка – зміна основної похибки при зміні умов вимірювання: тиск, температура, вологість тощо (також у більшості випадків вказується у паспорті на вимірювальний прилад).

*Наприклад:* вимір надлишкового тиску в робочих умовах цеху, за температури навколишнього середовища 40 °С, відносної вологості повітря 18% і атмосферного тиску 735 мм рт. ст., що не відповідає номінальним значенням величин, які впливають при проведенні вимірів.

За залежності абсолютної похибки від значень величини, що вимірюється:

- адитивна – не залежить від величини, що вимірюється (рис. 6.2 а);
- мультиплікативна – прямо пропорційна величині, що вимірюється (рис. 6.2 б);
- сумарна – має і адитивну, і мультиплікативну (рис. 6.2 в) або нелінійну складову.



Рис. 6.2 – Приклади а) адитивної, б) мультиплікативної, в) сумарної помилок

## 6.2 Метрологічні характеристики вимірювального перетворювача

При використанні засобів вимірювань важливо знати ступінь відповідності інформації про величину, її істинному

значенню. З цією метою для кожного засобу вимірювань вводяться та нормуються певні метрологічні характеристики.

*Метрологічні характеристики* – це характеристики властивостей вимірювального засобу, що впливають на результат вимірів та величину похибок.

Однією з основних метрологічних характеристик будь якого вимірювального перетворювача вважається приведена похибка.

*Приведена похибка* визначається як відношення абсолютної похибки  $\Delta x$  до діапазону вимірювання  $x_N$ :

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_N} = \frac{|x_B - x|}{x_N}.$$

Ще одна важлива метрологічна характеристика клас точності вимірювача.

Під *класом точності* розуміють максимально допустиму приведену похибку у нормальних (стандартних) умовах, виражену у відсотках.

Клас точності не може бути показником точності вимірювання, він тільки показує граничне значення основної приведенної похибки. Для конкретних вимірювань необхідно вказувати не тільки клас точності пристроїв, а і діапазон вимірювань.

Клас точності вимірювальних приладів у більшості випадків виражається межами основної приведенної або відносної похибки, які допускаються. При цьому основою визначення форми уявлення класу точності приладу є характер зміни основної абсолютної похибки засобу виміру.

Відповідно до [3] встановлені наступні стандартні класи точності вимірювальних перетворювачів: 0,005; 0,02; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Враховуючи клас точності можна всі існуючі прилади поділити на групи з урахуванням цього значення. Кожна з

цих груп має своє метрологічне призначення і, відповідно, здатна виконувати певне коло задач:

- технічні;
- лабораторні;
- зразкові.

*Технічні прилади* (клас точності 0,25-2,5) призначені для роботи у виробничих умовах. Вони повинні бути недорогими та надійними. В показниках таких приладів не вносять поправки на похибку вимірювання.

*Лабораторні прилади* (клас точності 0,05-0,2) призначені для точних вимірювань в лабораторних умовах і для перевірки технічних приладів. Для підвищення точності вимірювань в показання вводяться поправки, що враховують систематичні похибки.

*Зразкові прилади* (клас точності 0,005-0,05) призначені для перевірки лабораторних і технічних приладів.

Наступною метрологічною характеристикою є *ціна поділу шкали*. Це різниця значень величини, що відповідає двом сусіднім позначкам шкали.

*Чутливість* вимірювального перетворювача характеризує його здібність вимірювати малі сигнали. При зменшенні величини сигналу, що вимірюється, відносна похибка вимірювання збільшується.

При відносній похибці 100% прилад не придатний для вимірювання.

*Порогом чутливості* називається мінімальне значення величини, що вимірюється, при якій відносна похибка складає 100%

$$x_{min} = \frac{\gamma}{100} \cdot x_N.$$

Часто виміри здійснюються не одним вимірювачем, а, так званими, вимірювальними ланцюгами.

*Вимірювальний ланцюг* – сукупність перетворюючих елементів засобів вимірювань, які забезпечують здійснення

всіх перетворень параметру  $x$ , що вимірюється, у вигляд, який зручний для подальшої обробки системою.

Похибка вимірювання складного вимірювального ланцюга оцінюється по похибкам складових елементів.

Якщо вважати, що похибки усіх складових одного знаку, то результуюча похибка буде максимальною та дорівнювати сумі похибок усіх перетворювачів:

$$\gamma_{max} = \gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n.$$

На практиці частіш застосовують так звану квадратичну похибку, яка враховує незалежний та випадковий характер складових похибки:

$$\gamma_k = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \dots + \gamma_n^2}.$$

Висновки:

1. Вимірювальний ланцюг повинен складатися з перетворювачів близьких класів.
2. Для зменшення похибки вимірювального ланцюга необхідно зменшити похибки перетворювачів, з яких він складається.

### **6.3 Приклади визначення числових значень похибок**

*Абсолютна, відносна та приведена похибки.* Під час метрологічної перевірки гирі було визначено, що її маса складає 0,5 кг. А під час поточного її використання на побутових електронних вагах було визначена маса 0,53 кг. Визначити абсолютну, відносну та приведену похибки електронного приладу.

*Абсолютна похибка* –  $\Delta x = |x_B - x|$ , де  $x_B$  – виміряне значення,  $x$  – дійсне.

$$\Delta x = |x_B - x| = |0,53 - 0,5| = 0,03$$

$$\text{Відносна} - \overline{\Delta x} = \frac{|x_B - x|}{x}$$

$$\overline{\Delta x} = \frac{|x_B - x|}{x} = \frac{|0,53 - 0,5|}{0,5} = 0,06.$$

$$\text{Приведена} - \gamma = \frac{|x_B - x|}{x_N}, \text{ де } x_N - \text{діапазон вимірювань.}$$

Припустимо, що максимальне значення на шкалі вагів – 5 кг. Тоді

$$\gamma = \frac{|x_B - x|}{x_N} = \frac{|0,53 - 0,5|}{5} = 0,006.$$

*Ціна одного ділення шкали та інструментальна похибка вимірювального приладу.* Амперметр з максимальним значенням на шкалі 5 А. Кількість рисок – 50. Визначити «ціну» однієї риси та інструментальну похибку.

Ціна одного ділення шкали

$$Ц = \frac{\Pi}{n},$$

де  $\Pi$  – діапазон виміру приладу.

$$Ц = \frac{\Pi}{n} = \frac{5}{50} = 0,1\text{А.}$$

Інструментальна похибка

$$d = \frac{Ц}{2} = \frac{0,1}{2} = 0,05\text{А,}$$

де  $Ц$  – ціна одного ділення шкали.



$$d = \frac{0,1}{2} = 0,05A.$$

*Похибка спільних вимірів.* Визначити похибку розрахунку  $U$  за допомогою закону Ома за умови, що  $I = 0,5 \pm 0,01A$  (абсолютна похибка  $\Delta I = 0,01$ ),  $R = 10 \pm 0,20\Omega$  (абсолютна похибка  $\Delta R = 0,02$ ).

Визначимо коли буде найкраще значення  $U$ .

$$U_{\text{найкращ}} = I_{\text{найкращ}} \cdot R_{\text{найкращ}} = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ В.}$$

Розрахуємо відносну похибку.

$$\begin{aligned} \overline{\Delta I} &= \frac{\Delta I}{I_{\text{найкращ}}} = \frac{0,01}{0,5} = 0,02 = 2\%, \\ \overline{\Delta R} &= \frac{\Delta R}{R_{\text{найкращ}}} = \frac{0,2}{10} = 0,02 = 2\%, \\ \overline{\Delta U} &= 2\% + 2\% = 4\%. \end{aligned}$$

Загальне правило знаходження похибки спільних вимірів.

- відносна похибка суми перебуває між найбільшою і найменшою з відносних похибок доданків (діапазон).
- відносна похибка множення або ділення дорівнює сумі відносних похибок співмножників або діленого і дільника.

*Дійсна та абсолютна похибка серії вимірів.* При вимірі маси з використання важільних вагів отримали значення 99,8 г, 101,2 г, 100,3 г, 100,8 г. Інструментальна похибка приладу  $d = 0,05$  г. Знайти дійсне значення і абсолютну похибку.

Спочатку знаходимо середнє значення маси

$$m_{\text{середн}} = \frac{99,8 + 101,2 + 100,3 + 100,8}{4} \approx 100,52 \text{ г.}$$

Можна прийняти його за дійсне значення маси.  
Абсолютна похибка для кожного виміру:

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= |100,52 - 99,8| = 0,72, \\ \Delta_2 &= |100,52 - 101,2| = 0,68, \\ \Delta_3 &= |100,52 - 100,3| = 0,22, \\ \Delta_4 &= |100,52 - 100,8| = 0,28.\end{aligned}$$

Середня абсолютна похибка

$$\Delta_{\text{СЕР}} = \frac{0,72+0,68+0,22+0,28}{4} = 0,47.$$

Абсолютна похибка:

$$\Delta m = \max\{\Delta_{\text{СЕР}}, d\} = \max\{0,47, 0,05\} = 0,47 \text{ гр.}$$

Результат:  $m = m_{\text{СР}} \mp \Delta m = 100,52 \mp 0,47 \text{ гр.}$

Відносна похибка:

$$\overline{\Delta m} = \frac{0,47}{100,52} \cdot 100\% \approx 0,05\%.$$

## **РОЗДІЛ 7. ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ АВТОМАТИКИ (ФСА)**

### **7.1 Загальні відомості про ФСА.**

Автоматизація систем спостереження, контролю та управління передбачає розробку складних схем з великою кількістю елементів, комунікацій та функціональних зв'язків між ними. Для спрощення роботи інженерів-проектувальників, представників монтажних установ та експлуатантів свого часу було прийнято рішення про розробку єдиного підходу до графічного зображення таких систем функціональних схем автоматики (ФСА). Ці схеми можуть описувати будь яку автоматизовану (автоматичну) систему.

Функціональні схеми проектів автоматизації представляють собою символічне зображення апаратів (агрегатів) технологічного процесу, приладів для спостереження та контролю і комунікацій, що з'єднують їх. На них вказуються функціональні зв'язки між окремими елементами систем.

Функціональні схеми відображають функціонально-блочну структуру окремих вузлів автоматичного контролю, сигналізації, управління та регулювання процесами та визначають оснащення об'єкта управління приладами та засобами автоматизації. Функціональна схема автоматики є основним технічним документом, визначальним функціональну структуру та обсяг автоматизації.

Функціональна схема містить інформацію про види датчиків та місця їх розташування на об'єкті, вимірювальних перетворювачах, виконавчих пристроях, регуляторах та інших технічних засобах систем автоматизації, а також зв'язків між засобами автоматизації.

Ці схеми дають детальне уявлення про засоби автоматизації першого та другого рівнів розподіленої системи управління (датчики, виконавчі пристрої, локальні мережі тощо). До складання функціональних схем

приступають після докладного вивчення об'єкта автоматизації.

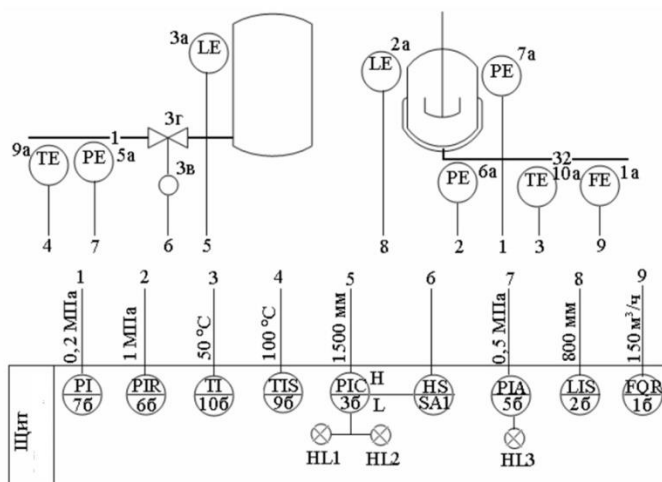


Рис. 7.1 – Приклад функціональної схеми автоматики

ФСА користуються для вивчення принципів роботи виробу, а також при його налагодженні, контролі, ремонті, проектуванні суміжних систем.

В залежності від ступеню деталізації розрізняють ФСА:

- розгорнуті;
- спрощені;
- комбіновані.

В процесі розробки ФСА ставляться наступні задачі:

- збір і первинна обробка інформації;
- розрахунок і контроль техніко-економічних показників;
- контроль відхилень параметрів;
- контроль стану обладнання;
- програмне і дистанційне керування;
- подання інформації диспетчеру;

- облік параметрів;
- облік техніко-економічних показників;
- облік стану обладнання.

При складанні функціональних схем розробляються такі основні питання:

- отримання первинної інформації про стан процесу та обладнання;
- безпосереднього впливу на процес та управління ним;
- стабілізації параметрів процесу;
- контролю та реєстрації параметрів процесу та стану обладнання.

Окремо слід звернути увагу на те, що під назвою «процес» може йти мова про технологічний процес, процес спостереження за станом навколишнього середовища, процес забезпечення фізичної та пожежної безпеки об'єкту тощо.

У процесі розробки функціональних схем здійснюють:

- вибір методів виміру технологічних параметрів;
- вибір основних технічних засобів автоматизації;
- визначення приводів виконавчих механізмів, регулюючих органів технологічного обладнання;
- розміщення засобів автоматизації на щитах, пультах, технологічному обладнанні та трубопроводах, та визначення способів подання інформації про стан процесів та обладнання.





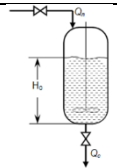
## **7.2 Правила умовних позначень на ФСА**

Функціональні схеми виконують у вигляді креслення, на якому схематично за допомогою умовних зображень показують: обладнання, комунікації, органи управління та технічні засоби автоматизації, розташовані безпосередньо на обладнанні, поруч із обладнанням (за місцем), а також у щитах та пультах із зазначенням зв'язків між ними.

*Технологічне обладнання* зображується на ФСА у вигляді найпростіших умовних графічних позначень (УГП)

без масштабу, дотримуючись тільки зорового співвідношення розмірів обладнання. Однак схема має давати ясне уявлення про принцип роботи обладнання та взаємодію його із засобами автоматизації. Внутрішній вміст зображують у необхідних випадках для показу зв'язків з пристроями автоматизації.

Таблиця 7.1 – Приклади умовних позначень технологічного обладнання

	– рідинний насос
	– газовий насос (компресор)
	– газова ємність (ресивер, газгольдер)
	– рідинна ємність (бак)
	– теплообмінник

Однотипне обладнання в системі, що працює послідовно, на ФСА показується все, а яке працює паралельно – одним апаратом.

Для зручності складанні пояснювальної записки до проекту системи автоматизації більшість елементів на ФСА нумерується. Нумерація виконується по ходу технологічного процесу.

Застосовується три типи позиційних позначень:

1. Вказується номер позиції елемента на ФСА: 1,2,3, ...

2. Арабськими цифрами вказується номер функціональної групи і номер приладу в групі: 1-1, 1-2, ..., 3-1, 3-2 ...

3. Арабської цифрою вказується номер функціональної групи, а номер приладу в групі позначається рядковою буквою кирилиці: 1а, 1б, ... 3а, 3б ...





4. Рівень управління позначається римською цифрою.

Правила будови ФСА та умовних позначень на них регламентуються [4].

Графічні зображення приладів, засобів автоматизації та ліній зв'язку повинні відповідати наведеним у таблиці 1 [4]. Допускається використовувати додаткові графічні зображення, які не передбачені у [4]. Але ці зображення обов'язково повинні бути розшифровані на схемі в частині умовних позначень.

Окрім обладнання обов'язковим елементом на ФСА є комунікації. *Комунікаціями* називаються пристрої для фізичної передачі або транспортування речовини або енергії (трубопроводи, електропроводи, транспортери, рольганги, шнеки, ліфти і т. ін.) Комунікації зображують основною лінією зі стрілками (рівносторонній трикутник 5мм), що вказують напрямок руху потоку.

Таблиця 7.2 – Приклади умовних позначень комунікацій

	– електрична
	– пневматична
	– газова ємність (ресивер, газгольдер)
	– рідинна ємність (бак)

Стрілки на комунікаціях вказують в місцях:

- на початку і кінці комунікацій;
- на вході в обладнання (на виході не показують);

- проміжні стрілки для складних схем.




Функціональні зв'язки показують взаємодію між окремими елементами, що входять до складу системи. Вони не є шляхами фізичного транспортування ресурсів. Функціональні зв'язки зображують тонкими лініями.

Кожен зв'язок показується однією лінією, незалежно від фактичної кількості проводів або трубопроводів, що здійснюють цей зв'язок.

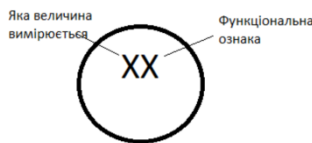
Допускається перетин лініями зв'язку технологічного обладнання та комунікацій. Не допускається перетинання лініями зв'язку умовних позначень приладів і засобів автоматизації.

*Прилади та засоби автоматизації.*

Основні умовні позначення:

-  - прилад ФСА, що розташований за місцем;
-  - прилад ФСА, що встановлений на щиті, пульті;
-  - виконавчий механізм (наприклад електродвигун на засувці).

Маркування приладів ФСА виконується за допомогою комбінації літер.



У верхню частину кола вписується функціональне позначення (вимірюваних, контрольованих, сигналізованих чи регульованих параметрів, виконуваних функцій чи функціональні ознаки перетворювачів), у нижню частину можуть бути вписані цифрові позиційні позначення приладів та пристроїв.

Згідно [4] «внутрішнє наповнення» приладу ФСА, формується за наступним принципом:





Рис. 7.2 – Принцип побудови умовного зображення приладу автоматики

Основні літерні позначення вимірюваних величин і функціональних ознак приладів наведені у таблиці 2 [4].


Таблиця 2

Позначення	Вимірювана величина		Функціональна ознака приладу		
	основне позначення вимірюваної величини	додаткове позначення, що уточнює вимірювану величину	відображення інформації	формування вихідного сигналу	додаткове значення
A	+	–	Сигналізація	–	–
B	+	–	–	–	–
C	+	–	–	Автоматичне регулювання, управління	–
D	Густина	Різниця, перепад	–	–	–
E	Електрична величина (п. 4.13)	–	+	–	–
F	Витрата	Співвідношення, частка, дріб	–	–	–
G	Розмір, положення, переміщення	–	+	–	–
H	Ручна дія	–	–	–	Верхня межа вимірюваної величини
I	+	–	Показання	–	–
J	+	Автоматичне перемикання, об'їгання	–	–	–

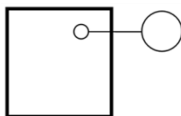
Рис. 7.3 – Фрагмент таблиці 2 [4] з літерними умовними позначеннями елементів

Таблиця 7.3 – Приклади літерних умовних позначень елементів автоматизації

Чутливі елементи (датчики)	
	Чутливий елемент (датчик) для вимірювання температури, встановлений за місцем (наприклад, термопара, термоперетворювач опору, термобалон манометричного термометра тощо).
	Чутливий елемент (датчик) для вимірювання тиску, встановлений за місцем (наприклад, показувальний манометр, дифманометр тощо).
	Чутливий елемент (датчик) для вимірювання рівню, встановлений за місцем (наприклад, датчик електричного або ємнісного рівнеміра).
<b>Примітка:</b> Датчики у будь якій групі встановлюють першими. Вони завжди встановлюються на обладнанні.	
Первинні нормуючі перетворювачі	
	Первинний вимірюючий пристрій (ПВП) для формування нормованого сигналу тиску, ПВП також встановлюються на обладнанні.
	ПВП для формування нормованого сигналу температури.
	Перетворювач електричного сигналу в електричний сигнал для дистанційної передачі. (нормуючий перетворювач або перетворювач інтерфейсів).
<b>Примітка:</b> Нормуючі перетворювачі, <u>як правило</u> , встановлюють на щіті.	
Прилади індикації та реєстрації параметрів	
	Прилад для індикації температури, встановлений на пульті оператора
	Прилад для реєстрації температури, без шкальний встановлений на щіті
	Прилад для індикації та реєстрації температури, встановлений на пульті оператора
Приладі сигналізації про досягнення гранично припустимих значень параметрів	

	Прилад для включення сигналізації про граничне верхнє значення температури, встановлений на пульті оператора
	Прилад для включення сигналізації про граничне нижнє значення температури, встановлений на пульті оператора
	Прилад для включення сигналізації про граничне верхнє та нижнє значення температури, встановлений на пульті оператора
	Прилад світлової сигналізації
	Прилад звукової сигналізації
Прилади що регулюють технологічні параметри	
	Позиційний регулятор температури, встановлений за місцем.
	Позиційний регулятор тиску, встановлений на щіті.
	Безперервний регулятор тиску, встановлений на щіті. Закон регулювання надається в пояснювальній записці)

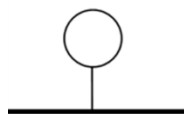
Окремі елементи в ФСА, які орієнтовані на виконання певного етапу у загальній задачі, об'єднуються у функціональні ланцюги. Першим у такому ланцюгу стоїть чутливий елемент. За необхідності для зазначення конкретного місця установки відбірного пристрою (всередині контуру технологічного апарату) його позначають колом діаметром 2 мм.



Якщо прилади вбудовані в технологічні комунікації, то їх показують у розрізі ліній, що зображують комунікації.



Якщо прилади встановлені на комунікації, то їх показують поруч. Відбірний пристрій зображають суцільною тонкою лінією, що з'єднує технологічний трубопровід або апарат з приладом.



На рисунках 7.4 та 7.5 наведено приклади зображення функціональних ланцюгів.

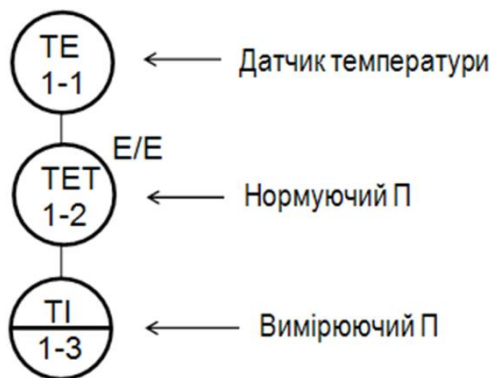


Рис. 7.4 – Приклад функціональної групи приладів вимірювання температури

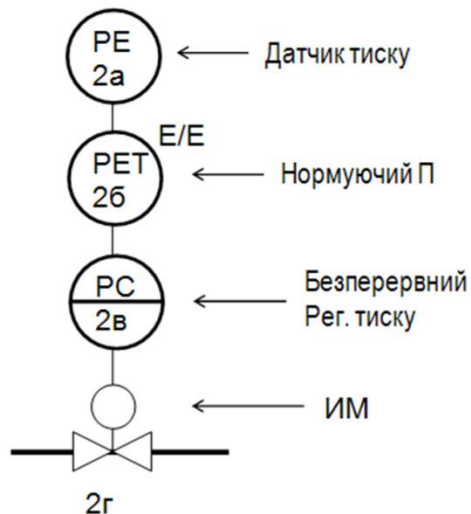


Рис. 7.5 – Приклад функціональної групи приладів безперервного регулювання тиску

ФСА можуть бути побудовані двома способами – спрощеним та розгорнутим. При спрощеному способі виконання ФСА прилади автоматизації наносять поряд із зображенням технологічного обладнання (рис. 7.6).

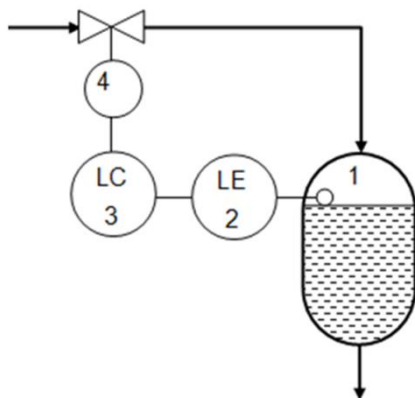


Рис. 7.6 – Спрощена функціональна схема безперервного регулювання рівня у ємності з використанням

засувки з приводом, де: 1. Резервуар, 2. Датчик рівня, 3) Безперервний регулятор рівня, 3) Виконуючий механізм (ВМ).

Даний спосіб дає лише загальне уявлення про прийняті рішення щодо автоматизації об'єкта.

На розгорнутих схемах ФСА (рис. 7.7) обладнання зображується у верхній частині схеми. На обладнанні показуються тільки первинні перетворювачі та виконавчі механізми, а інші приладі автоматики показуються у таблиці.

Допускається лінії зв'язку розривати. При цьому:

- кінці ліній зв'язку нумеруються однієї і тієї ж арабською цифрою;
- номери ліній зв'язку повинні розташовуватися горизонтально;
- для нижнього ряду з боку щита управління номери повинні слідувати в зростаючому порядку;
- для верхніх рядів вони можуть слідувати в довільному порядку.

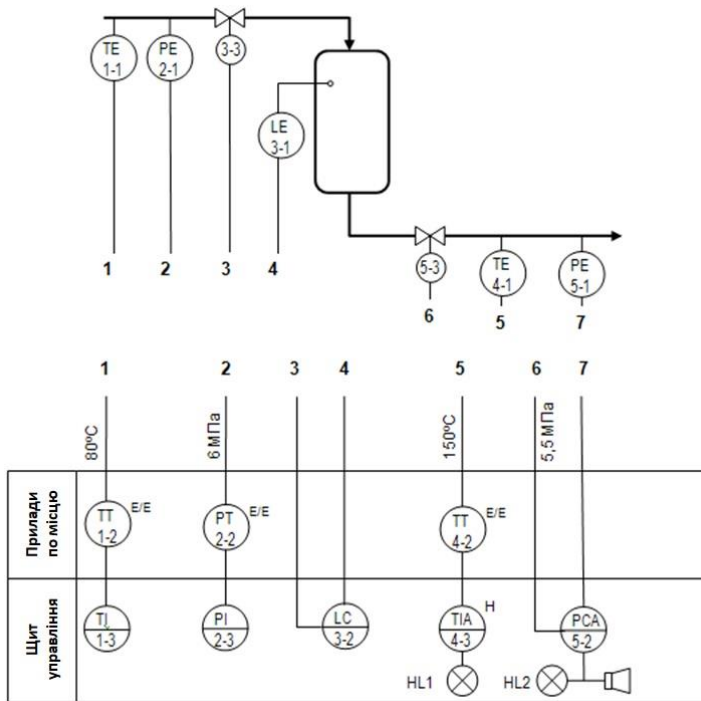


Рис. 7.7 – Розгорнута функціональна схема автоматики

На технологічне обладнання розробляється специфікація:

№ на ФСА	Найменування обладнання	Технічна характеристика	Кільк.	Примітки
1	Котел варочний	Нерж. харч. 0,3м <sup>3</sup>	10	
2				

Розгорнутий спосіб застосовують для виконання функціональних схем автоматизації, коли кожен прилад або блок, що входить до єдиного вимірювального регулюючого

або керуючого комплекту, показують окремим умовним графічним зображенням.



## **ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

АЕС – атомна електростанція

АІСПВБ – автоматизована інформаційна система пожежовибухобезпечності

НЦЗУ – Національний університет цивільного захисту України

АРМ – автоматизоване робоче місце

АС – автоматизована система

АСВЗ – автоматизована система вибухозахисту

АСЗП – автоматизована система загального призначення

АСЗПВ – автоматизована система запобігання пожеж і вибухів

АСЗ – автоматизована система зв'язку

АСОПУЕЛ – автоматична система оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей

АСОУАРП – автоматизована система оперативного управління аварійно-рятувальними підрозділами

АСПБ – автоматизована система пожежної безпеки

АСПВБ – автоматизована система пожежовибухобезпечності

АСПВЗ – автоматизована система пожежовибухозахисту

АСПГ – автоматизована система пожежогасіння

АСПДЗ – автоматизована система протидимного захисту

АСПК – автоматизована система підготовки кадрів

АСППВР – автоматизована система запобігання передпожежних і вибухонебезпечних режимів

АСППЗ – автоматизована система протипожежного захисту

АСПС – автоматизована система пожежної сигналізації

АССОУ – автоматизована система зв'язку й оперативного управління

ЦСПС – система централізованого пожежного спостереження

АСУ – автоматизована система управління

АСУПР – автоматизована система управління профілактичними роботами

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

АУП – автоматична система пожежогасіння

ВВ – вибухові речовини

ДАІ – Державна автомобільна інспекція

ДТС – диференціальний трансформатор струму

ЗДВО – засоби димовидалення і димоосадження

ЗСВ – захист від струмів витоку

ІПМ – інформаційно-пошукова мова

ІСФ – інформаційно-довідковий фонд

КГП – керівник гасіння пожежі

КОК – керуючий обчислювальний комплекс

КТЗ – комплекс технічних засобів

ЛАСППЗ – локальна автоматизована система протипожежного захисту

ЛЗР – легкозаймисті рідини

ЛСППЗ – локальна система протипожежного захисту

МАІ – Міжнародна академія інформатизації

МЗВ – модуль захисного відключення

ДСНС – Державна служба України з надзвичайних ситуацій

НС – надзвичайна ситуація

НФП – небезпечні фактори пожежі

ОПР – особа, яка приймає рішення

ПАРР – першочергові аварійно-рятувальні роботи

ПБ – пожежна безпека

ПВБ – пожежовибухобезпечність

ПГ – пальні гази

ПЕОМ – персональна електронна обчислювальна машина

ПЗУ – постійний запам'ятовуючий пристрій  
ПК – програмувальний контролер  
ГР – горючі рідини  
ПС – пожежна сигналізація  
ПРЧ – пожежно-рятувальна частина  
РВД – реле витоку диференціальні  
САПР – система автоматизованого проектування  
СВЗ – система вибухозахисту  
СДОР – сильнодіючі отруйні речовини  
СОПУЕЛ – система оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей  
СПБ – система пожежної безпеки  
СПВБ – система пожежовибухобезпечності  
СПГ – система пожежогасіння  
СПДЗ – система протидимного захисту  
СПС – система пожежної сигналізації  
ТДВС – температурний датчик витоку струму  
ТЗ – технічні засоби  
ТПТЗ – типові правила технічного змісту  
УГП – умовні графічні позначення  
ФСА – функціональні схеми автоматики  
ЦУСЗ – центр управління силами і засобами

## ЛІТЕРАТУРА

1. Аналіз пожеж, що сталися в Україні за 12 місяців 2023 р. ВДСПтаНС ІДУ НД ЦЗ, 2024. 39 с. URL: <https://idundcz.dsns.gov.ua/upload/2/0/1/8/2/6/2/analitchna-dovidka-pro-pojeji-122023.pdf>
2. Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення : ДСТУ 2708:2006. [Чинний від 2006-01-07]. К. .: ДП ВДНВЦ СМСтаЗПС, 2006. – 46 с.
3. Метрологічні аспекти неавтоматичних зважувальних приладів (EN 45501:2015, IDT) : ДСТУ EN 45501:2017. [Чинний від 2019-01-01]. К. : Держспоживстандарт України, 2017. 70 с.
4. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах : ДСТУ Б А.2.4-16:2008. [Чинний від 2010-01-01]. К. : Держспоживстандарт України, 2008. 10 с.
5. Пушкар М.С. Проектування систем автоматизації : навч. посібник / М. С.Пушкар, С. М.Проценко; М-во освіти і науки України, Державний ВНЗ "Національний гірничий ун-т".- Д.: НГУ, 2013.- 267 с.
6. Обчислення похибок прямих та опосередкованих вимірювань. Методичний посібник. Укл.: Курек І. Г., Курек Є. І., Олійнич-Лисюк А.В., Струк Я. М.– Чернівці: 2021. – 48 с.
7. Навчальний посібник до самостійного вивчення курсу "Основи метрології і електричних вимірювань" для студентів спеціальності 141 „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” денної та заочної форм навчання. – Полтава: ПолтНТУ, 2017. - 141 с.
8. Лобода О. І. Теоретичні основи автоматики. Практикум: навчальне видання / О. І. Лобода, О. М. Тодоріко, С. В. Дубініна. – Мелітополь: ФОП Однорог Т. В., 2020. – 158 с.

*Навчальне видання*

**Дерев'янюк** Олександр Анатолійович  
**Бондаренко** Сергій Миколайович  
**Антошкін** Олексій Анатолійович  
**Мурін** Михайло Миколайович

**АВТОМАТИКА ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ  
ВИБУХАМ ТА ПОЖЕЖАМ**

Посібник

Коректор *К.В. Хорошилова*  
Комп'ютерна верстка *М.А Ковревська*  
Редактор *Т.О.Шевченко*

Підписано до друку \_\_. \_\_. \_\_\_\_ р. Формат 60x84 1/16.  
Папір 80 г/м<sup>2</sup>. Друк ризограф. Ум.друк. арк. 17,44  
Тираж прим. Вид.№ 19/05. Зам.№

Розмножувально-копіювальний сектор  
Національного університету захисту України  
61023, м. Харків, вул. Чернишевського, 94