

**Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України**

В. Ю. Дендаренко, О. В. Кириченко, Є. О. Тищенко

Факультет пожежної безпеки

**КУРС ЛЕКЦІЙ**  
**з навчальної дисципліни**  
**«Технологічні вимірювання та прилади»**

Черкаси - 2017

Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Технологічні вимірювання та прилади» / Укладачі: В. Ю. Дендаренко, О. В. Кириченко, Є. О. Тищенко. - Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. – 146 с.

Кафедра пожежно-профілактичної роботи

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	3
ЛЕКЦІЯ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ .....	5
1. Теоретичні основи метрології. ....	5
2. Міжнародні та державні метрологічні організації .....	10
3. Фізичні величини та їх одиниці.....	27
ЛЕКЦІЯ 2. ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕТАЛОНИ.....	32
1. Засоби вимірювальної техніки та основні визначення.....	32
2. Еталони та їх призначення .....	42
3. Зразкові засоби вимірювальної техніки.....	49
ЛЕКЦІЯ 3. ДЕРЖАВНА МЕТРОЛОГІЧНА СЛУЖБА УКРАЇНИ.....	55
1. Державний метрологічний контроль і нагляд.....	55
2. Види державного метрологічного контролю і нагляду. ....	56
3. Органи з уповноваження.....	57
4. Обов'язки уповноважених або атестованих організацій.....	60
5. Державні випробування засобів вимірювальної техніки і затвердження їх типів.....	61
6. Державна метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки та метрологічний нагляд за забезпеченням єдності вимірювань .....	62
7. Повірка засобів вимірювальної техніки .....	62
ЛЕКЦІЯ 4. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПРИЛАДИ .....	66
1. Загальні відомості про вимірювальні перетворення .....	66
2. Класифікація та характеристики вимірювальних перетворювачів .....	71
3. Основні поняття та визначення .....	74
ЛЕКЦІЯ 5. СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОЇ ПЕРЕДАЧІ, .....	80
1. Основні поняття .....	80
2. Інформаційні процедури вимірювальних приладів.....	80
3. Аналого-цифрові а також цифро-аналогові перетворювачі.....	82
ЛЕКЦІЯ 6. ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.....	86
1. Класифікація приладів для вимірювання температури .....	86
2. Цифрові прилади для вимірювання температури .....	87
3. Тепловізори.....	91
ЛЕКЦІЯ 7. ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ РІДИН І ГАЗІВ .....	94
1. Загальні відомості та класифікація засобів вимірювання тиску.....	94
2. Рідинні та поршневі манометри .....	96
3. Диференціальні манометри.....	101
ЛЕКЦІЯ 8. ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТА ВИТРАТ .....	105

1. Загальні відомості про вимірювання витрат рідин і газів. ....	105
2. Вимірювання витрат за перепадом тиску.....	106
3. Лічильники кількості витрат.....	110
4. Ультразвукові витратоміри.....	112
ЛЕКЦІЯ 9. АНАЛІЗ СКЛАДУ ГАЗІВ.....	115
1. Загальні положення.....	115
2. Хімічні газоаналізатори.....	116
3. Теплові газоаналізатори .....	118
4. Магнітні газоаналізатори .....	122
5. Оптичні аналізатори .....	124
6. Установлення стаціонарних газоаналізаторів.....	125
ЛЕКЦІЯ 10. ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ .....	128
1 Загальні відомості .....	128
2 Вимірювання густини рідин і газів .....	129
3 Вимірювання в'язкості рідин .....	136
4. Вимірювання тиску насиченої пари рідин .....	140
5 Вимірювання теплоти згорання рідких і газоподібних палив .....	141
ЛІТЕРАТУРА.....	145

# ЛЕКЦІЯ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ

## 1. Теоретичні основи метрології.

### 1.1. Основні поняття та визначення метрології.

**Метрологія** (грец. *metron* – міра, *logos* – вчення, наука) – це наука про вимірювання, методи й засоби забезпечення єдності вимірювань і способи досягнення необхідної точності.

**Предмет метрології** – методи визначення і контролю показників якості, правила, положення та норми, способи досягнення єдності й точності вимірювань, методи перевірки мір та вимірювальних приладів, фізичні величини та одиниці вимірювань.

**Об'єкт метрології** – засоби вимірювань: міри, вимірювальні прилади, вимірювальні перетворювачі, допоміжні засоби вимірювань, вимірювальні установки та вимірювальні системи, еталони.

**Основними завданнями метрології є:** розвиток загальної теорії вимірювань, встановлення одиниць фізичних величин і узаконення певних одиниць вимірювань, розробка методик вимірювань та засобів вимірювальної техніки, забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань, встановлення еталонів одиниць вимірювань; проведення регулярної перевірки мір та вимірювальних приладів, що знаходяться в експлуатації; випробування нових засобів вимірювання тощо.

### 1.2. Правові основи метрології

Метрологічна діяльність в Україні регламентується такими нормативно-правовими документами:

- Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність», затверджений і введений в дію Постановою Верховної Ради України № 1314-VII від 05.06.2014 р., який розглядає загальні положення – основні терміни та їх визначення, сферу дії Закону, законодавство про метрологію та метрологічну діяльність, державну метрологічну систему, нормативні документи з

метрології; одиниці вимірювань, їх відтворення та зберігання, здійснення вимірювань, засоби вимірювальної техніки; застосування, ввезення, виробництво, ремонт, продаж і прокат засобів вимірювальної техніки; метрологічну службу України, її структуру, організацію; державний метрологічний контроль і нагляд, державні випробування засобів вимірювальної техніки й затвердження їх типів, державну метрологічну атестацію засобів вимірювальної техніки, акредитацію на право проведення державних випробувань, повірки та калібрування засобів вимірювальної техніки, вимірювань; права та обов'язки державних інспекторів з метрологічного нагляду, права та обов'язки державних повірників; метрологічний контроль і нагляд, що здійснюють метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій; фінансування метрологічної діяльності;

- Наказом Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики № 53 від 28.02.2005 р. «Про затвердження Типового положення про метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, органів управління об'єднань підприємств, підприємств та організацій»;

- Наказом Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики № 71 від 29.03.2005 р. «Про затвердження правил уповноваження та атестації у державній метрологічній системі»;

- Наказом Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики № 3 від 23.01.2006 р. «Про затвердження Положення про Реєстр державних, первинних і вторинних еталонів одиниць вимірювань»;

- *державними стандартами України:*

- ДСТУ 2568-94 Метрологія. Порядок атестації і використання довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів;

- ДСТУ 2708:2006 Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація і порядок проведення;

- ДСТУ 3215-95 Метрологія. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення;

- ДСТУ 3231:2007 Метрологія. Еталони одиниць вимірювань державні, первинні та вторинні. Основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування;

- ДСТУ 3400-2006 Метрологія. Державні випробування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення і розгляду результатів;

- ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення.

- *нормативними документами на державні повірочні схеми класу 17 українського класифікатора нормативних документів ДК 004:2008 (ICS:2005, MOD);*

- *нормативними документами на методи та засоби повірки і контролю;*

- *міждержавними організаційно-методичними документами з метрології.*

### **1.3. Основні поняття, пов'язані з об'єктами й засобами вимірювань**

Основні терміни метрології (згідно з ст. 1 Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність») вживаються в таких значеннях:

- *вимірювання* – відображення фізичних величин їх значеннями за допомогою експерименту та обчислень із застосуванням спеціальних технічних засобів;

- *одиниця вимірювання* – фізична величина певного розміру, прийнята для кількісного відображення однорідних з нею величин;

- *єдність вимірювань* – стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в узаконених одиницях вимірювань, а характеристики похибок або невизначеності вимірювань відомі та із заданою ймовірністю не виходять за встановлені границі;

- *метрологічна діяльність* – діяльність, яка пов'язана із забезпеченням єдності вимірювань;

- *методика виконання вимірювань* – сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірювань з гарантованою точністю;
- *засіб вимірювальної техніки* – технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики;
- *тип засобу вимірювальної техніки* – сукупність засобів вимірювальної техніки одного і того ж призначення, які мають один і той же принцип дії, однакову конструкцію та виготовлені за однією і тією ж технічною документацією;
- *еталон* – засіб вимірювальної техніки, що забезпечує відтворення та/або зберігання одиниці вимірювання одного чи декількох значень, а також передачу розміру цієї одиниці іншим засобам вимірювальної техніки;
  - *державний еталон* – еталон, визнаний спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади у сфері метрології як основа для встановлення значень усіх еталонів даної одиниці вимірювання, що є у державі;
  - *первинний еталон* – еталон, який забезпечує відтворення одиниці вимірювання з найвищою у державі (порівняно з іншими еталонами тієї ж одиниці) точністю;
  - *вторинний еталон* – еталон, який отримує розмір одиниці вимірювання безпосередньо від первинного еталона даної одиниці або, у разі його відсутності, відповідного еталона іншої держави;
  - *вихідний еталон* – еталон, який має найвищі метрологічні властивості серед еталонів даної одиниці, що є у державі, на підприємстві, в установі чи організації;
  - *робочий еталон* – еталон, призначений для перевірки чи калібрування засобів вимірювальної техніки;
  - *нормативний документ з метрології* – документ, який встановлює правила, положення, інші вимоги чи норми, що стосуються метрології та метрологічної діяльності;
  - *державна метрологічна система* – сукупність законодавчих та інших нормативно-правових актів, організаційної структури, наукової, технічної та



нормативної бази з метрології, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань у державі;

- *перевірка засобів вимірювальної техніки* – встановлення придатності засобів вимірювальної техніки, на які поширюється державний метрологічний нагляд, до застосування на підставі результатів контролю їх метрологічних характеристик;

- *калібрування засобів вимірювальної техніки* – визначення в певних умовах або контроль метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки;

- *метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки* – дослідження засобів вимірювальної техніки з метою визначення їх метрологічних характеристик та встановлення придатності цих засобів до застосування;

- *атестація методики виконання вимірювань* – процедура встановлення відповідності методики метрологічним вимогам, що ставляться до неї;

- *перевірочна лабораторія* – підприємство, установа, організація чи їх окремий підрозділ, що здійснює перевірку засобів вимірювальної техніки;

- *калібрувальна лабораторія* – підприємство, установа, організація чи їх окремий підрозділ, що здійснює калібрування засобів вимірювальної техніки;

- *вимірювальна лабораторія* – підприємство, установа, організація чи їх окремий підрозділ, що здійснює вимірювання фізичних величин, визначення хімічного складу, фізико-хімічних, фізико-механічних та інших властивостей і показників речовин, матеріалів і продукції, за винятком вимірювань, пов'язаних із оцінкою відповідності продукції, процесів, послуг, із документальним оформленням їх результатів.

Таким чином, одним із основних завдань метрології є забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань.

## 2. Міжнародні та державні метрологічні організації

### 2.1. Міжнародні метрологічні організації

Розширення культурних і економічних зв'язків між державами світу вимагало вирішення одного з невідкладних завдань – забезпечення міжнародної єдності вимірювань і одноманітності мір.

Першим кроком до вирішення цієї проблеми стало впровадження наприкінці XVIII ст. у Франції метричної системи мір. У 1870 році в Парижі з ініціативи Петербурзької академії наук відбулося засідання, на якому пропонувалося організувати комісію з виготовлення прототипів міри довжини та маси (метра й кілограма). Така комісія була організована, й у 1872 році нею прийнято рішення про створення платино-іридієвих еталонів метра та кілограма як основних одиниць метричної системи.

20 травня 1875 року 17 держав Європи та Америки, в тому числі й Росія, на Міжнародній дипломатичній конференції, з метою встановлення й підтримки міжнародної системи одиниць, підписали метричну конвенцію, яка заснувала три організації: Генеральну конференцію з мір та ваги (ГКМВ), Міжнародне бюро мір і ваги (МБМВ) та Міжнародний комітет мір і ваги (МКМВ). Структурна схема органів міжнародної метричної конвенції наведена на рис. 1.1.

Вищим органом Міжнародної метричної конвенції є ГКМВ (*фр. Conférence générale des poids et mesures*), яка збирається один раз на 4-6 років у м. Севрі (Франція) для обговорення наукових проблем з метрології та прийняття необхідних заходів щодо розповсюдження та вдосконалення метричної системи.

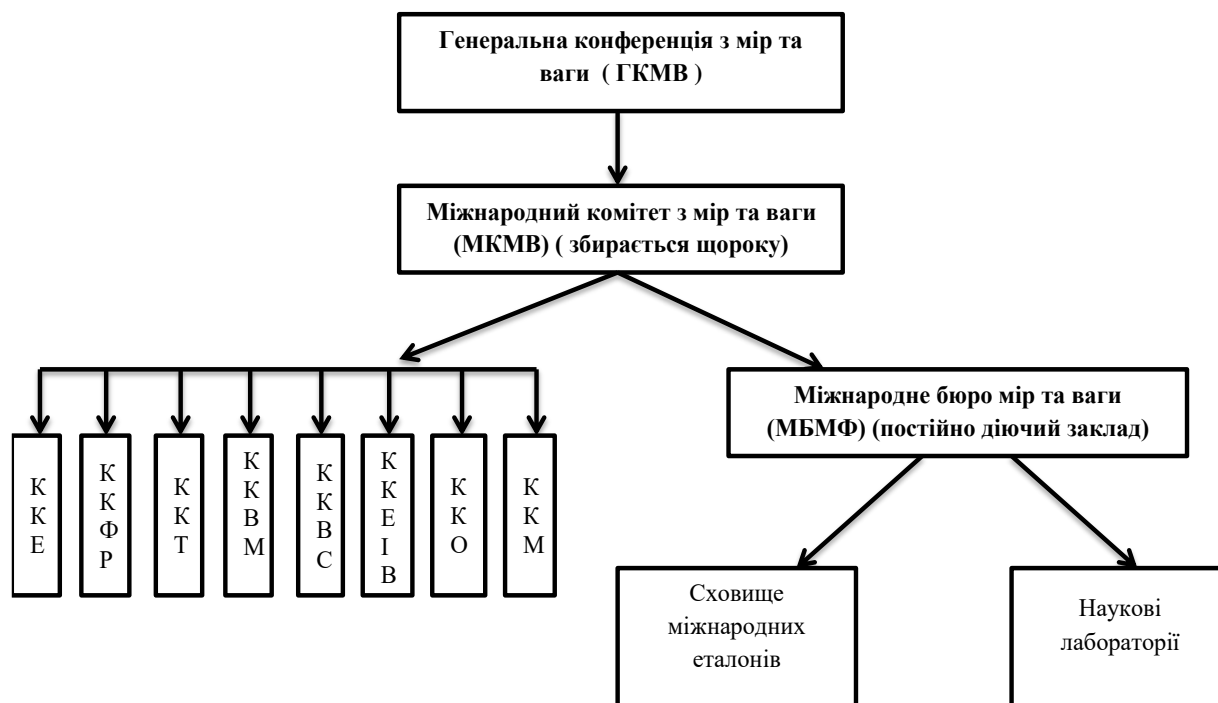


Рис. 1.1. Органи міжнародної метричної конвенції: консультативні комітети: ККЕ – з електрики; ККФР – фото і радіометрії; ККТ – з термометрії; ККВМ – з визначення метра; ККВС – з визначення секунди; ККЕІВ – еталонів іонізуючого випромінювання; ККО – з одиниць; ККМ – з визначення маси.

Одним із важливих положень метричної конвенції є затвердження нею згоди держав на утворення МБМВ (*фр. Bureau international des poids et mesures*) як наукового постійно діючого метрологічного закладу для наукової роботи та сприяння поширенню метричної системи мір у міжнародному масштабі. Бюро виконує дослідження в області **вимірювань**, організує порівняння національних стандартів і проводить відповідні калібровки. В спеціальних приміщеннях бюро зберігаються міжнародні еталони метра, кілограма, електричних і світлових одиниць, радіоактивності тощо. Бюро організовує регулярні міжнародні звіряння національних еталонів довжини, маси, електрорушійної сили, електричного опору, сили світла, світлового потоку, джерела іонізаційного випромінювання та інших зразків мір.

Діяльністю МБМВ керує МКМВ (*фр. Comité international des poids et mesures*), який щороку заслуховує і затверджує звіт про роботу бюро, його плани, фінансування тощо. Основна задача комітету – забезпечення

однаковості одиниць вимірювання у всьому світі. При МКМВ працюють 8 консультативних комітетів.

У 1956 році створена Міжнародна організація законодавчої метрології (МОЗМ) з метою вирішення таких завдань:

- створення центру документації й інформації про національні служби контролю за вимірювальними приладами та з метою їх повірки;
- уніфікація методів і правил вирішення завдань законодавчої метрології;
- переклад і випуск текстів законодавчих правил про вимірювальні засоби та їх використання;
- складання типових проектів законів і регламентів щодо вимірювальних засобів та їх використання;
- розробка проекту матеріальної організації типової служби для повірки вимірювальних приладів і контролю за ними;
- розробка характеристик та якості вимірювальних приладів, які використовуються у міжнародному масштабі.

МОЗМ об'єднує більше 90 країн. До складу МОЗМ входять: держави-члени МОЗМ (ратифікують конвенцію і беруть активну участь у роботі МОЗМ), члени-кореспонденти МОЗМ (отримують інформацію про результати роботи), також до складу МОЗМ входить Міжнародне бюро законодавчої метрології, розташоване у Парижі. Його роботою керує комітет законодавчої метрології. У МОЗМ функціонує 66 секретаріатів-доповідачів, які розробляють як загальні питання законодавчої метрології, так і питання щодо окремих видів приладів (ваги, тахометри, манометри, спиртометри та ін.).

## **2.2. Державні метрологічні організації**

Першим науковим метрологічним закладом була Головна палата мір і ваги, започаткована Д.І. Менделєєвим. Її головним завданням було збереження одноманітності, вірності й взаємовідповідності державних мір. Головна палата здійснила велику роботу щодо організації метрологічної служби в державі та перехід до метричної системи. Згодом на базі Головної палати мір та ваги був

створений Науково-дослідний інститут метрології імені Д.І. Менделєєва (1927 р.). У лабораторіях Інституту розробляються і зберігаються державні еталони основних одиниць вимірювання, нові методи точних вимірювань, сучасні засоби вимірювання та ін.

Верховна Рада України Постановою від 12 вересня 1991 р. № 1545-12 «Про порядок тимчасової дії на території України окремих актів законодавства Союзу РСР» продовжила чинність постанов Раді Міністрів колишніх СРСР та УРСР з питань організації робіт щодо стандартизації та метрології.

Центри стандартизації і метрології в Україні забезпечують державний метрологічний нагляд, експертизу, контроль за дотриманням метрологічних норм і правил та єдність вимірювання і одноманітність засобів вимірювання в нашій державі.

Враховуючи міжнародний характер стандартизації, метрології та сертифікації і необхідність взаємозамінності продукції, вузлів та елементів, а також усвідомлюючи важливість економічного та науково-технічного співробітництва всіх держав, 13 березня 1992 р. держави СНД підписали угоду про проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології та сертифікації. Відповідно до цієї угоди на території України вважаються чинними стандарти колишнього СРСР.

Угода, укладена державами СНД, передбачає:

- використання і розвиток основних положень чинних систем стандартизації і метрології;
- визнання чинних стандартів ГОСТ як міжнародних;
- збереження аббревіатури ГОСТу за повними міжнародними стандартами;
- визнання існуючих державних еталонів одиниць фізичних величин як міжнародних;
- проведення робіт з питань сертифікації на підставі загальних організаційно-методичних положень;
- створення міждержавної ради з проблем стандартизації, метрології та сертифікації.

22 листопада 2007 року в м. Ашхабад уряди держав-учасниць угоди внесли зміни до неї та виклали Положення про Міждержавну раду з питань стандартизації, метрології та сертифікації в новій редакції.

Міждержавна рада з питань стандартизації, метрології та сертифікації координує та розробляє рішення щодо проведення організаційних, методичних і науково-дослідних робіт з питань стандартизації, метрології та сертифікації. До її складу входять представники держав-учасниць, які від імені держав наділяються правом бути членами ради та уповноваженими представниками держав для виконання функцій, покладених на раду.

Рада створює Бюро стандартів для виконання робіт ради щодо гармонізації технічних регламентів, стандартизації, метрології, оцінки (підтвердження) відповідності та підготовки матеріалів для Виконавчого комітету СНД. Місцеперебуванням Бюро стандартів є м. Мінськ.

Спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади в сфері захисту прав споживачів, стандартизації, метрології, підтвердження відповідності є Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики (Держспоживстандарт України), діяльність якого спрямовується і координується Кабінетом Міністрів України.

До системи Держспоживстандарту України належать такі організації та підприємства: Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», Державне підприємство «Український центр з питань сертифікації та захисту прав споживачів», Національний науковий центр «Інститут метрології», Державне підприємство «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем», 28 державних центрів стандартизації, метрології та сертифікації, 27 територіальних управлінь у справах захисту прав споживачів тощо.

Держспоживстандарт України відповідно до покладених на нього завдань виконує такі основні функції:

- 1) вносить пропозиції щодо формування державної політики у сфері захисту прав споживачів, стандартизації, метрології та сертифікації, підтвердження відповідності, управління якістю та забезпечує її реалізацію;

2) бере участь у розробленні проектів Державного бюджету України, Державної програми економічного і соціального розвитку України, Програми діяльності Кабінету Міністрів України;

3) погоджує проекти нормативно-правових актів з питань захисту прав споживачів, реклами, стандартизації, метрології, сертифікації, підтвердження відповідності, управління якістю, що розробляється центральними органами виконавчої влади;

4) розглядає скарги, заяви й пропозиції громадян з питань, що належить до його компетенції;

5) здійснює у відповідності до законодавства функції: у сферах споживчої політики та захисту прав споживачів, стандартизації, метрології, підтвердження відповідності, управління якістю, вилучення з обігу неякісної та небезпечної продукції і подальшого поводження з нею;

6) здійснює в межах своєї компетенції контроль за додержанням законодавства у сфері регулювання виробництва і торгівлі спиртом етиловим, коньячним і плодовим, алкогольними напоями та тютюновими виробами;

7) здійснює відповідно до законодавства функції з управління об'єктами державної власності, що перебувають у його управлінні;

8) вживає в межах своєї компетенції заходів щодо вдосконалення зовнішньоекономічної діяльності, захисту інтересів вітчизняних товаровиробників на зовнішньому ринку;

9) бере участь у роботі відповідних міжнародних організацій із захисту прав споживачів, стандартизації, метрології, підтвердження відповідності, якості продукції;

10) здійснює заходи щодо галузевого співробітництва України з Європейським Союзом, у межах своїх повноважень забезпечує виконання Українською стороною зобов'язань за Угодою про партнерство й співробітництво між Україною і Європейськими співтовариствами та їх державами-членами, адаптацію законодавства України до законодавства Європейського Союзу, виконання інших заходів щодо інтеграції України до Європейського Союзу;

11) бере участь у підготовці міжнародних договорів України, готує пропозиції щодо укладання, денонсації таких договорів, у межах своєї компетенції Укладає міжнародні договори України та забезпечує виконання зобов'язань України за міжнародними договорами з питань, що належать до його відання;

12) бере участь у реалізації державної політики зайнятості, здійснює заходи щодо підготовки, перепідготовки й підвищення кваліфікації працівників сфери захисту прав споживачів, стандартизації, метрології, сертифікації, підтвердження відповідності, управління якістю;

13) забезпечує в межах визначених законодавством повноважень виконання завдань мобілізаційної підготовки та мобілізаційної готовності держави;

14) проводить інформаційно-роз'яснювальну роботу з питань, що належать до його компетенції;

15) здійснює інші функції, необхідні для виконання покладених на нього завдань.

Україна реалізує свій державний суверенітет з метою визначення свого місця серед міжнародного товариства й забезпечення миру, стабільності, добробуту українському народу, а також заради активної участі в світовій торгівлі та науковому співробітництві. Україні є що запропонувати своїм партнерам – від космічних технологій, продукції суднобудування до ліків і продуктів харчування. Якість вітчизняної продукції базується більш ніж на 200-річному досвіді, вона закріплена відповідними стандартами та сертифікатами.

16 травня 2008 року Україна набула повноправного членства в провідній міжнародній економічній організації – світовій організації торгівлі (СОТ). Реалізація цього курсу потребує подальшого розвитку та удосконалення національної системи стандартизації, метрології та сертифікації у напрямку зближення з міжнародними та європейськими стандартами, угодами й підходами. Цьому сприятиме участь України у Міжнародній організації з питань стандартизації (ISO), Міжнародній електротехнічній комісії (IEC), Міжнародній організації законодавчої метрології (OIML) та інших міжнародних організаціях, де її представляє Держспоживстандарт.



Законодавчою основою національної метрологічної системи є Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 11 лютого 1998 року № 113/98-ВР, який визначає правові основи забезпечення єдності вимірювань у нашій державі, регулює суспільні відносини в сфері метрологічної діяльності та спрямований на захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювання.

Технічною основою національної метрологічної системи є система Державних еталонів одиниць фізичних величин. Еталонна база України складається з 28 Державних еталонів одиниць фізичних величин, а саме: маси, довжини, температури, сили світла, часу, частоти, енергії згорання, тиску, об'єму рідини, прискорення, сили тяжіння, магнітної індукції, молярної частки компонентів у газовому середовищі тощо.

### **2.3. Структура метрологічної служби України**

Структура метрологічної служби України регламентується ДСТУ 2682-94 «Метрологічне забезпечення. Основні положення».

Метрологічна служба України складається з Державної метрологічної служби та метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій.

Державна метрологічна служба організовує, здійснює та координує діяльність, спрямовану на забезпечення єдності вимірювань у державі, а також виконує державний метрологічний контроль і нагляд за додержанням вимог Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», інших нормативно-правових актів і нормативних документів з метрології.

До Державної метрологічної служби належать: спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади в сфері метрології; національний науковий метрологічний центр, що належить до сфери управління центрального органу виконавчої влади в сфері метрології (ЦОВМ), державні наукові метрологічні центри, що належать до сфери управління ЦОВМ, територіальні (регіональні) органи ЦОВМ в Автономній Республіці Крим, областях, містах Києві та Севастополі, містах обласного значення,

державні служби: Державна служба єдиного часу і еталонних частот, Державна служба стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів.

Головні організації та їх спеціалізацію за видами вимірювань і напрямками діяльності визначає Держспоживстандарт України.

До відомчих метрологічних служб відносяться: підрозділи міністерств (відомств), на які покладені функції метрологічної служби; метрологічні служби об'єднань підприємств; метрологічні служби, інші підрозділи, посадові особи на підприємствах і організаціях, незалежно від форм власності, на які в установленому порядку покладені роботи з метрологічного забезпечення.

З метою підвищення ефективності функціонування метрологічних служб підприємств та організацій підрозділи метрологічної служби можуть бути підпорядковані посадовій особі, яка керує технічною політикою підприємств (організацій). Роботи з метрологічного забезпечення на підприємствах і в організаціях відносяться до основних видів робіт.

Для забезпечення організаційно-методичного керівництва та надання технічної допомоги на підприємстві й організації, які мають в метрологічній службі висококваліфікований персонал і сучасне технічне обладнання, покладаються функції головних і базових організацій метрологічних служб відповідних галузей. Головні та базові організації визначаються наказами міністерств (відомств).

Права та обов'язки метрологічних служб міністерств (відомств), підприємств та установ, головних і базових організацій метрологічних служб визначаються положеннями, затвердженими їх керівниками за узгодженням з відповідними органами державної метрологічної служби.

### ***Функції Державної метрологічної служби:***

- встановлення з урахуванням завдань соціально-економічного розвитку України пріоритетних напрямів розвитку метрології;
- розроблення наукових, технічних, законодавчих та організаційних основ метрологічного забезпечення;

- організація проведення фундаментальних досліджень нових фізичних ефектів і уточнення значень фундаментальних фізичних констант з метою вдосконалення еталонної бази;
- встановлення одиниць фізичних величин, що допускаються до застосування;
- організацію робіт, що пов'язані з розробленням, зберіганням і підтриманням на сучасному рівні еталонної бази України;
- встановлення єдиного порядку передавання розмірів одиниць фізичних величин від державних еталонів засобам вимірювань;
- встановлення єдиних вимог щодо метрологічних характеристик засобів вимірювань і характеристик похибок вимірювань;
- державний метрологічний нагляд за розробкою, виробництвом, станом, застосуванням, метрологічною перевіркою, калібруванням, ремонтом, прокатом, продажем, імпортом і зберіганням засобів вимірювань, дотриманням метрологічних норм і правил, а також за діяльністю відомчих метрологічних служб;
- державний метрологічний нагляд за кількістю фасованих товарів в упаковках під час їх продажу та розфасування;
- застосування до підприємств і організацій правових і економічних санкцій за результатами державного метрологічного нагляду;
- стандартизацію норм і правил метрологічного забезпечення;
- розроблення та затвердження державних стандартів і інших нормативних документів із забезпечення єдності вимірювань;
- організацію державної повірки засобів вимірювань;
- встановлення порядку планування і проведення сертифікації, державних випробувань і метрологічної атестації засобів вимірювань;
- затвердження типів засобів вимірювань;
- ведення Державного реєстру засобів вимірювань, допущених до застосування в Україні;
- організацію розроблення та атестації методик виконання вимірювань;

- керівництво Державними службами стандартних довідкових даних про фізичні константи, властивості речовин і матеріалів, єдиного часу та еталонних частот;
- сприяння діяльності міністерств (відомств), підприємств і організацій, що спрямована на підвищення ефективності метрологічних робіт і забезпечення єдності та потрібної точності вимірювань;
- погодження положень про метрологічні служби міністерств (відомств);
- акредитацію метрологічних служб, вимірювальних, випробувальних, аналітичних та інших лабораторій на право виконання метрологічних робіт;
- ліцензування на право виготовлення та імпорту (ввезення) засобів вимірювань;
- підготовку кадрів у галузі метрології і метрологічного забезпечення та підвищення їх кваліфікації;
- розроблення концепції участі України в роботі міжнародних організацій з метрології; а також реалізації міждержавних угод у галузі метрології і метрологічного забезпечення;
- виконання робіт, пов'язаних з взаємовизнанням результатів державних випробувань і затвердження типу, метрологічної повірки, калібрування та метрологічної атестації засобів вимірювань.

*Головна організація із забезпечення єдності вимірювань в Україні здійснює:*

- розроблення концепції забезпечення єдності вимірювань в Україні;
- розроблення наукових, методичних, організаційних і законодавчих основ забезпечення єдності вимірювань;
- координацію та виконання фундаментальних досліджень з теоретичних основ метрології, досліджень нових фізичних ефектів і уточнення фундаментальних фізичних констант з метою вдосконалення еталонної бази;
- створення та вдосконалення в закріплених видах вимірювань державних та вторинних еталонів, зразкових засобів вимірювань з урахуванням потреб економіки, в т.ч. і інтересів оборони;

- розроблення довгострокових програм створення та забезпечення функціонування державної еталонної бази;
- відтворення та зберігання в закріплених видах вимірювань одиниць фізичних величин, передавання їх розмірів засобам вимірювань, що належать державній та відомчим метрологічним службам;
- погодження положень про головні організації відомчих метрологічних служб;
- науково-методичне керівництво територіальними органами державної метрологічної служби і головними організаціями з видів вимірювань;
- розроблення законодавчих і нормативних документів, що регламентують норми та правила метрологічного забезпечення;
- аналіз стану метрологічного забезпечення закріплених видів вимірювань;
- сертифікацію, державні випробування та метрологічну атестацію засобів вимірювань у закріплених видах вимірювань;
- науково-методичне керівництво розробленням комплексних програм метрологічного забезпечення;
- метрологічну експертизу нормативних документів ДСВ;
- підготовку спеціалістів-метрологів вищої кваліфікації;
- виконання інших робіт, спрямованих на вдосконалення метрологічного забезпечення закріплених видів вимірювань або видів метрологічної діяльності;
- виконання спільних науково-дослідних робіт з метрологічними організаціями інших країн.

*Головні організації з видів вимірювань і видів метрологічної діяльності здійснюють у закріплених видах вимірювань і метрологічної діяльності:*

- виконання фундаментальних досліджень нових фізичних ефектів з метою створення і удосконалювання методів і засобів вимірювань вищої точності;
- розроблення та удосконалення державних і вторинних еталонів та вихідних зразкових засобів вимірювань;

- відтворення та зберігання в закріпленних видах вимірювань одиниць фізичних величин та передавання їх розмірів засобам вимірювань, що належать державній та відомчим метрологічним службам;
- сертифікацію, державні випробування та метрологічну атестацію засобів вимірювань;
- розроблення нормативних документів на методи і засоби перевірки засобів вимірювань;
- метрологічну експертизу нормативних документів із забезпечення єдності вимірювань;
- роботи з метрологічного забезпечення вимірювальних каналів, вимірювальних і програмних компонентів вимірювально-інформаційних систем та автоматизованих систем керування технологічними процесами;
- виконання інших робіт, спрямованих на вдосконалення метрологічного забезпечення закріплених видів вимірювань або видів метрологічної діяльності;

*Державна служба єдиного часу і еталонних частот здійснює:*

- відтворення і зберігання розмірів одиниць часу та частоти;
- формування і зберігання національних шкал атомного й координованого часу;
- визначення параметрів обертання Землі й передачу споживачам даних про ці параметри;
- передачу з заданою точністю еталонних сигналів частоти й часу каналами електрозв'язку та забезпечення споживачів цих сигналів офіційною інформацією довідкового характеру;
- здійснення метрологічного контролю за відповідністю частотно-часової інформації, що передається, встановленим нормам і прийняття необхідних заходів на підтримання параметрів еталонних сигналів частоти і часу в заданих межах.

*Державна служба стандартних зразків речовин і матеріалів здійснює:*

- розроблення основних напрямів метрологічного забезпечення вимірювань складу й властивостей речовин і матеріалів на базі застосування стандартних зразків;
- координацію робіт із розроблення та виготовлення державних стандартних зразків;
- організацію робіт з метрологічного оцінювання та атестації методик виконання вимірювань складу і властивостей речовин і матеріалів із застосуванням стандартних зразків;
- виконання науково-дослідних робіт у галузі створення та застосування стандартних зразків;
- розроблення нормативних і методичних документів з питань стандартних зразків;
- акредитацію головних і базових організацій з розроблення стандартних зразків;
- експертизу, атестацію і затвердження стандартних зразків;
- інформаційне забезпечення підприємств і організацій з питань стандартних зразків;
- ведення реєстру державних стандартних зразків;
- участь у співробітництві з зарубіжними службами стандартних зразків.

*Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні константи, властивості речовин і матеріалів здійснює:*

- встановлення і прогнозування потреби економіки України в довідковій інформації про властивості речовин і матеріалів;
- підготовку довідкової інформації про фізичні константи й властивості речовин і матеріалів;
- виконання науково-технічної експертизи й атестації стандартних довідкових даних;
- розроблення методичних та інших нормативних документів, що регламентують функціонування служби стандартних довідкових даних;

- виконання метрологічної експертизи нормативних документів з питань, які мають відношення до стандартних довідкових даних;
- координацію, науково-методичне й метрологічне забезпечення науково-дослідних робіт щодо визначення властивостей речовин і матеріалів, з систематизації та оцінювання вірогідності даних про властивості речовин і матеріалів, що публікуються в технічній літературі;
- виконання наукових досліджень у галузі вдосконалення методів одержання, оцінки вірогідності, систематизації, узагальнення і застосування даних про властивості речовин та матеріалів;
- інформаційне забезпечення підприємств і організацій України достовірними довідковими даними про фізичні константи та властивості речовин і матеріалів;
- участь у співробітництві з зарубіжними центрами даних і службами стандартних довідкових даних.

*Територіальні органи державної метрологічної служби здійснюють на закріпленій за ними території:*

- зберігання і підтримування на належному рівні робочих еталонів і вихідних зразкових засобів вимірювань та передавання розмірів одиниць фізичних величин зразковим і робочим засобам вимірювань;
- державний метрологічний нагляд за розробленням, виробництвом, станом, застосуванням, метрологічною повіркою, калібруванням, ремонтом, зберіганням, прокатом, продажем, імпортом засобів вимірювань і дотриманням метрологічних норм та правил, а також за діяльністю відомчих метрологічних служб;
- державний метрологічний нагляд за кількістю фасованих товарів в упаковках під час їх продажу та розфасування;
- державні випробування засобів вимірювань;
- державну повірку та метрологічну атестацію засобів вимірювань;
- узгодження положень про базові організації метрологічних служб і метрологічні служби підприємств та організацій;
- виконання особливо точних вимірювань;



- підготовку та підвищення кваліфікації метрологів;
- аналіз стану вимірювань у регіоні;
- участь в атестації вимірювальних, випробувальних, аналітичних та інших лабораторій;
- акредитацію метрологічних служб і підрозділів підприємств і організацій незалежно від форм власності на право виконання метрологічних робіт;
- ліцензування діяльності підприємств та організацій незалежно від форм власності, а також громадян-суб'єктів підприємницької діяльності на право ремонту, прокату й продажу, відомчої метрологічної повірки та калібрування засобів вимірювань;
- інформаційне забезпечення відомчих метрологічних служб регіону з питань метрологічного забезпечення;
- виконання інших робіт із метрологічного забезпечення.

### ***Відомчі метрологічні служби***

Підрозділи міністерств (відомств), які виконують функції метрологічної служби, здійснюють:

- визначення основних напрямів розвитку робіт з метрологічного забезпечення розроблення, виробництва, випробувань і експлуатації продукції на підпорядкованих підприємствах та організаціях;
- аналіз стану вимірювань на підпорядкованих підприємствах (організаціях);
- установа раціональної номенклатури застосовуваних засобів вимірювань;
- розроблення та впровадження державних і галузевих стандартів з питань метрологічного забезпечення;
- розвиток відомчої метрологічної служби, координацію діяльності головних і базових організацій метрологічних служб;
- організацію розроблення та випуску зразкових засобів вимірювань, необхідних для виконання повірки засобів вимірювань, що випускаються;

- організацію проведення робіт, необхідних для забезпечення єдності й потрібної точності вимірювань на підпорядкованих підприємствах, у т.ч. відомчої повірки, калібрування та метрологічної атестації засобів вимірювань;
- організацію та проведення відомчого метрологічного контролю;
- організацію підготовки та підвищення кваліфікації кадрів у галузі метрології;
- роботи з міжнародного співробітництва в галузі метрології.

*Головні організації метрологічних служб здійснюють:*

1) перспективне планування робіт із метрологічного забезпечення розроблення, виробництва, випробувань та експлуатації продукції;

2) координацію діяльності й методичне керівництво базовими організаціями метрологічної служби та метрологічними службами підприємств і організацій;

3) розроблення та впровадження методів і засобів вимірювань, автоматизованого контрольовано-вимірювального обладнання, вимірювально-інформаційних систем, комплексів повір очного обладнання, а також стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів у закріплених видах діяльності;

4) організацію робіт із створення та впровадження методик виконання вимірювань;

5) метрологічну експертизу технічних завдань, проектної конструкторської, технологічної документації, проектів стандартів та інших нормативних документів, методик виконання вимірювань;

6) відомчий метрологічний контроль за діяльністю базових організацій метрологічної служби та метрологічних служб підприємств, за розробленням, виробництвом, станом, застосуванням і додержанням метрологічних норм та правил.

### 3. Фізичні величини та їх одиниці

#### 3.1. Види фізичних одиниць

**Поняття фізичної величини** – це найзагальніше поняття у фізиці та метрології. Під фізичною величиною слід розуміти властивість, спільну в якісному відношенні для багатьох матеріальних об'єктів та індивідуальну в кількісному відношенні для кожного з них. Так, усі об'єкти мають масу й температуру, проте для кожного окремого об'єкта як маса, так і температура різні та конкретні за певних обставин. Розглядаючи електричну схему, можна сказати, що по всіх гілках проходить струм, але у кожній гілці він різний за величиною.

Для встановлення різниці за кількісним вмістом властивостей у кожному об'єкті вводиться поняття «розмір фізичної величини».

Між розмірами кожної фізичної величини існує відношення, яке має ту саму логічну структуру, що й між числовими формами (цілими, раціональними чи дійсними числами, векторами). Тому множина числових форм з визначеними співвідношеннями між ними може слугувати моделлю фізичної величини, тобто множини її розмірів та співвідношення між ними.

Правила, відповідно до яких числові форми приписуються розмірам величин, обумовлюються присутністю тих чи інших відношень та множини їх розмірів. Виходячи з цього, можна виділити три групи фізичних величин, вимірювання яких здійснюється за принципово різними правилами.

*До першої групи* відносяться величини, множина розмірів яких визначається лише за відношеннями типу «тверде – м'яке», «тепле – холодне», «кисле – солодке» та ін. В математиці такі відношення дістали назву *відношення порядку й еквівалентності*. Наявність подібних відношень встановлюється теоретично, виходячи із загально-фізичних міркувань, або ж експериментально, за допомогою засобів вимірювання та експериментатора. Так, без особливих зусиль можна визначити, що мідь твердіша за гуму, але визначити відмінність сплавів міді з іншими металами (свинцем, оловом) за

твердістю без засобів вимірювання просто неможливо, тому що за твердістю ці метали не сильно відрізняються.

*Друга група величин* характеризується тим, що відношення порядку й еквівалентності стосується не тільки розмірів величин, а й відмінностей у парах цих розмірів. До другої групи відносяться такі величини, як потенціал, енергія, температура та інші. Можливість порівняння інтервалів їх розмірів зумовлена самими визначеннями цих величин. Так, інтервали температур будуть однаковими, якщо будуть однакові відстані між відповідними поділками на шкалі ртутного термометра. Йдеться не про температуру як ступінь нагрітості тіла, а лише про рівність інтервалів температур.

*Для третьої групи величин* крім згаданих раніше визначень характерні відношення, названі *операціями*, що подібні до арифметичного додавання та віднімання. Операція приймається визначеною, якщо її результати (сума чи різниця) за розмірами подібні до фізичної величини й вона може бути технічно реалізованою. За допомогою операції додавання можна реалізовувати операцію множення на число  $n$ . Результат такого множення відповідає сумі  $n$  розмірів певної вимірюваної величини. До таких величин відносяться: довжина, тиск, маса, термодинамічна температура тощо. Сума двох мас є масою такого тіла, яка врівноважує маси двох тіл. За наявності різниці двох тіл врівноваження терезів проводиться масою тіла, поміщеного на легшу чашу.

До величин третьої групи можна також віднести множину інтервалів розмірів величин другої групи, тому що для них можливо встановити операцію, подібну до додавання. Оскільки всі арифметичні операції зводяться до додавання, то ці величини виявляються найпридатнішими для використання у фізиці. Тому їх найчастіше називають *фізичними*.

З розвитком науки й техніки визначення фізичних величин постійно уточнюється.

Уточнення визначень в напрямку, що дозволяє відкрити більше число відношень у множині їх розмірів і ввести їх для третьої або ж хоча б до другої групи величин, дає можливість спростувати аналітичний вираз фізичних законів.

Властивості об'єкта, який характеризується певною основою для нього величиною, описуються за допомогою інших, раніше визначених величин. Це обумовлено наявністю об'єктивних взаємозв'язків між властивостями об'єктів, які можна записати за допомогою величин і подати у вигляді моделі об'єкта. Модель об'єкта описується сукупністю рівнянь, які й називаються *рівняннями між величинами*. За їх допомогою формулюється визначення певних величин та вказуються способи вимірювання останніх.

У будь-якому розділі науки кількість рівнянь завжди менша, ніж кількість вхідних величин, тому прийнято виділяти в окрему групу величини, кількість яких дорівнює різниці між кількістю величин і кількістю незалежних рівнянь.

Ці величини й відповідні їм одиниці вимірювання називаються основними *величинами* і основними одиницями. Решта величин і одиниць, які однозначно визначають через основні, називаються похідними.

Сукупність вибраних основних і похідних величин називається системою величин. Так само визначається і система одиниць.

### **3.2. Системи одиниць фізичних величин**

Першою системою одиниць фізичних величин була ухвалена 7 квітня 1795 року Національними зборами Франції метрична система мір. До її складу увійшли одиниці довжини, площі, об'єму та ваги, в основу яких було покладено дві одиниці: метр та кілограм.

У 1882 році вчений К. Гаусс запропонував методику побудови системи величин і одиниць як сукупності основних похідних. Він побудував систему величин, у якій за основу були прийняті три довільні, незалежні одна від одної величини: довжина, маса та час. Решта величин визначалась за допомогою вибраних трьох.

З подальшим розвитком науки й техніки виникли інші системи одиниць фізичних величин, які відрізнялися одна від одної одиницями фізичних величин: системи СГС, МКГСС, МТС.

### 3.3. Міжнародна система одиниць

Наявність численних систем одиниць фізичних величин, а також значної кількості позасистемних одиниць спричинило багато незручностей при переході від однієї системи одиниць в іншу, а отже, потрібно було якнайшвидше уніфікувати одиниці вимірювання.

У 1954 році X Генеральна конференція з мір і ваги встановила шість основних одиниць (метр, кілограм, секунда, ампер, градус Кельвіна, свічка) практичної системи одиниць для міжнародних відносин. Міжнародний комітет з мір і ваги створив комісію щодо розробки єдиної Міжнародної системи одиниць. Система одержала назву *Міжнародної системи одиниць*, скорочено SI (SI – початкові букви французької назви *Systeme International*).

Ухвалення Міжнародної системи у 1960 році IX Генеральною конференцією з мір і ваги було важливим прогресивним актом, який закріпив велику багаторічну роботу з цього питання і узагальнив досвід роботи наукових організацій з метрології, стандартизації, фізики й електротехніки.

Міжнародна система одиниць прийнята Міжнародним союзом фізиків, Міжнародною електротехнічною комісією й іншими міжнародними організаціями. В більшості країн на законодавчому рівні система SI визнана чинною.

В 1997 році Держстандарт України ухвалив постанову про введення у державі Міжнародної системи одиниць ДСТУ 3651.0-97 «Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення».

*Перевагами Міжнародної системи одиниць SI є:*

- універсальність, що забезпечує її використання в науці, техніці й господарстві;
- уніфікованість одиниць для всіх видів вимірювання. Так, замість кількох одиниць тиску (атм., мм. рт. ст., мм. вод. ст., бар та інші) у SI визнана єдина одиниця тиску – паскаль (Па); замість кількох одиниць роботи й енергії ухвалена одиниця – джоуль (Дж);

- когерентність системи: коефіцієнти пропорційності в фізичних рівняннях для визначення похідних величин дорівнюють одиниці;
- використання зручних для практичних вимірювань основних та похідних одиниць;
- чітке розмежування одиниць маси (кілограм) і сили (ньютон);
- спрощений запис рівнянь і формул завдяки відсутності перехідних коефіцієнтів переведення з однієї системи в іншу;
- позбавлення необхідності визначати всі системи одиниць;
- сприяння розвитку міждержавних науково-технічних та економічних зв'язків.

### 3.4. Основні одиниці системи SI

У 1954 році X Генеральна конференція з мір і ваги затвердила основні одиниці Міжнародної системи одиниць, які мають охоплювати всі галузі науки й техніки, бути основою для утворення похідних одиниць, забезпечувати зручність для практичних вимірювань і відтворюватися за допомогою установок і еталонів з найбільшою точністю.

У 1971 році XIV Генеральна конференція з мір і ваги затвердила цьому основну одиницю кількості речовини – моль.

Основні одиниці системи SI зі скороченими позначеннями українськими та латинськими буквами наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Основні одиниці системи SI

Величина	Одиниця вимірювання	Скорочені позначення одиниць	
		українські	латинські
довжина	метр	м	m
маса	кілограм	кг	kg
час	секунда	с	s
термодинамічна температура	кельвін	К	K
сила світла	кандела	кд	cd
кількість речовини	моль	моль	mol

## ЛЕКЦІЯ 2. ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕТАЛОНИ

### 1. Засоби вимірювальної техніки та основні визначення.

#### 1.1. Засоби вимірювальної техніки

Вимірювання фізичних величин зазвичай здійснюється шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів. Залежно від виду вимірюваних величин, необхідної точності їх, умов проведення експерименту та виду потрібної інформації використовуються різноманітні засоби вимірювальної техніки, що видають відповідні сигнали вимірювальної інформації. Будь-яка фізична вимірювана величина завдяки засобам вимірювання перетворюється на відповідний сигнал, який спостерігач сприймає безпосередньо на шкалі приладу, або ж після перетворення і опрацювання передається через канали зв'язку на інші засоби вимірювання у вигляді сигналу зовсім іншої фізичної величини. Наприклад, вимірювання температури, тиску, густини супроводжуються перетворенням вимірюваної величини на сигнал (електричний, пневматичний, механічний), який за допомогою засобів відтворення видає значення вимірюваної величини на шкалі приладу.

Наведемо деякі визначення.

*Сигнал* — фізичний процес, властивості якого визначаються взаємодією між матеріальним об'єктом та засобом його дослідження.

*Параметр сигналу* — одна з властивостей сигналу, яка подається фізичною величиною.

*Інформативний параметр* — параметр сигналу, який функціонально пов'язаний з вимірюваною величиною або ж має задане значення.

*Вихідний сигнал* — вимірювальний сигнал, який виникає під час взаємодії об'єкта вимірювання і засобу вимірювання.

*Сигнал вимірювальної інформації* — сигнал, який представляє вимірювальну інформацію на виході засобу вимірювання.

*Засіб вимірювальної техніки* — технічний засіб, який застосовується під час вимірювань фізичних величин і має нормовані метрологічні



характеристики. До засобів вимірювальної техніки відносяться засоби вимірювань та вимірювальні пристрої.

*Засіб вимірювань* — засіб вимірювальної техніки, який реалізує процедуру вимірювань. До засобів вимірювань підносяться кодувальні, реєструвальні засоби вимірювань, вимірювальні прилади, канали, установки та системи.

*Вимірювальний пристрій* — засіб вимірювальної техніки, в якому виконується лише одна зі складових частин процедури вимірювань. Наприклад: перетворення, масштабування, порівняння, обчислення сигналу та інші операції із сигналом.

Засоби вимірювальної техніки — досить широке поняття, яке охоплює міри, компаратори, вимірювальні прилади і перетворювачі, вимірювальні установки і системи та допоміжні засоби. Одні з цих засобів досить прості, інші — досить складні як за функціональним призначенням, так і за будовою та методами обробки сигналу вимірювальної інформації.

*Мірою* називається засіб вимірювання, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру. Наприклад: ваги — міри маси: 1 кг; 0,5 кг; 0,2 кг; 0,1 кг та ін.

*Компаратор* — вимірювальний пристрій, що здійснює порівняння однорідних фізичних величин.

*Вимірювальний прилад* — засіб вимірювання, призначений для формування інформації у доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем формі. За формою видачі інформації прилади поділяються на **аналогові**, покази яких є неперервною функцією вимірюваної величини, та **цифрові**, покази яких дискретні, а інформація подається у цифровій формі. Крім того, прилади бувають показові, самописні, сигнальні, регульовальні з лічильниками, з нормувальними перетворювачами та іншими додатковими функціональними засобами.

*Вимірювальний перетворювач* — засіб вимірювання, призначений для формування сигналу вимірюваної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки та збереження, хоч безпосередньо він не сприймається спостерігачем.

Вимірювальні перетворювачі досить різноманітні як за принципом дії, так і за характером вихідного сигналу. Вони класифікуються:

- *за видом вимірювальної величини* (перетворювачі температури, тиску, рівня, густини та ін.);
- *за принципом дії і використання енергії живлення* (пневматичні, електричні, гідравлічні та ін.);
- *за видом і характером вихідного сигналу* (неперервні, дискретні).

Важливою характеристикою первинного вимірювального перетворювача є функціональна залежність між вимірюваною величиною та вихідним сигналом перетворювача (краще лінійна залежність).

*Вимірювальна установка* — сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів та інших допоміжних пристроїв, конструктивно об'єднаних та призначених для формування сигналів вимірювальної інформації у формі, доступній для сприймання спостерігачем. Прикладом такої установки може бути установка для визначення якості хліба, виноматеріалів тощо.

*Вимірювальна система* — сукупність засобів вимірювальної техніки (мір, вимірювальних приладів та перетворювачів), засобів діагностування та допоміжних засобів, об'єднаних між собою каналами зв'язку з метою формування сигналів вимірювальної інформації у формі, доступній для автоматичного опрацювання, збереження, передачі й використання в автоматичних системах управління.

*Вимірювальний канал* — сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів зв'язку та інших технічних засобів, призначених для створення сигналу вимірювальної інформації про одну вимірювану фізичну величину.

До *допоміжних засобів вимірювання* відносяться засоби, які впливають на метрологічні властивості інших засобів вимірювання при використанні останніх за прямим призначенням чи з метою їх повірок. Покази допоміжних засобів вимірювання використовуються для обчислення поправок до результатів вимірювання приладами прямого призначення. Наприклад, використання термометра для вимірювання температури навколишнього середовища при вимірюванні тиску вагопоршневим манометром або ж

використання допоміжних засобів вимірювання для стабілізації величин, що впливають на точність вимірювання основних величин (використання психрометрів для вимірювання та стабілізації вологості при точних інтерференційних вимірюваннях довжин).

Значення вимірюваної величини відраховується на шкалі засобу вимірювальної техніки. Шкали бувають: прямолінійні, дугові, рівномірні, нерівномірні, кругові, профільні, з нулем на початку і посередині шкали та ін.

*Шкалою засобу вимірювання* називається частина показового пристрою у вигляді упорядкованої сукупності позначок разом із пов'язаною з нею певною послідовністю чисел. Числа, як правило, відповідають значенню вимірюваної величини, від якої вказується на шкалі (температура, густина, швидкість тощо), а також зазначається клас точності та градування.

*Поділка шкали* — частина шкали між двома сусідніми поділками. В автоматичних потенціометрах і мостах кількість поділок дорівнює 100, 50, 25.

*Ціною поділки* називається найменше значення вимірюваної величини, яке відповідає 1 поділці. При визначенні вимірюваної величини кількість поділок перемножують на її ціну. Наприклад, якщо відлік на шкалі міліамперметра відповідає 15,0 поділки, а ціна поділки дорівнює 2 тА, то покази приладу відповідають 30 тА. Слід пам'ятати, що найменший відлік вимірюваної величини на шкалі приладу дорівнює половині поділки.

## **1.2. Характеристики засобів вимірювальної техніки**

Залежно від призначення, будови, принципу дії, засоби вимірювальної техніки мають різні характеристики, які визначаються точністю, правильністю, чутливістю, відтворенням, збіжністю, швидкодією та надійністю роботи.

Результати вимірюваної величини визначаються за шкалою приладу, діапазон показів якого обмежений початковим і кінцевим значенням.

*Діапазон вимірювань* — інтервал вимірюваної величини, у межах якого прономовані похибки засобу вимірювання.

Досить часто діапазон вимірювань подається не в одиницях вимірюваної величини, а у вигляді нормованого сигналу для відповідних оцифрованих

значень шкали засобу вимірювання і називається *градуовальною характеристикою*. Вона встановлюється як залежність між значеннями вимірюваної величини на вході та виході засобу вимірювань, отриманими під час градування та поданими у вигляді таблиці, графіка або формули. Наприклад, градуовальна характеристика автоматичного потенціометра, моста, логометра та інших прикладів подана таблично як залежність показань температури на шкалі приладу від вхідного сигналу, мілівольтах.

*Точністю засобу вимірювання* називається характеристика засобу вимірювань, яка визначається за близькістю його показів до істинного значення вимірюваної величини або ж близькістю до нуля всіх його похибок (випадкових, систематичних методичних та інших).

*Правильністю засобу вимірювань* називається характеристика, яка показує близькість до нуля його систематичних похибок.

Важливою характеристикою засобу вимірювання є його *чутливість*, що розраховується з відношення зміни вихідної величини засобу вимірювання до зміни вхідної величини, яка спричинила цю зміну.

*Поріг чутливості* — найменше значення вимірюваної величини, яке може бути виявлене засобом вимірювання, тобто на виході засобу вимірювання відбудеться зміна вихідної величини хоча б на 0,5 поділки.

Поряд з приведеними характеристиками важливе значення мають характеристики якості засобів вимірювань, які вказують на близькість результатів вимірювань, виконаних як в однакових, так і в різних умовах експерименту.

*Збіжність засобу вимірювань* — характеристика якості, яка відображає близькість результатів вимірювань однієї і тієї самої величини у однакових умовах.

*Відтворюваність засобу вимірювань* — характеристика якості, яка відображає близькість результатів вимірювань однієї і тієї самої величини, виконаних у різних умовах, різних місцях, різними методами і засобами вимірювань.

*Стабільність засобу вимірювань* — характеристика якості засобу вимірювань, яка вказує на незмінність у часі його метрологічних властивостей.

*Швидкодія засобу вимірювань* характеризується часом реагування засобу вимірювання на зміну вхідної вимірюваної величини. Для автоматичних приладів швидкодія — час переміщення каретки з одного кінця в другий кінець шкали приладу.

*Надійність засобу вимірювання* характеризується збереженням безвідмовної роботи протягом заданого достатнього часу. Надійність характеризується такими показниками: часом безвідмовної роботи, терміном роботи, наробкою на відмову та ін. Індикатори надійності роботи засобу вимірювання характеризують за його працездатністю або можливістю виконувати свої функції відповідно до технічних вимог.

Слід зауважити, що на характеристики засобів вимірювальної техніки негативно впливають зовнішні умови (температура, тиск, вологість, вібрація, магнітні поля та ін.), тому умови експлуатації засобів вимірювальної техніки повинні відповідати умовам їх градування, вказаним у технічних паспортах.

### **1.3. Похибки засобів вимірювальної техніки**

Вимірювання фізичних величин не можна виконати абсолютно точно через недосконалість методів і засобів вимірювальної техніки, а також через вплив зовнішнього середовища та залежно від індивідуальних особливостей спостерігача.

Внаслідок дії багатьох випадкових та детермінованих чинників, які проявляються як у процесі виготовлення та експлуатації засобів вимірювань, так і в процесі вимірювань, покази вимірювальних приладів неминуче відрізняються від істинного значення вимірюваної величини.

Такі відхилення характеризуються похибками засобів вимірювань. Розрізняють похибки абсолютні, відносні, приведені тощо.

*Абсолютною похибкою засобу вимірювань* називається різниця між показом засобу вимірювань та істинним значенням вимірюваної величини.

*Відотною похибкою засобу вимірювань* називається відношення абсолютної похибки засобу вимірювань до істинного або дійсного значення вимірюваної величини.

*Статичні похибки* мають місце при вимірюванні величини після закінчення перехідних процесів в елементах та перетворювачах засобу вимірювання.

*Динамічні похибки* з'являються при вимірюванні змінних величин і зумовлені інерційними властивостями засобів вимірювань.

Статичні похибки у свою чергу поділяються на *випадкові* та *систематичні*. При технічних вимірюваннях фізичних величин як на процес вимірювання, так і на вимірювану величину діють чинники, виникнення яких має стохастичний характер за непередбаченої інтенсивності. Чинники впливу як з'являються, так і зникають несподівано, їх виникнення неможливо передбачити у заданому інтервалі часу.

У загальному випадку *випадкові похибки* слід розглядати як випадкову функцію часу, вимірюваної величини та зовнішніх чинників.

*Систематичні похибки* у загальному випадку є функцією вимірюваної величини, чинників впливу (температури, вологості та ін.), конструктивних характеристик засобів вимірювань та методів вимірювань.

Систематична похибка засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) залишається постійною або ж закономірно змінюється, тому її завжди можна врахувати при кінцевих результатах вимірювання.

Систематичні похибки визначаються при повірках та атестаціях зразкових та робочих ЗТВ, а в результатах вимірювання враховуються як поправки з протилежним знаком. Поправка у кожній оцифрованій точці шкали чисельно дорівнює систематичній похибці і обернена до неї за знаком.

Систематичні похибки як функцію вимірюваної величини можна показати як суму похибок схеми, яка визначається самою структурою засобу вимірювань, та технологічних похибок, обумовлених похибками виготовлення елементів цього засобу. *Похибки схеми і технологічні похибки* можна розглядати як систематичні лише при вимірюванні постійної вимірюваної величини за допомогою одного зразка засобу вимірювань. У загальній же масі вимірювань фізичних величин за допомогою багатьох засобів вимірювань одержані систематичні похибки слід відносити до класу випадкових.

*Похибки схеми і технологічні похибки* суттєво і принципово відрізняються. Якщо перші впливають на характер зміни по шкалі сумарної похибки всіх засобів вимірювання, то технологічні похибки індивідуальні для кожного зразка ЗВТ, тобто їх значення для кожного приладу в одній і тій самій точці різні.

Слід пам'ятати, що характеристики елементів засобів вимірювальної техніки змінюються при їх експлуатації в екстремальних умовах або агресивному середовищі. Це відбувається з двох причин: природні процеси старіння та зносу елементів засобів вимірювань, навіть якщо їх експлуатація відбувається в умовах, близьких до умов градування. Ці причини можна віднести до інструментального виявлення нестабільності характеристик.

*Клас точності* — узагальнена характеристика засобу вимірювальної техніки, що визначається границями його допустимих основних і додаткових похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на його точність, значення яких регламентуються стандартами на окремі види засобів вимірювань.

Історично склалося так, що усі засоби вимірювань, крім кутових та довжин, поділені на класи точності.

Той чи інший клас точності присвоюється засобам вимірювальної техніки на основі визначеної для них основної похибки та способу її виявлення. Засобам вимірювань з більшою межею основної похибки присвоюється клас точності з більшим порядковим номером, а з меншою межею похибки — менший номер. Клас точності засобів вимірювання характеризує їхні точнісні властивості, але не є безпосереднім показником точності вимірювання, оскільки точність залежить від методу, умов проведення вимірювань, розмаху шкали приладу та ін. Наприклад, якщо межі допустимої основної похибки становлять  $\pm 0,5$  дБ, то клас точності позначається так: кл. 0,5 дБ.

Засобам вимірювань, межі допустимих основних похибок присвоюються класи точності з такого ряду чисел:

$$K = [1; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0] \cdot 10^n; \text{ де } n = 1; 0; -1; -2; -3...$$

Класи точності відповідно до стандарту, як правило виводяться на шкалу приладів. Промислові прилади мають такі класи точності: 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 3; 4. Для окремих видів засобів вимірювань вибирається ряд чисел не більше 5.

При вимірюванні величин у відсотках клас точності на шкалі приладу обводиться колом.

Для встановлення похибок засобу вимірювання, він періодично повіряється зразковими засобами, які за класом точності на декілька класів вищі. Повірка проводиться спочатку при зростанні вимірюваної величини (прямий хід), а потім при її зменшенні (зворотний хід). Якщо при повірці приладу встановлено, що найбільша приведена похибка не перевищує або дорівнює класу точності, то прилад визнається придатним для подальшої експлуатації. Варіація має вкладатися у клас точності засобу вимірювальної техніки.

#### **1.4. Класифікація засобів вимірювальної техніки**

Залежно від призначення, будови, принципу дії та інших характерних ознак засоби вимірювальної техніки застосовуються для технологічних та теплотехнічних вимірювань і поділяються на групи.

Основна класифікація передбачає розподіл засобів вимірювань за родом вимірюваних величин. Для найбільш поширених засобів вимірювання умовно прийняті наступні назви.

Для засобів вимірювання:

- *температури* — термометри і пірометри;
- *тиску* — манометри, вакуумметри, мановакуумметри, тягоміри, напороміри, барометри;
- *витрати та кількості* — витратоміри, лічильники та витратоміри з лічильниками;
- *рівня* — рівнеміри та показчики рівня;
- *складу димових та інших газів* — газоаналізатори, киснеміри та ін.;
- *аналізу та складу рідини* — аналізатори рідини, кондуктометри, рН-метри, густиноміри, рефрактометри та ін.;



- *вологості* — вологоміри, психрометри, гігрометри тощо.

Додатково засоби вимірювань поділяються на групи за такими ознаками:

- *за принципом дії та використанням енергії* — механічні, електричні, рідинні, пневматичні, гідравлічні, хімічні, ультразвукові, інфрачервоні, радіоізотопні та ін.;
- *формою показань* — аналогові та цифрові;
- *характером відображення* — показуючі, самописні, реєструючі, інтегруючі;
- *призначенням* — промислові (технічні), лабораторні, зразкові, еталонні;
- *місцем розташування* — щитові, місцеві, дистанційні;
- *габаритами* — мініатюрні, малогабаритні, нормальні та великогабаритні.

Майже кожний засіб вимірювань можна віднести до будь-якої групи. Наприклад, термометр може бути промисловим, самописним, електричним, щитовим, малогабаритним та ін.

*Промислові (робочі) засоби вимірювань* є найпоширенішими засобами вимірювальної техніки. Вони використовуються для вимірювання технологічних або теплотехнічних параметрів, мають порівняно просту структуру та конструкцію, високу надійність і необхідну точність, прості в експлуатації та ремонті. Показання промислових приладів видно на велику відстань, а наявність сигнальних пристроїв дозволяє впроваджувати звукову та світлову сигналізацію відхилень технологічних параметрів.

*Лабораторні прилади* використовуються для більш точних лабораторних вимірювань при наукових дослідженнях та визначення похибок засобів вимірювань. Для одержання більшої точності вимірювань лабораторні засоби виготовляються більш ретельно, мають досконаліші схеми та спеціальні засоби для відліку показів (оптичні пристрої), до їх показів вводяться поправки, визначені експериментальним або розрахунковим шляхом.

## 2. Еталони та їх призначення

### 2.1. Загальні поняття про еталони

Для забезпечення єдності вимірювань необхідна чітка тотожність одиниць, в яких були б проградуйовані усі засоби технічних вимірювань однієї й тієї самої фізичної величини. Це досягається шляхом точного відтворення та збереження прийнятих на Міжнародній конференції з мір і ваги одиниць фізичних величин і передачі їх розмірів засобам вимірювань.

Відтворення, збереження та передача розмірів одиниць проводиться за допомогою еталонів та зразкових засобів вимірювань. Вищою ланкою у метрологічному колі передачі розмірів одиниць вимірювання фізичних величин є еталони.

*Еталон одиниці фізичної величини* — це засіб вимірювальної техніки, який забезпечує відтворення та зберігання одиниці фізичної величини та передавання її розміру відповідним засобам, що стоять нижче за повірочною схемою, офіційно затверджений як еталон.

Всі основні одиниці фізичних величин відтворюються з найвищою точністю за допомогою міжнародних еталонів відповідних одиниць і зберігаються у Міжнародному бюро мір та ваги у спеціальних лабораторіях у м. Севра поблизу Парижа. Програмою діяльності Міжнародного бюро мір та ваги передбачені систематичні міжнародні зіставлення національних еталонів великих метрологічних лабораторій різних держав з міжнародними еталонами та між собою.

Еталони метра та кілограма звіряються раз на 25 років, електричні та світлові еталони (ампера, вольта, ома, кандели та ін.) — раз на 3 роки. Проводяться також епізодичні міжнародні звіряння еталонів джерел іонізаційного випромінювання, платинових термометрів опору, температурних ламп та ін.

Основне призначення еталонів — бути матеріальною базою для відтворення та збереження одиниць фізичних величин.

## 2.2. Класифікація еталонів

Міжнародні та національні еталони поділяються на первинні та вторинні еталони. *Первинним* називається еталон, за допомогою якого відтворюється одиниця фізичної величини з найвищою точністю відповідно у світі й державі. За точністю відтворення одиниці він є найточнішим. Первинні еталони одиниць основних фізичних величин відтворюють одиниці відповідно до їхнього визначення, прийнятого Міжнародною конференцією з мір та ваги. Наприклад, первинний еталон метра у довжинах світлових хвиль випромінювання кріптон-86.

Для відтворення одиниць в особливих умовах, в яких пряма передача розміру одиниці від еталонів технічно неможлива із заданою точністю (високий тиск, температура, частота та ін.), розробляються та затверджуються *спеціальні еталони*.

Первинні та спеціальні еталони офіційно затверджуються для держави як первинні і називаються *державними еталонами*. Державні еталони затверджуються Держстандартом, і на кожний з них ухвалюється державний стандарт.

Державні еталони зберігаються у метрологічних інститутах або центрах держави, а для проведення робіт з ними призначаються відповідальні вчені, зберігачі еталонів.

У метрологічній практиці широко використовують вторинні еталони, значення яких встановлюється за найточнішими первинними еталонами.

За своїм метрологічним призначенням вторинні еталони поділяються на еталони-копії, еталони передавання, еталони-свідки та робочі еталони.

*Еталон-копія* є вторинним еталоном, призначеним для зберігання одиниці та передачі її розміру робочим еталонам. Він не завжди може бути фізичною копією державного еталону.

*Еталон передавання* — вторинний еталон, який призначений для звіряння еталонів, котрі з тих чи інших причин не можуть безпосередньо звірятися один з одним. Прикладом еталону передавання може бути група нормальних

елементів, яка використовується для звіряння державного еталона вольтів з еталонном вольтів Міжнародного бюро мір та ваги.

*Еталон-свідок* — вторинний еталон, призначений для повірки збереження державного еталона та для заміни його у разі псування або втрати. Еталон-свідок має найвищу серед вторинних еталонів точність та використовується лише тоді, коли державний еталон не можна відтворити.

*Робочий еталон* — вторинний еталон, призначений для збереження одиниці й передачі її розміру зразковим засобом вимірювальної техніки, а в окремих випадках — робочим засобом вимірювальної техніки найвищої точності.

Державні еталони завжди представляють комплекс засобів вимірювань та допоміжних пристроїв, які забезпечують відтворення одиниці фізичної величини, а в необхідних випадках її збереженню та передачу розміру одиниці вторинним еталонам.

*Вторинні еталони можуть подаватися у вигляді* комплексу засобів вимірювань, поодиноких і групових еталонів та еталонних приладів.

*Поодинокий еталон* складається з одного вимірювального засобу (міри, приладу), який забезпечує відтворення та збереження одиниці самостійно, без участі інших засобів вимірювання того самого типу. Прикладом поодинокого еталона є вторинний еталон одиниці маси — кілограм у вигляді платино-іридієвої та сталевий гирі.

*Груповий еталон* складається із сукупності однотипних засобів вимірювань, що використовуються як одне ціле для підвищення надійності збереження одиниці. Прикладом групового еталона є еталон-копія вольтів у вигляді 20 нормальних елементів.

Вторинні еталони (робочі) використовуються у метрологічних інститутах, метрологічних територіальних органах Держстандарту України, а з дозволу Держстандарту України допускається їх зберігання та використання в органах відомчої метрологічної служби.

### 2.3. Еталон одиниці довжини — метр

*Еталон метра* — це платино-іридієва фігурна лінійка довжиною 102 см з поперечним перерізом у формі X, вписаної в уявний квадрат, сторона якого дорівнює 20 мм. На верхніх площинах X-форми на обох кінцях лінійки проведено по 3 штрихові лінії, а одиниця довжини в 1 метр розташована між середніми штриховими лініями.

Росія у 1889 році одержала платино-іридієвий прототип метра № 28, який пізніше був затверджений як державний еталон метра в СРСР.

У 1927 році VII Генеральна конференція з мір та ваги ухвалила таке визначення метра: "Одиниця довжини метр визначається відстанню при 0 °С між осями двох середніх штрихів, нанесених на платино-іридієвому бруску, який зберігається у Міжнародному бюро мір та ваги і прийнятий за еталон метра I Генеральною конференцією з мір та ваги, за умови, що ця лінійка зберігається при нормальному атмосферному тиску і підтримується двома роликками діаметром не менше 1 см, розміщеними симетрично в одній горизонтальній площині на відстані 571 мм один від одного".

Науково-технічний прогрес потребує підвищення точності еталона одиниці довжини, тому що платино-іридієвий прототип метра неспроможний забезпечити необхідну високу точність відтворення, вищу за 0,1—0,2 мкм. До того ж назріла необхідність розроблення природного неруйнівного еталона, що обумовлює встановлення нового природного еталона метра.

У 1960 році XI Генеральною конференцією з мір та ваги було ухвалено новий хвильовий еталон метра, який виражається у довжинах світлових хвиль у вакуумі оранжевої лінії спектру криптону-86. Відповідно до рішення конференції "метр — це довжина, що дорівнює 1 650 763,73 довжин хвиль випромінювання у вакуумі й відповідає переходу між рівнями атома криптону-86".

Новий еталон метра можна відтворити у метрологічних лабораторіях з точністю, яка на порядок вища від платино-іридієвого його прототипу, хоча на конференції підкреслювалося, що точність нового еталона є недостатньою через несиметричність випромінювання монохроматичного джерела. Вчені

світу працюють над розробленням нових монохроматичних джерел випромінювання, що дасть змогу максимально підвищити точність одиниці довжини.

В Україні еталон метра зберігається у Харківському науково-виробничому об'єднанні "Метрологія".

За рішенням останньої Генеральної конференції з мір і ваги ухвалене таке визначення одиниці довжини метр: метр — довжина шляху, який проходить світло у вакуумі за  $1/299\,792\,458$  частину секунди.

## 2.4. Еталон одиниці маси — кілограм

При встановленні метричної міри за одиницю маси прийнято масу одного кубічного дециметра чистої води при температурі, що забезпечує її найбільшу густину ( $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Виготовлений на основі точних зважувань перший прототип кілограма є платиновою циліндричною гирею висотою 39 мм, що дорівнює діаметру циліндра. Як і прототип метра, кілограм передано на зберігання у Національний архів Франції.

При виготовленні платино-іридієвих еталонів кілограма за міжнародний прототип було прийнято той, маса якого менше за все відрізнялася від маси "кілограма Архіву". Міжнародний прототип кілограма — це гиря у вигляді прямого циліндра із заокругленими ребрами діаметром і висотою 39 мм.

Оскільки прийнятий умовний прототип одиниці маси — літр — також не був абсолютно тотожним кубічному дециметру ( $1\text{ л} = 1,000028\text{ дм}^3$ ) і невідповідність між ними становила різницю між масою міжнародного прототипу кілограма і масою кубічного дециметра води, то у 1964 році XII Генеральна конференція з мір та ваги ухвалила рішення про прирівняння об'єму 1 літра до  $1\text{ дм}^3$ .

Державним первинним еталоном кілограма в колишньому СРСР був платино-іридієвий прототип № 12 — гиря у вигляді прямого циліндра з заокругленими ребрами, діаметром та висотою 39 мм. Густина платино-

іридієвого сплаву — 21548,1 кг/м<sup>3</sup>, вміст іридію у сплаві — 10,08—10,09 %, об'єм кілограма при 0 °С становить 46,408 см<sup>3</sup>.

У 1899 р. маса прототипу кілограма № 12 дорівнювала 1,000000068 кг. За результатами звіряння його з міжнародними еталонами у 1948—1954 рр. маса прототипу № 12 стала дорівнювати 1,00000085 кг.

## **2.5. Еталон одиниці часу — секунда**

За секунду прийняли  $1/31556925,9747$  частини тропічного року на 0 січня 1900 року о 12-й годині ефемеридного часу. Тропічний рік сам по собі не є постійним, тому дата "0 січня 1900 р. 12 годин" виражена у прийнятому астрономами відліку часу і відповідає полудню 31 грудня 1899 р. Під ефемеридним часом розуміють час у системі рахунку, де тривалість одиниці дорівнює ефемеридній секунді, визначеній через тропічний рік на 0 січня 1900 р.

Практично точна одиниця часу стала доступною завдяки сигналам точного часу, що передаються по радіо з кварцових годинників, які є мірами частоти.

Останнім часом створені нові молекулярні та атомні еталони частоти і часу, які ґрунтуються на здатності молекул та атомів випромінювати і поглинати енергію під час переходу між двома енергетичними рівнями в діапазоні радіочастот.

У 1967 р. XIII Генеральна конференція з мір та ваги ухвалила нове визначення секунди як інтервалу часу, протягом якого відбувається 9 192 631 770 коливань. Такі коливання відповідають резонансній частоті енергетичного переходу між рівнями надтонкої структури основного стану атома цезію-133 за відсутності збурень зовнішніми полями.

## **2.6. Еталон одиниці сили електричного струму — ампер**

Виходячи з визначення сили струму як фізичної величини, яка дорівнює кількості електрики, що проходить крізь поперечний переріз провідника за

одиницю часу, слід було б за основну одиницю прийняти певний заряд, який, наприклад, був би рівний заряду електрона. Проте сьогодні це не можна реалізувати з достатньою точністю, тому довелося відмовитися від одиниці кількості електрики як основної електричної одиниці і прийняти за еталонну одиницю силу струму — ампер.

Державний первинний еталон ампера — це комплекс вимірювальних засобів у складі струмових ваг електродинамічної системи, ваг з дистанційним управлінням та апаратури для передачі розміру одиниці.

## **2.7. Еталон одиниці температури — кельвін**

При встановленні термодинамічної температурної шкали для збереження наступності числового вираження її зі стоградусною температурною шкалою Цельсія температурний проміжок між точками танення льоду та кипіння води прийняли за 100 °С.

Томсон і незалежно від нього Д.І. Менделєєв довели доцільність побудови термодинамічної шкали температур за однією реперною точкою — точкою абсолютного нуля. Така шкала має значні переваги і дозволяє визначити абсолютну температуру точніше, ніж шкала з двома реперними точками.

Похибка відтворення точки кипіння води становить 0,002—0,01 °С, точка танення льоду — 0,0002—0,001 °С, потрійна точка води — 0,0001 °С.

X Генеральна конференція з мір та ваги у 1954 році ухвалила рішення про термодинамічну температурну шкалу з однією реперною точкою — потрійною точкою води, яка вища за точку танення льоду на 0,01 °С (273,16 К).

Таким чином, термодинамічна температура є основною і позначається символом  $T$ . Її одиницею служить кельвін —  $1/273,16$  частини потрійної точки води.



## 2.8. Еталон одиниці сили світла — кандела

Державний первинний еталон одиниці світла — кандела складається з двох взаємозамінних повних випромінювачів та апаратури вимірювання. Повний випромінювач являє собою тонкостінною трубку з оксиду торію, занурену у розплавлену платину. Нагрівання платини проводиться у високочастотній індукційній печі, а вимірювання сили світла — за допомогою фотоелектричного фотометра.

## 3. Зразкові засоби вимірювальної техніки

### 3.1. Зразкові засоби вимірювальної техніки

Передавання розмірів одиниць фізичних величин від еталонів робочим засобам вимірювань проводиться за допомогою зразкових засобів вимірювальної техніки, точність яких значно вища, ніж робочих засобів.

*Зразкові засоби вимірювань* — це затверджені в установленому порядку міри, вимірювальні прилади або ж вимірювальні перетворювачі, які призначені для повірки та градування за ними інших засобів вимірювальної техніки.

*Зразковим засобом вимірювальної техніки (засобом вимірювань)* називається засіб, який використовується для повірки інших засобів вимірювальної техніки (вимірювань) і затверджений як зразковий.

На зразкові засоби вимірювань видаються свідоцтва з вказаними метрологічними характеристиками та розрядом за повірочною схемою.

Зразковими можуть бути тільки ті засоби вимірювальної техніки, які своєчасно пройшли метрологічну атестацію і визнані придатними для використання їх як зразкові.

За точністю зразкові засоби поділяються на чотири розряди, а засоби, які відповідають найвищому ступеню повірчої схеми, називаються *вихідними зразковими засобами вимірювань*.

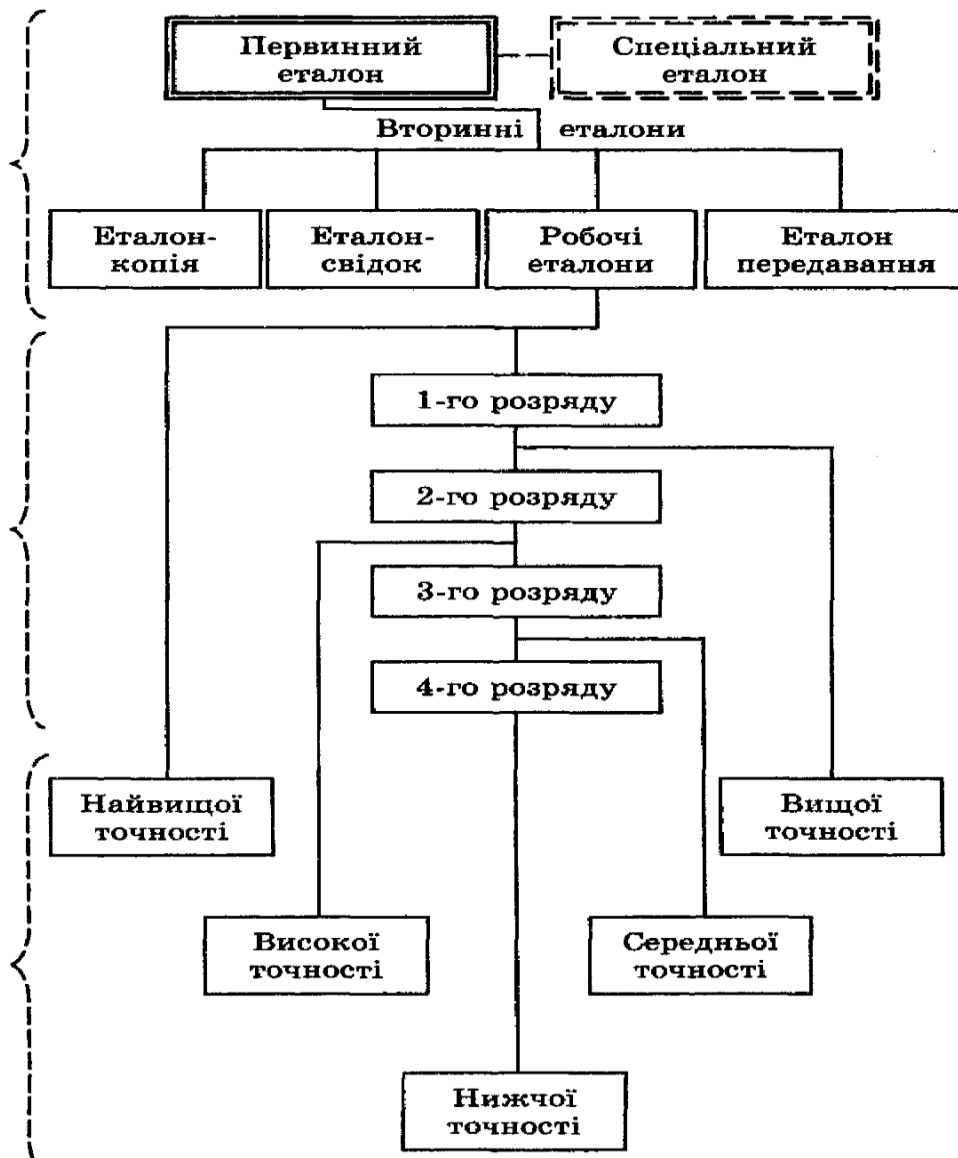


Рис. 2.1. Метрологічна послідовність передачі розмірів фізичних одиниць від еталонів до робочих вимірювальних приладів

Найвищий рівень точності представлений первинним еталоном, нижні рівні займають робочі засоби вимірювань.

Між розрядами зразкових засобів вимірювань існує точномірна підпорядкованість: засоби 1-го розряду мають найвищу точність, а засоби 4-го розряду — найнижчу. Зразкові засоби вимірювань 1-го розряду повіряються робочими еталонами, а зразкові засоби 2-го та наступних розрядів повіряються зразковими засобами безпосередньо попередніх розрядів. Для різних видів вимірювань (за вимогами практики) встановлюється різна кількість розрядів зразкових засобів вимірювань і стандарти новітніх схем для відповідного виду засобів вимірювань.

Як видно зі схеми, окремі робочі засоби найвищої точності можуть повірятися за допомогою робочих еталонів; робочі засоби вимірювання вищої точності — зразковими засобами 1-го розряду; робочі засоби високої точності — зразковими засобами 2-го розряду та ін.

Зразкові засоби вимірювань зберігаються у метрологічних інститутах, лабораторіях державної та відомчої метрологічної служби. Засоби вимірювань як зразкові затверджуються органами Держстандарту, які у своїх лабораторіях мають зразкові засоби вимірювань вищого розряду, ніж пред'явлені для атестації. В окремих випадках з дозволу органів державної метрологічної служби надається право затверджувати зразкові засоби вимірювань метрологічним службам, якщо в останніх є відповідні умови.

Усі зразкові засоби вимірювань підлягають обов'язковій повірці у терміни, визначені Держстандартом України.

*Основні вимоги до зразкових засобів вимірювань, які використовуються для повірки робочих засобів вимірювань у промислових умовах.*

1. Клас точності зразкового засобу вимірювання повинен бути вищим на декілька класів за повіряємий засіб.

2. Діапазон вимірювання зразкового засобу вимірювань повинен перевищувати діапазон робочого засобу або ж дорівнювати йому.

3. Зразковий засіб вимірювань повинен мати свідоцтво про своєчасну атестацію із зазначенням шкали, класу точності, заводського номера, дати повірки, організації та повірника, а на звороті — похибок для усіх оцифрованих значень шкали.

### **3.2. Загальні відомості про повірочні схеми**

Для забезпечення правильної передачі розміру одиниць фізичних величин в усіх ланках метрологічного ланцюга (від еталонів до зразкових засобів, а від них до робочих) повинні дотримуватися певного порядку та послідовності. Цей порядок і забезпечується за допомогою повірочних схем.

*Повірочна схема* — нормативний документ, що регламентує метрологічну підпорядкованість засобів вимірювальної техніки, які використовуються для

передавання розміру одиниці фізичної величини від еталона або вихідного зразкового засобу вимірювальної техніки до інших засобів вимірювальної техніки із встановленням методів та похибок передавання.

Повірочна схема — це вихідний документ, який встановлює метрологічну підпорядкованість еталонів, зразкових засобів вимірювальної техніки та порядок передавання розміру одиниці фізичної величини зразковим і робочим засобам вимірювань. Вихідні положення та основні відомості про повірочні схеми наведені у державному стандарті "Державна система забезпечення єдності вимірювань. Повірочні схеми (основні положення)".

У повірочній схемі вказується назва затвердженого державного еталона, вторинних еталонів, зразкових та робочих засобів вимірювальної техніки, методи повірки. Крім того, у повірочній схемі наводяться похибки відтворення та передачі розміру одиниці кожному засобу вимірювання, наведеному у схемі, а також вказуються міри, вимірювальні прилади та вимірювальні перетворювачі, які використовуються у відповідній галузі вимірювальної техніки.

У повірочних схемах подаються методи повірки, які поділяються на такі види:

- безпосереднє звіряння засобів вимірювальної техніки зразковими засобами вимірювальної техніки аналогічного виду;
- звіряння засобів вимірювальної техніки з використанням приладу порівняння;
- повірка вимірювального приладу за зразковою мірою шляхом вимірювання ним величини, відтвореної мірою;
- пряме вимірювання зразковим вимірювальним приладом величини, яка відтворюється мірою, що підлягає повірці;
- непрямі вимірювання величини, яка відтворюється мірою або вимірюється приладом, що підлягають повірці.

Структура повірочної схеми складається з кількох горизонтальних полів, що відповідають ступеням передачі розміру одиниці від первинного еталона робочим засобам вимірювань. У лівій частині схеми по вертикалі вказуються елементи повірочної схеми. У самих полях розміщуються структурні елементи

повірочної схеми, відповідно у прямокутниках — еталони, зразкові та робочі засоби вимірювань, а в колах — методи повірки.

Держстандартом розроблені повірочні схеми для різних величин; фізичних, лінійних, кутових, механічних, теплових, електричних, іонізаційних випромінювань тощо.

### **3.3. Способи повірки засобів вимірювальної техніки**

У повірочних схемах представлені різні способи повірки засобів вимірювальної техніки за зразковими засобами вимірювань, а останніх — за еталонами.

*Повірка* — це процес порівняння показань засобу вимірювань, що повіряється, зі зразковим з метою визначення його основних похибок та класу точності.

*Повірка засобів вимірювальної техніки* — це визначення метрологічними органами похибок засобів вимірювань та визначення їх придатності до використання.

Повірка засобів вимірювань може проводитися за одним із двох методів.

*Метод вимірювання величин*, відтворюваних зразковими мірами відповідного розряду чи класу точності, серед значень яких вибирається рівне відповідним оцифрованим поділкам шкали приладу. Найбільша різниця між результатами вимірювань та відповідними їх розмірами мір вважається основною похибкою приладу.

*Метод звіряння приладу, що повіряється, та зразкового приладу* при вимірюванні однієї і тієї самої величини. Різниця у їх показаннях при вимірюванні різних значень вимірюваної величини становитиме основну похибку приладу, що повіряється. Цей метод може застосовуватися двома способами.

*Перший спосіб* полягає в тому, що вимірювана величина змінюється до певних значень, встановлених за зразковим засобом вимірювань, а похибка визначається за показаннями приладу, що повіряється. Цей спосіб зручний при

автоматизації повірочних робіт, коли одночасно повіряється кілька приладів (наприклад, технічних манометрів за допомогою вагопоршневих манометрів).

*Другий спосіб* полягає в тому, що вимірювана величина вимірюється до певних установлених значень за приладом, що повіряється, а похибка встановлюється за зразковим засобом вимірювань як відхилення від відповідної поділки (штриха) шкали. Переваги цього способу полягають у тому, що він дає можливість точно визначити похибку зразкового приладу, шкала якого має більшу кількість поділок.

При повірках важливим є вибір оптимального співвідношення між допустимими похибками зразкових засобів вимірювань, та тих, що повіряються. Як правило, це співвідношення приймається рівним 1:3, коли вводиться поправка на показання зразкових засобів вимірювань. Якщо ж поправка не вводиться, то приймається співвідношення 1:5. Необхідна точність зразкових засобів вимірювань та їх типи регламентуються стандартами щодо методів повірки.

Співвідношення допустимих похибок засобів, що повіряються, та зразкових засобів вимірювань встановлюється з урахуванням обраного методу повірки, характеру похибок, допустимих значень браку та помилково забракованих приладів.

## ЛЕКЦІЯ 3. ДЕРЖАВНА МЕТРОЛОГІЧНА СЛУЖБА УКРАЇНИ

### 1. Державний метрологічний контроль і нагляд

*Мета державного метрологічного контролю і нагляду.* Державний метрологічний контроль і нагляд здійснюються з метою перевірки додержання вимог цього Закону, інших нормативно-правових актів і нормативних документів з метрології.

*Об'єкти державного метрологічного контролю і нагляду.* Об'єктами державного метрологічного контролю і нагляду є:

- засоби вимірювальної техніки;
- методики виконання вимірювань;
- кількість фасованого товару в упаковках.

*Сфера державного метрологічного контролю і нагляду.* Державний метрологічний контроль і нагляд стосовно засобів вимірювальної техніки та методик виконання вимірювань поширюється на вимірювання, результати яких використовуються під час:

- робіт із забезпечення охорони здоров'я;
- робіт із забезпечення захисту життя та здоров'я громадян;
- контролю якості та безпеки продуктів харчування і лікарських засобів;
- контролю стану навколишнього природного середовища;
- контролю безпеки умов праці;
- геодезичних і гідрометеорологічних робіт;
- торговельно-комерційних операцій і розрахунків між покупцем (споживачем) і продавцем (постачальником, виробником, виконавцем), у тому числі у сферах побутових і комунальних послуг, телекомунікаційних послуг і послуг поштового зв'язку;
- податкових, банківських і митних операцій;
- обліку енергетичних і матеріальних ресурсів (електричної і теплової енергії, газу, води, нафтопродуктів тощо), за винятком внутрішнього обліку,

який ведеться підприємствами, організаціями та фізичними особами - суб'єктами підприємницької діяльності;

- робіт, пов'язаних з державною реєстрацією земельних ділянок і нерухомого майна;
- робіт із забезпечення технічного захисту інформації, необхідність якого визначена законодавством;
- робіт, що виконуються за дорученням органів прокуратури та правосуддя;
- робіт з оцінки відповідності продукції, процесів, послуг;
- реєстрації національних і міжнародних спортивних рекордів.

## **2. Види державного метрологічного контролю і нагляду.**

2.1. До державного метрологічного контролю належать:

- уповноваження та атестація у державній метрологічній системі;
- державні випробування засобів вимірювальної техніки і затвердження їх типів;
- державна метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки;
- повірка засобів вимірювальної техніки.

2.2. До державного метрологічного нагляду належать:

- державний метрологічний нагляд за забезпеченням єдності вимірювань;
- державний метрологічний нагляд за кількістю фасованого товару в упаковках.

2.3. Уповноваження та атестація у державній метрологічній системі - уповноваження у державній метрологічній системі здійснюється відповідним органом з метою документального засвідчення компетентності і права підприємства та організації чи їх окремого підрозділу проводити державні випробування і повірку засобів вимірювальної техніки та атестацію методик виконання вимірювань.

Атестація у державній метрологічній системі (далі - атестація) здійснюється відповідним органом з метою документального засвідчення



компетентності і права підприємства та організації чи їх окремого підрозділу проводити калібрування засобів вимірювальної техніки та вимірювання.

Уповноваження і атестація та оформлення їх результатів проводяться у порядку, встановленому нормативно-правовими актами ЦОВМ.

До проведення робіт з уповноваження та атестації залучаються аудитори з метрології, атестовані в порядку, встановленому нормативно-правовим актом ЦОВМ.

Рішення щодо уповноваження та атестації приймає відповідно керівник органу з уповноваження або атестації.

У разі прийняття рішення про уповноваження або атестацію заявнику видається відповідно свідоцтво про уповноваження або атестацію встановленого ЦОВМ зразка, яке має строк дії до п'яти років.

У разі прийняття рішення про відмову в уповноваженні або атестації заявникові надсилається (видається) відповідне повідомлення у письмовій формі, в якому зазначаються підстави відмови.

Спори з питань уповноваження та атестації вирішуються ЦОВМ у порядку, встановленому нормативно-правовим актом цього органу, або в судовому порядку.

Органи з уповноваження та атестації або призначені ними організації періодично, але не частіше ніж один раз на рік, проводять відповідно перевірку уповноважених та атестованих метрологічних центрів, територіальних органів, підприємств і організацій та їх повірочних, калібрувальних і вимірювальних лабораторій, повірочних (калібрувальних) лабораторій іноземних виробників (далі - уповноважені або атестовані організації). Порядок проведення перевірки встановлюється нормативно-правовим актом ЦОВМ.

У разі виявлення порушень вимог, що ставляться до уповноважених або атестованих організацій, відповідний орган приймає рішення про тимчасове зупинення дії або визнання недійсним свідоцтва про уповноваження або атестацію.

### **3. Органи з уповноваження**

1. Органами з уповноваження на проведення державних випробувань та повірки засобів вимірювальної техніки є ЦОВМ, на проведення атестації методик виконання вимірювань - ЦОВМ та метрологічні центри.

2. ЦОВМ здійснюється уповноваження:

- метрологічних центрів і територіальних органів - на проведення державних приймальних і контрольних випробувань і повірки засобів вимірювальної техніки та на проведення атестації методик виконання вимірювань, що використовуються у сфері та/або поза сферою поширення державного метрологічного нагляду;

- головних і базових організацій метрологічних служб центральних органів виконавчої влади - на проведення державних приймальних випробувань засобів вимірювальної техніки, на які не поширюється державний метрологічний нагляд;

- повірочних лабораторій підприємств та організацій на проведення повірки засобів вимірювальної техніки;

- повірочних лабораторій іноземних виробників - на проведення повірки засобів вимірювальної техніки, призначених для ввезення на територію України партіями.

За рішенням ЦОВМ окремі етапи проведення робіт з уповноваження можуть виконувати метрологічні центри.

3. Метрологічними центрами за рішенням ЦОВМ здійснюється уповноваження підприємств та організацій на проведення атестації методик виконання вимірювань, що використовуються у сфері та/або поза сферою поширення державного метрологічного нагляду.

4. Необхідність уповноваження метрологічних центрів, територіальних органів, підприємств і організацій на проведення атестації методик виконання вимірювань, що використовуються поза сферою поширення державного метрологічного нагляду, визначається відповідними метрологічними центрами, територіальними органами, підприємствами і організаціями.

1. Органами з атестації на проведення калібрування засобів вимірювальної техніки та вимірювань є ЦОВМ, метрологічні центри та територіальні органи (далі - органи з атестації).

## 2. ЦОВМ здійснюється атестація:

### 1) метрологічних центрів і територіальних органів на проведення:

- калібрування засобів вимірювальної техніки для інших підприємств, організацій та для фізичних осіб;
- вимірювань у сфері та/або поза сферою поширення державного метрологічного нагляду;

2) калібрувальних лабораторій іноземних виробників - на проведення калібрування засобів вимірювальної техніки, призначених для ввезення на територію України партіями.

За рішенням ЦОВМ окремі етапи проведення робіт з атестації можуть виконувати метрологічні центри.

Необхідність проведення атестації метрологічних центрів і територіальних органів на проведення вимірювань поза сферою поширення державного метрологічного нагляду визначається відповідними метрологічними центрами та територіальними органами.

3. Національним науковим метрологічним центром здійснюється атестація калібрувальних лабораторій метрологічних служб або інших структурних підрозділів підприємств і організацій (далі - калібрувальні лабораторії підприємств та організацій) - на проведення калібрування засобів вимірювальної техніки для інших підприємств, організацій та для фізичних осіб.

4. Метрологічними центрами за рішенням ЦОВМ здійснюється атестація калібрувальних лабораторій підприємств та організацій, що не належать до сфери управління центральних органів виконавчої влади або належать до сфери управління цих органів (якщо ці органи не мають метрологічної служби з головними та/або базовими організаціями), - на проведення калібрування засобів вимірювальної техніки для власних потреб цих підприємств та організацій.

5. Територіальними органами здійснюється атестація вимірювальних лабораторій підприємств та організацій, що не належать до сфери управління центральних органів виконавчої влади або належать до сфери управління цих органів (якщо це передбачено законодавством або якщо ці органи не мають

метрологічної служби з головними та/або базовими організаціями), - на проведення вимірювань у сфері та/або поза сферою поширення державного метрологічного нагляду.

6. В атестації вимірювальних лабораторій підприємств і організацій на проведення вимірювань у сфері поширення державного метрологічного нагляду можуть брати участь метрологічні служби інших підприємств і організацій, головні чи базові організації, що входять до складу метрологічної служби (у разі її наявності) центрального органу виконавчої влади, до повноважень якого належить реалізація державної політики у сфері діяльності відповідних підприємств і організацій.

7. Необхідність атестації калібрувальних лабораторій підприємств і організацій на проведення калібрування засобів вимірювальної техніки для власних потреб цих підприємств і організацій, а також атестації вимірювальних лабораторій підприємств і організацій на проведення вимірювань поза сферою поширення державного метрологічного нагляду визначається відповідними підприємствами і організаціями.

#### **4. Обов'язки уповноважених або атестованих організацій**

Уповноважені або атестовані організації повинні:

- додержуватися вимог нормативно-правових актів і нормативних документів з метрології, відповідно до яких вони були уповноважені або атестовані;
- посилатися на уповноваження або атестацію тільки стосовно тих робіт, на здійснення яких їх уповноважено або атестовано;
- оплачувати всі роботи, пов'язані з їх уповноваженням або атестацією;
- припинити посилання на уповноваження або атестацію у своїй документації та рекламі у разі тимчасового зупинення дії або визнання недійсним свідоцтва про уповноваження або атестацію.

## **5. Державні випробування засобів вимірювальної техніки і затвердження їх типів**

1. Засоби вимірювальної техніки, призначені для серійного виробництва в Україні або для ввезення на територію України партіями, підлягають державним приймальним та контрольним випробуванням з метою затвердження типів цих засобів або контролю їх відповідності затвердженим типам і обов'язковим вимогам нормативних документів з метрології.

2. Державним приймальним і контрольним випробуванням не підлягають засоби вимірювальної техніки, призначені для використання фізичними особами, що не є суб'єктами підприємницької діяльності, у побутовій сфері для їх власних потреб, на які не поширюється державний метрологічний нагляд. Порядок встановлення приналежності засобів вимірювальної техніки до таких, що призначені для використання у побутовій сфері та не підлягають державним приймальним і контрольним випробуванням, визначається нормативно-правовим актом ЦОВМ.

3. Державні приймальні випробування засобів вимірювальної техніки проводяться метрологічними центрами і територіальними органами, уповноваженими на проведення цих випробувань. Державні контрольні випробування засобів вимірювальної техніки, призначених для серійного виробництва в Україні, проводяться територіальними органами, уповноваженими на проведення цих випробувань.

Державні контрольні випробування засобів вимірювальної техніки, призначених для ввезення на територію України партіями, проводяться метрологічними центрами та територіальними органами, уповноваженими на проведення державних приймальних випробувань цих засобів.

4. Державні приймальні випробування засобів вимірювальної техніки, на які не поширюється державний метрологічний нагляд, можуть проводитися головними та базовими організаціями метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, уповноваженими на проведення цих випробувань.

5. Державні приймальні і контрольні випробування та оформлення їх результатів проводяться у порядку, встановленому нормативними документами з метрології ЦОВМ.

6. На засоби вимірювальної техніки, типи яких затверджено ЦОВМ, та/або на їх експлуатаційну документацію наноситься знак затвердження типу, форму якого встановлює ЦОВМ.

## **6. Державна метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки та метрологічний нагляд за забезпеченням єдності вимірювань**

1. Засоби вимірювальної техніки, не призначені для серійного виробництва в Україні або для ввезення на територію України партіями, на які поширюється державний метрологічний нагляд, підлягають державній метрологічній атестації.

2. Державна метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки здійснюється метрологічними центрами, територіальними органами та метрологічними службами підприємств і організацій, уповноваженими на проведення державних випробувань чи повірки аналогічних засобів.

3. Державна метрологічна атестація та оформлення її результатів проводяться в порядку, встановленому нормативними документами з метрології ЦОВМ.

## **7. Повірка засобів вимірювальної техніки**

1. Засоби вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, випускаються з серійного виробництва, ремонту та у продаж, видаються напрокат, на які поширюється державний метрологічний нагляд, підлягають повірці.

Повірці також підлягають:

- вихідні і робочі еталони метрологічних центрів та територіальних органів;
- вихідні еталони підприємств і організацій;
- засоби вимірювальної техніки, що застосовуються під час державних випробувань, державної метрологічної атестації та повірки засобів вимірювальної техніки, а також під час калібрування засобів вимірювальної техніки для інших підприємств, організацій та для фізичних осіб.

2. Засоби вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, підлягають періодичній повірці через міжповірочні інтервали, порядок встановлення яких визначається нормативно-правовим актом ЦОВМ.

3. Порядок подання фізичними особами, що не є суб'єктами підприємницької діяльності, власниками засобів вимірювальної техніки (результати вимірювань якими використовуються для здійснення розрахунків за спожиті для побутових потреб електричну і теплову енергію, газ і воду) на періодичну повірку цих засобів та оплати за роботи, пов'язані з повіркою, встановлюється Кабінетом Міністрів України. Періодична повірка, обслуговування та ремонт (у тому числі демонтаж, транспортування та монтаж) зазначених засобів вимірювальної техніки здійснюються за рахунок підприємств і організацій, які надають послуги з електро-, тепло-, газо- і водопостачання.

4. Переліки засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації та підлягають повірці, складаються їх користувачами (за винятком фізичних осіб, що не є суб'єктами підприємницької діяльності) і подаються на погодження до відповідного територіального органу.

5. Повірка засобів вимірювальної техніки проводиться територіальними органами, уповноваженими на її проведення. У разі якщо територіальні органи через відсутність відповідних еталонів не можуть провести повірку окремих типів засобів вимірювальної техніки, повірка цих засобів проводиться метрологічними центрами, уповноваженими на її проведення.

6. Повірка засобів вимірювальної техніки з використанням первинних і вторинних еталонів проводиться метрологічними центрами та територіальними органами, в яких зберігаються відповідні еталони. Повірка здійснюється вченими зберігачами цих еталонів.

7. Повірка засобів вимірювальної техніки, призначених для ввезення на територію України партіями, проводиться під час їх випуску з виробництва повірочними лабораторіями іноземних виробників, уповноваженими на її проведення.

8. Повірку засобів вимірювальної техніки під час експлуатації та випуску з виробництва і ремонту можуть виконувати повірочні лабораторії підприємств і організацій, уповноважені на її проведення.

Повірка проводиться працівниками цих лабораторій, атестованими як повірники в порядку, встановленому нормативно-правовим актом ЦОВМ.

За порушення умов і правил проведення повірки засобів вимірювальної техніки керівники та посадові особи відповідних підприємств і організацій несуть відповідальність згідно із законом.

9. Повірка та оформлення її результатів проводяться в порядку, встановленому нормативними документами з метрології ЦОВМ.

10. Місцеві органи виконавчої влади повинні сприяти проведенню повірки засобів вимірювальної техніки на місці їх експлуатації, у тому числі:

- надавати відповідні приміщення;
- забезпечувати допоміжним персоналом і транспортом;
- повідомляти власників і користувачів засобів вимірювальної техніки

про час і місце проведення повірки.

#### *Державний метрологічний нагляд за забезпеченням єдності вимірювань*

1. Державний метрологічний нагляд за забезпеченням єдності вимірювань поширюється на центральні та місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, підприємства, організації та фізичних осіб - суб'єктів підприємницької діяльності.



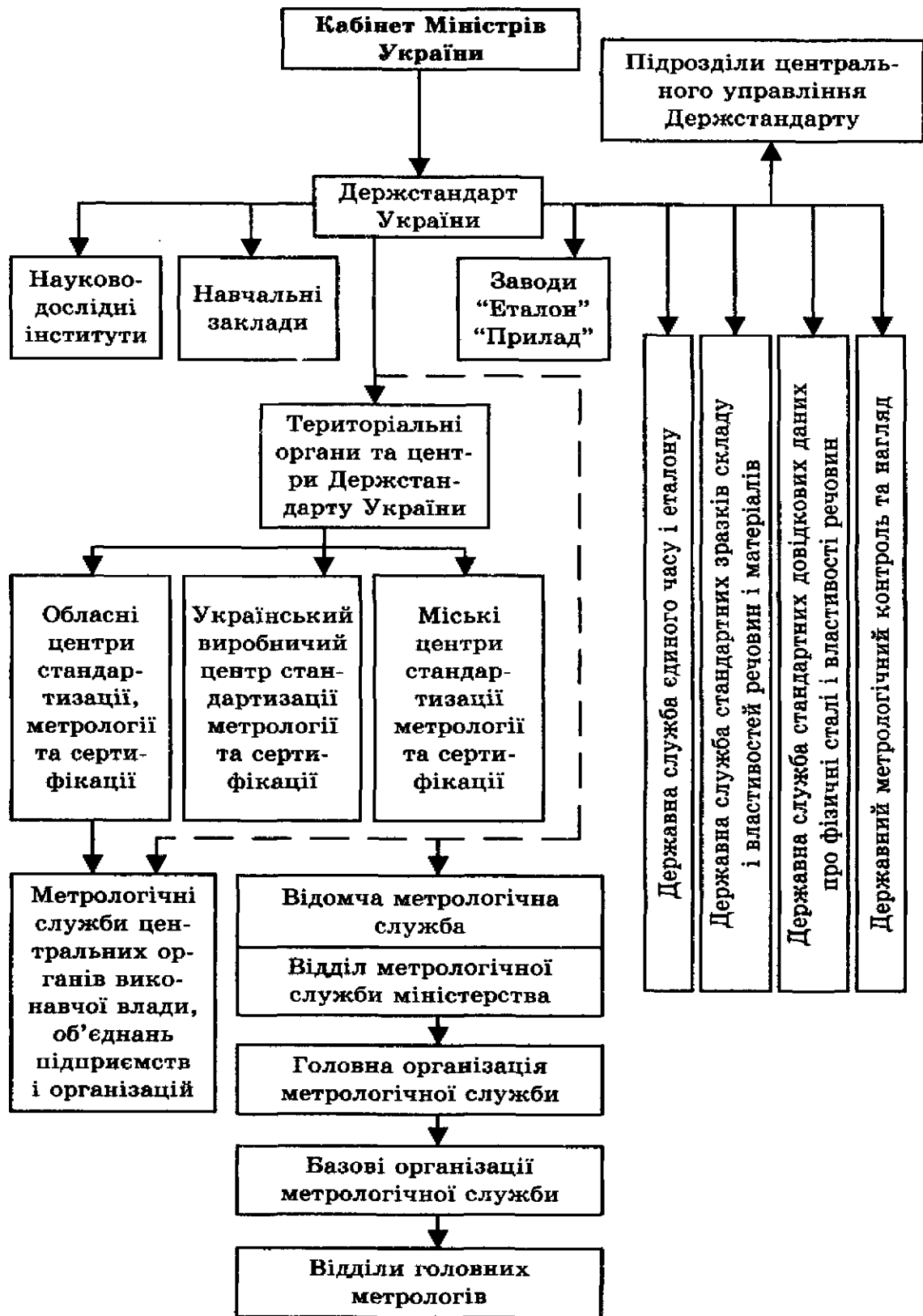


Рис. 3.1. Структурна схема метрологічної служби України

## ЛЕКЦІЯ 4. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПРИЛАДИ

### 1. Загальні відомості про вимірювальні перетворення

Вимірювання застосовуються у всіх без винятку галузях науки й техніки і, власне, складають основу наукових досліджень та є невід'ємною частиною технологічних процесів.

*Мета будь-якого вимірювання* – отримання інформації, що містить кількісну оцінку властивостей фізичного об'єкта або явища. Для отримання цієї інформації застосовуються практично всі відомі методи фізичних перетворень, які ґрунтуються на природничих законах та використовуються відповідні технічні засоби, що отримали назву – вимірювальні перетворювачі.

*На практиці доводиться вимірювати сотні фізичних величин, зокрема:*

- електричні та магнітні величини – струм, напругу, опір, індуктивність, індукцію та напруженість магнітного поля, магнітну проникність тощо;
- величини, що характеризують простір та час – геометричні розміри, час, параметри руху;
- механічні величини – маса та сила, а також величини, які характеризують їх прояв у просторі та часі, такі, як момент сили, тиск, механічні напруження тощо;
- теплові величини, які характеризують тепловий стан тіл, їх зміну в просторі та часі – температура, кількість теплоти, теплопровідність;
- світлотехнічні та енергетичні величини, які характеризують оптичні явища – сила світла, світловий потік, яскравість та відповідно енергетична сила світла, потужність випромінювання, енергетична яскравість;
- величини, що характеризують акустичні явища – звуковий тиск, гучність звуку, акустичний шум тощо;
- величини, які характеризують фізико-хімічні властивості речовин, зокрема хімічний склад, густину, масову чи молярну концентрацію, активність іонів водню;
- величини, які характеризують іонізуюче випромінювання.

Велика кількість видів фізичних величин, часто велика розкиданість об'єктів вимірювання у просторі, у багатьох випадках необхідність використання автоматизації управління зумовлюють з централізованим отриманням інформації, оброблення цієї інформації та вироблення сигналів для зворотної дії на об'єкт дослідження переважно електричних методів вимірювання неелектричних величин, оскільки електричні сигнали є дуже "зручними" як для вимірювальних перетворень так і для оброблення та передачі інформації на відстань.

До основних переваг електричних вимірювань неелектричних величин належать:

- універсальність, яка полягає в можливості вимірювань декількох чи навіть багатьох неелектричних величин за допомогою одного електричного вимірювального засобу;
- простота автоматизації вимірювань внаслідок того, що в електричних засобах легко виконуються логічні та цифрові операції;
- можливість забезпечення високої чутливості, необхідної точності та швидкодії, зумовлені простотою оброблення електричних сигналів;
- дистанційність, що полягає в можливості передачі електричних сигналів з допомогою як провідних, так і безпроводних ліній зв'язку.

Вимірювання неелектричних величин електричними вимірювальними засобами стає можливим внаслідок попереднього перетворення досліджуваних величин у функціонально пов'язані з ними електричні величини за допомогою відповідних вимірювальних перетворювачів.

Для проведення вимірювань необхідна наявність первинного вимірювального перетворювача, вторинного електричного приладу, а також пристроїв їх спряження. Тобто, на практиці, згідно стандартного означення, у переважній більшості для вимірювання електричних і неелектричних величин використовуються вимірювальні системи та комплекси.

Всі методи вимірювань неелектричних величин розділяються на контактні та безконтактні.

За контактних методів вимірювальний перетворювач безпосередньо контактує з досліджуваним об'єктом. Ці методи порівняно нескладні у

реалізації і забезпечують високу чутливість, а також можливість локалізації точки вимірювання у тому місці технологічного процесу, яке, наприклад, є найінформативнішим. Але за контактного методу вимірювання може, в окремих випадках, виникнути зворотна дія вимірювального перетворювача на параметри досліджуваного об'єкта, що приводить до спотворення результату вимірювань. Крім цього, іноді є неможливим здійснити безпосередній контакт вимірювального перетворювача з досліджуваним об'єктом.

За безконтактних вимірювань первинний перетворювач безпосередньо не контактує з досліджуваним об'єктом і не впливає на його параметри. Однак на результати вимірювань у цьому випадку значно впливає зовнішнє середовище, яке відділяє вимірювальний перетворювач від об'єкта дослідження. Згідно з офіційним означенням, **вимірювальний перетворювач** – це засіб вимірювальної техніки, що створює сигнал вимірювальної інформації у формі, зручній для його передачі, зберігання, подальшого перетворення, але недоступній для безпосереднього сприйняття людиною. Для первинних перетворювачів, які безпосередньо контактують з об'єктом вимірювання, часто застосовують термін “давач” (рос. – "датчик"), а також дозволений до використання термін „сенсор”.

**Вимірювальне перетворення** фізичної величини – вимірювальна операція, при якій вхідна фізична величина перетворюється у вихідну, що функціонально з нею пов'язана. Вимірювальні перетворення поділяються на перетворення зі зміною роду величини та без її зміни.

**Вимірювальні перетворювачі** - пристрої, що реалізують вимірювальні перетворення.

**Датчик** – це засіб вимірювань, що є конструктивно завершеним пристроєм та виконує функцію вимірювального перетворювача.

**Сенсор** – первинний вимірювальний перетворювач, що входить до складу датчика.

Треба відмітити, що сенсор (чутливий елемент) та датчик часто вживаються як синоніми більш загального терміну перетворювач. В точному сенсі цього слова, що визначений Оксфордським словником, вимірювальний перетворювач є пристроєм, що перетворює зміну однієї величини в зміну іншої.

Основними метрологічними характеристиками вимірювальних перетворювачів (ВП) є функція перетворення, коефіцієнт перетворення і клас точності.

Статична функція перетворення  $X_{ВИХ} = f(X_{ВХ})$  виражає залежність інформативного параметра  $X_{ВИХ}$  вихідного сигналу  $X_{ВИХ}(t)$  від інформативного параметра  $X_{ВХ}$  вхідного сигналу  $X_{ВХ}(t)$  (рис. 1).

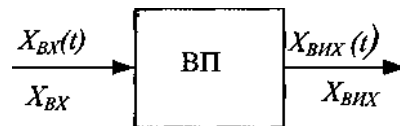


Рис. 4.1. Вхідний  $X_{ВХ}(t)$  і вихідний  $X_{ВИХ}(t)$  сигнали ВП та їх інформативні параметри  $X_{ВИХ}$  і  $X_{ВХ}$

Коефіцієнт перетворення  $k$  ВП дорівнює відношенню інформативного параметра  $X_{ВИХ}$  вихідного сигналу до інформативного параметра  $X_{ВХ}$  вхідного сигналу, тобто

$$k = \frac{X_{ВИХ}}{X_{ВХ}} \quad (4.1)$$

Розрізняють номінальний коефіцієнт перетворення  $k_n$  який приписаний певному ВП і який ВП повинен відтворювати, та істинний коефіцієнт перетворення  $k$ , який ВП відтворює в певних умовах його застосування. Різниця між номінальним та істинним коефіцієнтами перетворення ВП призводить до виникнення похибки перетворювача, відносне значення якої дорівнює:

$$\delta_n = \frac{k_n - k}{k} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

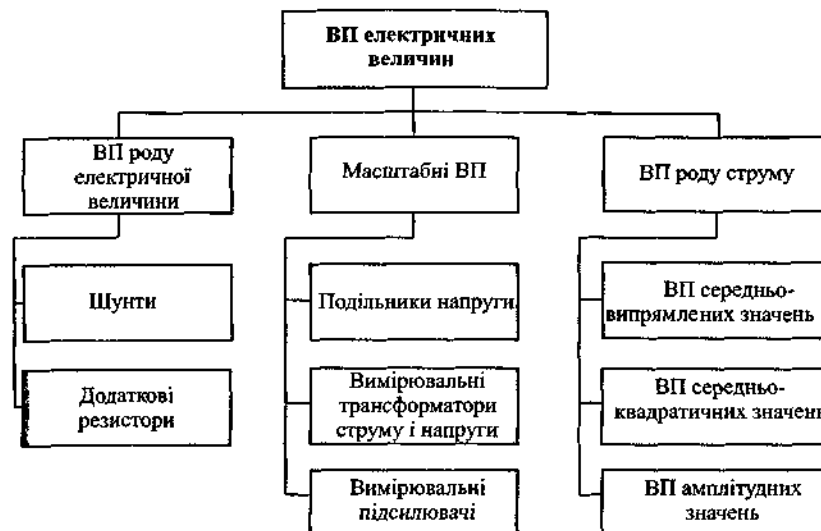


Рис. 4.2. Класифікація вимірювальних перетворювачів електричних величин

В окремих випадках для характеристики пасивного ВП використовують величину, обернену до коефіцієнта перетворення, - *коефіцієнт поділу*  $k_n - 1/k$ .

**Клас точності ВП** визначає границі допустимих основної та додаткових похибок, які виражають у формі відносних і зведених похибок згідно з нормативним документом.

Залежно від призначення *ВП електричних величин* поділяються на такі групи (рис. 4.2):

- *ВП роду електричної величини*, наприклад, струму в напругу або напруги в струм. До цієї групи належать *шунти* та *додаткові резистори*;
- *масштабні ВП*, які реалізують масштабне вимірювальне перетворення електричної величини, тобто зміну її розміру в задану кількість разів. До цієї групи належать *подільники напруги*, *вимірювальні трансформатори струму і напруги* та *вимірювальні підсилювачі*;
- *ВП роду струму*, наприклад, змінного струму в постійний. До цієї групи належать *ВП середньовипрямлених*, *середньоквадратичних* та *амплітудних значень*.

## 2. Класифікація та характеристики вимірювальних перетворювачів

На даний час використовується величезна кількість різноманітних за будовою, принципом дії та призначенням вимірювальних перетворювачів (ВП) різних фізичних величин. Розвиток науки і техніки спонукає до постійного вдосконалення існуючих ВП, та до створення нових видів.

Для їх систематизації, поділу та групування використовується ряд класифікаційних ознак. Ці ознаки повинні бути достатньо загальними, щоб враховувати вимоги як спеціалістів, які працюють в галузі дослідження та проектування перетворювачів, так і тих, хто займається їх використанням.

Для споживача класифікація ВП за природою вхідної вимірюваної величини є найдоцільнішою. Такий підхід прийнято у довідниковій літературі. Важливе значення має і природа вихідного сигналу, оскільки вона визначає вибір методів і засобів подальшого перетворення чи вимірювання. Отже, однією з основних класифікаційних ознак треба вважати природу вхідного та вихідного сигналів.

*Залежно від природи вхідної і вихідної величини ВП поділяють на групи:*

- перетворювачі електричних величин в електричні;
- перетворювачі неелектричних величин у електричні;
- перетворювачі електричних величин у неелектричні.

Як класифікаційні ознаки використовуються також характер функції перетворення та характер вихідного сигналу. Функції перетворення або передатні характеристики відтворюють динамічні властивості елементів. У цьому випадку визначальними є не конструктивні чи функціональні ознаки, а його математична модель.

*За видом передатної характеристики перетворювачі поділяють на лінійні, нелінійні та лінеаризовані.*

*За виглядом функції перетворення ВП поділяють на три великі групи:*

- масштабні, що змінюють в певну кількість разів розмір вхідної величини без зміни її фізичної природи;
- функціональні, що однозначно функціонально перетворюють вхідну величину зі зміною природи вхідної величини або без її зміни;

- операційні, які виконують над вхідною величиною математичні операції вищого порядку – диференціювання чи інтегрування за вхідним параметром.

*За характером зміни вихідної величини можна виділити два класи елементів – аналогові, що мають неперервну у часі передатну характеристику, і дискретні, які у свою чергу розділяють на імпульсні, цифрові та релейні.*

Найбільш повною прийнято вважати класифікацію за фізичними закономірностями, покладеними в основу принципу дії ВП.

*За принципом дії вимірювальні перетворювачі поділяються на такі групи:*

1) Механічні пружні перетворювачі. В основу принципу дії покладено залежність між вхідними механічними зусиллями і викликаними ними переміщеннями чи механічними напруженнями в матеріалі чутливого елемента, що визначаються його пружними властивостями.

2) Резистивні перетворювачі. Вихідним сигналом перетворювачів механічних величин є зміна електричного опору чутливого елемента внаслідок переміщення повзунка в реостатних та реохордних перетворювачах або внаслідок тензоефекту в тензорезистивних перетворювачах.

Резистивні перетворювачі теплових величин (терморезистивні перетворювачі) та резистивні перетворювачі хімічних величин (електрохімічні резистивні перетворювачі) належать відповідно до теплових та електрохімічних, оскільки їх дія ґрунтується на теплових та електрохімічних явищах.

3) Ємнісні перетворювачі. Принцип фізичного перетворення полягає у залежності ємності конденсатора від відстані між його електродами, площі перекриття або від зміни діелектричної проникності середовища між цими електродами, коли відстань, площа перекриття або діелектрична проникність є мірою вимірюваної величини.

4) П'єзоелектричні перетворювачі. Принцип дії оснований на використанні явища поляризації п'єзоелектрика від дії на нього механічних зусиль. Різновидом п'єзоелектричних є п'єзорезонансні перетворювачі,



принцип дії яких оснований на використанні залежності резонансної частоти п'єзоелемента від значення вимірюваної величини, наприклад, температури.

5) Індуктивні перетворювачі. В основу принципу дії покладено залежність повного електричного опору намагнічувальної обмотки від зміни комплексного магнітного опору магнітного кола перетворювача, який може бути наслідком зміни проміжку в магнітному колі або результатом зміни магнітних властивостей феромагнетика, що використовується у магнітопроводі.

6) Взаємоіндуктивні або трансформаторні перетворювачі. В основу принципу дії покладено залежність ЕРС вторинної обмотки від зміни комплексного магнітного опору магнітопровода, який, як і в індуктивних перетворювачах може змінюватись від зміни величини магнітного проміжку чи магнітних властивостей матеріалу магнітопровода.

7) Індукційні перетворювачі. Принцип дії оснований на використанні явища електромагнітної індукції. Вхідними величинами таких перетворювачів може бути швидкість зміни магнітного потоку або швидкість лінійного чи кутового переміщення вимірювальної котушки.

8) Гальваномагнітні перетворювачі. Принцип дії базується на використанні гальваномагнітних ефектів Гауса або Холла. Суть ефекту Гауса полягає у зміні електричного опору провідника чи напівпровідника від проходження по ньому електричного струму та одночасної дії на нього магнітного поля, а ефекту Холла – в появі за таких умов поперечної різниці потенціалів. Основними різновидами гальваномагнітних перетворювачів є магніторезистивні перетворювачі та перетворювачі Холла.

9) Теплові перетворювачі. В основу принципу дії покладено фізичні ефекти, що визначаються тепловими процесами. Теплові перетворювачі – це, переважно перетворювачі температури. Є дві основні групи теплових перетворювачів:

- терморезистивні, у яких використовується залежність опору матеріалу від температури;

- термометричні, в основу дії яких покладено явище виникнення термо-ЕРС у робочому спаї двох різнорідних провідників або сплавів.

Теплові перетворювачі іноді використовуються для перетворення інших фізичних величин, що проявляються через теплові процеси, наприклад, хімічного складу, концентрації, швидкості руху газів або рідин тощо.

10) Електрохімічні перетворювачі. Принцип дії заснований на залежності:

- електропровідності речовин від їх складу, концентрації, температури чи інших властивостей – електрохімічні резистивні перетворювачі;
- електродних потенціалів від активності водневих іонів – гальванічні перетворювачі іонометрів;
- різниці електричних потенціалів на межі розділу твердої та рідкої фаз від швидкості переміщення розчину – електрокінетичні перетворювачі.

11) Оптичні перетворювачі. В основу принципу дії покладено залежність параметрів оптичного випромінювання від значення перетворюваної величини.

Ця величина може діяти безпосередньо на джерело випромінювання, змінюючи його інтенсивність випромінювання, або ж на оптичний канал, впливаючи на параметри оптичного потоку.

12) Іонізаційні перетворювачі. Принцип дії оснований на перетворенні інтенсивності іонізаційного чи рентгенівського випромінювань. У перетворювачах іонізаційного випромінювання вихідна електрична величина функціонально пов'язана з інтенсивністю іонізаційного чи рентгенівського випромінювання, яка є мірою досліджуваної величини.

### **3. Основні поняття та визначення**

*Датчик* – це засіб вимірювань, що є конструктивно завершеним пристроєм та виконує функцію вимірювального перетворювача.

*Сенсор* – первинний вимірювальний перетворювач, що входить до складу датчика.

Треба відмітити, що сенсор (чутливий елемент) та датчик часто вживаються як синоніми більш загального терміну перетворювач. В точному сенсі цього слова, що визначений Оксфордським словником, вимірювальний перетворювач є пристроєм, що перетворює зміну однієї величини в зміну іншої. В термінах електроніки вимірювальний перетворювач визначається звичайно як

прилад, що перетворює неелектричну фізичну величину (що має назву вимірюваної фізичної величини) в електричний сигнал, або навпаки.

Звідки випливає, що вимірювальні перетворювачі використовуються в електричних системах, тобто в технічних пристроях з електричним сигналом, що відображує результат вимірювань чи спостережень. З іншої сторони, вимірювальний перетворювач може бути використаний на виході системи, щоб, наприклад, генерувати механічний рух в залежності від електричного керуючого сигналу.

Прикладом реалізації перетворювачів є система, в якій мікрофон (вхідний перетворювач) перетворює звук (вимірювану фізичну величину) в електричний сигнал. Цей електричний сигнал підсилюється, а потім поступає на гучномовець (вихідний перетворювач), що відтворює звук, істотно більш гучний, ніж той, що сприймається мікрофоном.

Досить часто вимірювана величина, згідно з її визначенням, просто вимірюється електронною системою, а результат, що було отримано, тільки відображується або запам'ятовується. Однак у деяких випадках вимірювання створюють вхідний сигнал керуючої схеми, яка служить або для регулювання вимірюваної величини, або для керування змінною величиною у відповідності з вимірюваною. Прийнято розрізняти ці області використання 5чинників, дослідження нових конструктивних принципів побудови, використання новітніх досягнень науки при створенні нових видів медичних датчиків і сенсорів.

Отже, при такому підході в основу їх класифікації слід покласти фізичний принцип дії, або, точніше, фізичні закономірності, що визначають принцип його дії.

Як класифікаційні ознаки приймають також вид функції перетворення, який визначається призначенням датчика, структурну схему або його місце в структурній схемі засобу вимірювань, принцип зворотності, енергетичні властивості вихідного параметра і т.п. Використавши ті або інші класифікаційні ознаки, можна привести ряд класифікацій, кожна з яких по-своєму відображає основні властивості датчиків і має як позитивні так і негативні сторони. Якнайповніше уявлення про всю різноманітність вимірювальних

перетворювачів можна одержати, привівши загальну класифікацію з урахуванням багатьох класифікаційних ознак.

Залежно від роду вхідної і вихідної величин медичні датчики підрозділяються на перераховані нижче групи.

Датчики-перетворювачі електричних параметрів інформації в електричні величини-вхідними і вихідними величинами таких перетворювачів є електричні величини.

Це перетворювачі розміру електричної величини (вимірювальні трансформатори, подільовачі струму і напруги), а також перетворювачі виду електричної величини, що перетворюють одну електричну величину в іншу(шунти, додаткові опори).

Датчики – перетворювачі неелектричних величин в неелектричні –вхідні та вихідні величини таких перетворювачів-неелектричні. Вони також можуть бути перетворювачами розміру тієї або іншої неелектричної величини (важелі, редуктори) або перетворювачами виду вхідної величини (консолі, мембрани, пружини та інші пружні механічні перетворювачі).

Датчики – перетворювачі електричних величин в неелектричні та датчики – перетворювачі неелектричних величин в електричні є найбільш численною і різноманітною групою датчиків. Це пояснюється, з одного боку, численністю самих неелектричних величин, а з іншою – перевагами електричних методів вимірювань, і, відповідно, необхідністю перетворення неелектричних величин саме в електричні.

*За виглядом функції перетворення датчики розділяють на три великі групи:*

- масштабні, змінюючі в певне число разів розмір вхідної величини без зміни її фізичної природи;
- функціональні, такі, що здійснюють однозначне функціональне перетворення вхідної величини із зміною її фізичної природи або без її зміни;
- операційні, що виконують над вхідною величиною математичні операції вищого порядку - диференціювання або інтегрування за часовим параметром.

Залежно від виду вихідного сигналу датчика, яким може бути енергетичний процес або властивість речовини, розрізняються генераторні та параметричні датчики. До генераторних відносяться датчики, вихідні сигнали яких містять енергетичні властивості, зокрема, ними можуть бути е.р.с., електричний струм, механічна сила, тиск, і т.п.

Параметричними є датчики, в яких зміна вхідного сигналу приводить до зміни їх певних параметрів - опору, ємності, індуктивності, пружності і ін. Для отримання вихідного енергетичного сигналу в цих випадках потрібні додаткові джерела енергії.

Вивчення властивостей датчиків і сенсорів по фізичних явищах і ефектах, покладених в основу їх роботи, дозволяє з'ясувати загальні властивості, знайти загальний підхід до питання схемного і конструктивного рішення задач, пов'язаних з їх розрахунком, конструюванням і застосуванням. За фізичними закономірностями, покладеними в основу принципу дії, медичні сенсори можуть бути розділені на наступні групи: резистивні, електричні та механоелектричні, носієм вимірювальної інформації в яких є електричний опір.

В основу принципу перетворення електричних резистивних сенсорів покладена залежність між напругою, струмом і електричним опором, яка визначена законом Ома. Принцип роботи механоелектричних резистивних сенсорів заснований на зміні електричного опору під дією вхідної перетворюваної механічної величини медико-біологічної інформації.

**Електростатичні** – сенсори, до яких відносяться первинні вимірювальні перетворювачі, носієм вимірювальної інформації в яких є електричний заряд. Розрізняють два основні різновиди електростатичних сенсорів: ємнісні, принцип дії яких заснований на взаємодії двох заряджених тіл, і п'єзоелектричні, виникнення електричного заряду в яких є наслідком дії на сенсор механічних зусиль, зміни температури і інших чинників.

Сенсори електромеханічної групи, до яких відносяться сенсори, принцип дії яких заснований на виникненні механічних переміщень їх рухомих елементів під впливом електричного струму. Це електродинамічні, феродинамічні та магнітоелектричні сенсори.

**Гальваномагнітні** – сенсори, принцип дії яких заснований на використанні гальваномагнітних ефектів, суть яких полягає в зміні електричних параметрів сенсорів під впливом перетворюваного магнітного поля, зокрема зміні електричного опору (ефект Гауса) або появи е.р.с. (Ефект Холу). Основними різновидами гальваномагнітних сенсорів є відповідно магніторезистивні перетворювачі та перетворювачі Холу.

**Електромагнітні** – сенсори, які складають велику і різноманітну за принципом дії і за призначенням групу сенсорів, об'єднаних спільністю теорії і принципу перетворення, заснованого на використанні електромагнітних явищ.

**Індукційні** – сенсори, принцип дії яких заснований на законі електромагнітної індукції.

**Теплові сенсори** – з це первинні вимірювальні перетворювачі, в основу принципу роботи яких покладені фізичні закономірності, визначені тепловими процесами в об'єктах. Основними різновидами теплових сенсорів є термомеханічні, терморезистивні та термоелектричні. Теплові сенсори – це в основному перетворювачі температури. Поряд з цим вони використовуються і для перетворень інших неелектричних величин, які проявляються через теплові процеси і функціонально пов'язані з тепловими величинами (наприклад, хімічний склад речовин, концентрація, швидкість руху біологічних рідин і газів, та інші).

**Електрохімічні сенсори** – це сенсори, принцип дії яких заснований на залежності електричних параметрів електролітичного середовища від складу і концентрації, температури та інших властивостей розчину, а також залежності електричної різниці потенціалів на межі розділу твердої і рідкої фаз від швидкості руху розчину. Вхідними сигналами електрохімічних можуть бути різноманітні величини інформації: якісний і кількісний склад складних рідких і газоподібних медико-біологічних середовищ і т.п.

Основними різновидами електрохімічних сенсорів є електролітичні резистивні сенсори, гальванічні, полярографічні, електрокінетичні, хемотронні.

**Оптичні сенсори** – це сенсори, в основу принципу дії яких покладено перетворення потоку оптичного (світлового і теплового) випромінювання.

Перетворення вимірювальної інформації здійснюється тут звичайно шляхом модуляції параметрів джерела випромінювання або оптичного каналу.

Функціональні можливості оптичних МС і область їх застосування значно розширилися у зв'язку з досягненнями оптоелектронної техніки, зокрема, із створенням оптичних квантових генераторів, світлодіодів і т.п.

**Квантові сенсори** – це сенсори, принцип дії яких заснований на вибіркового поглинанні або випромінюванні електромагнітних хвиль речовиною, поміщеною в магнітне поле. Залежно від природи елементарних часток, що беруть участь в процесі резонансного поглинання або випромінювання енергії, розрізняють перетворювачі електронного парамагнітного та ядерного магнітного резонансу. До квантових відносяться також сенсори, принцип дії яких заснований на використанні ефекту Джозефсона.

## ЛЕКЦІЯ 5. СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОЇ ПЕРЕДАЧІ, НОРМУЮЧІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

### 1. Основні поняття

Цифровий вимірювальний прилад (ЦВП) – це вимірювальний прилад, в якому вхідний сигнал перетворюється в дискретний вихідний сигнал і представляється у цифровій формі. Під дискретним сигналом розуміють перервний сигнал, в якому інформація знаходиться не в інтенсивності носія сигналу (наприклад, в значеннях напруги, струму), а в числі елементів сигналу (наприклад, в числі імпульсів напруги) і їх взаємному розташуванні у часі або в просторі. Систему таких сигналів для представлення інформації називають *кодом*.

Вимірювана величина, яка подається на вхід ЦВП, являється величиною неперервною, тобто на кінцевому інтервалі вона має безмежне число значень. Неперервну величину часто називають *аналоговою величиною*.

Таким чином, в будь-якому ЦВП вхідна аналогова величина перетворюється в цифрову форму і представляється у вигляді цифр на цифровому лічильному пристрої. Процес перетворення аналогової форми сигналу в цифрову називається *аналого-цифровим перетворенням*, а перетворювач який здійснює це перетворення, - *аналого - цифровим перетворювачем* (АЦП).

### 2. Інформаційні процедури вимірювальних приладів

За допомогою цифрових вимірювальних приладів здійснюють такі інформаційні процедури, як *дискретизація сигналів за часом, квантування сигналів за інформативним параметром і кодування квантованих сигналів*.

Дискретизація аналогового сигналу полягає у періодичному, з періодом дискретності  $T_d$ , виділенні окремих миттєвих значень сигналу (рис. 1). Таким чином, *дискретизований сигнал* – це послідовність миттєвих значень або дискретних сигналів. Кожне виділене миттєве значення (дискрета сигналу)



запам'ятовується в аналоговому запам'ятовуючому пристрої (АЗП) — дискретизаторі.

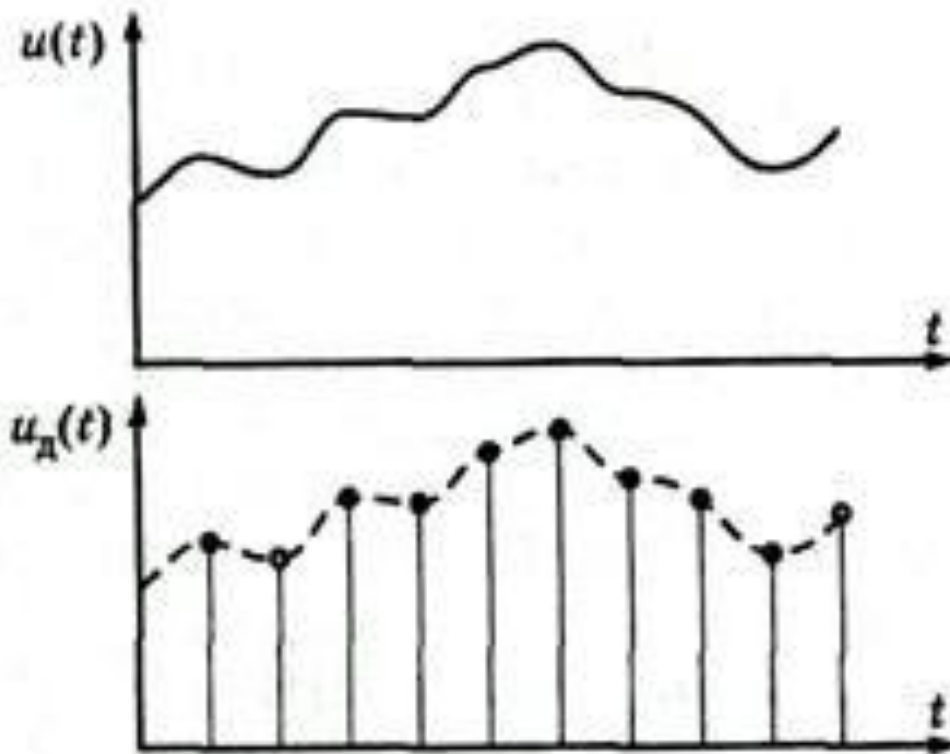


Рис. 5.1 – Дискретизація аналогового сигналу

Вимірювана фізична величина змінюється в межах деякого діапазону значень. Цей діапазон поділяється на багато ступенів або квантів. Наприклад, якщо напруга змінюється в діапазоні від нуля до 10В, то діапазон можна поділити на 10000 квантів або ступенів по 0,001 В.

Далі кожне миттєве значення фізичної величини порівнюється (врівноважується) з сукупністю квантів (квантовою фізичною величиною, відтвореною мірою) до виконання системи нерівностей:

$$N \cdot \Delta_x \leq X \leq (N+1) \cdot \Delta_x$$

Компаратор або пристрій для порівняння фіксує (тобто «сигналізує») виконання системи нерівностей спеціальним сигналом. Наприклад, якщо система нерівностей виконується, сигнал на виході компаратора 1, а якщо не виконується — то 0.

Після закінчення процесу зрівноважування для вимірювальної величини  $X$  зазначається, тобто приписується, або нижній рівень  $n \times D_x$  (квантування «з нестачею»), або верхній рівень  $(N+1) \times D_x$  (квантування «з надлишком»).

Число  $N$  (або  $(N+1)$ ) потрібно подати у певній системі числення. Цей процес називається кодуванням квантового сигналу. Комп'ютери та цифрові прилади здійснюють обробку чисел у двійковій системі числення, у якій довільне число подається комбінацією тільки двох цифр **0** та **1**.

Для візуального відображення інформації користуються звичною для людини десятковою системою числення, у якій кожне число подається комбінацією десяти цифр 0, 1, ..., 9, які часто називають арабськими цифрами.

### **3. Аналого-цифрові а також цифро-аналогові перетворювачі**

Основними характеристиками вимірювальних генераторів є:

**Діапазон частот** генератора визначається коефіцієнтом перекриття, який дорівнює відношенню максимальної частоти до мінімальної.

**Точність встановлення частоти** таких генераторів визначається за якістю шкальних пристроїв і механізмів приводів для зміни частоти. Вимірювальні генератори загального застосування оснащуються заздалегідь градуйованими шкалами, і частота генератора вводиться в межі елементів шкали за допомогою елементів налагодження.

**Стабільність частоти** є однією з найважливіших характеристик вимірювальних генераторів. У генераторів з плавною зміною частоти нестабільність виникає внаслідок зміни геометричних розмірів елементів коливальних контурів, електричних параметрів елементів і деталей, напруги живлення, впливу навантаження генератора.

**Форма вихідного сигналу** підтримується у генераторів синусоїдального сигналу застосуванням глибокого зворотного зв'язку. Отримання і збереження заданої форми імпульсів забезпечується формувальними каскадами і ширококутовими підсилювачами з лінійними частотами і фазовими характеристиками.

**Діапазон зміни вихідного сигналу** забезпечується подільниками і атенюаторами. Для дослідження і налагодження високочутливих приладів вихідну напругу генератора необхідно змінювати у діапазоні 100 і більше децибел.

Генератори вимірювальних сигналів синусоїдної форми призначені для роботи у широкому діапазоні частот.

**Генератори сигналів інфранизьких частот** призначені для дослідження і налагодження різноманітної вимірювальної, електронної електроакустичної апаратури, вузлів і систем автоматичного керування, які працюють у інфранизькочастотному діапазоні. Більшість інфранизькочастотних генераторів видає сигнал синусоїдної форми, але у деяких з них передбачена можливість отримання сигналів прямокутної, трикутної і пилкоподібної форм. Діапазон таких генераторів змінюється в межах від 0,01 до 20 Гц.

**Генератори вимірювальних сигналів низьких частот** застосовуються для дослідження і налагодження різноманітних вимірювальних та електронних пристроїв, зняття амплітудних, частотних, модуляційних характеристик вимірювальних перетворювачів, а також для живлення деяких вимірювальних пристроїв (наприклад, для мостів змінного струму). Діапазон 20...20 000 Гц вважається діапазоном звукових частот, до сотень кілогерців – діапазоном звукових і ультразвукових частот, а до 10 МГц – діапазоном відео частот. Назва відео частоти набуло поширення у зв'язку з широким застосуванням телевізійних систем, у яких за допомогою генераторів з діапазоном частот до 10 МГц регулюються і налагоджуються канали зображення (відеоканали).

**Генератори синусоїдальних сигналів високих частот** призначені для створення синусоїдних або модульованих синусоїдних сигналів, параметри яких – частота, амплітуда та коефіцієнт модуляції – відомі із заздалегідь встановленою точністю і з можливістю їх зміни в заданих межах. Такі генератори призначені для налагодження та випробування радіоприймачів, підсилювачів, телевізійних пристроїв, ліній зв'язку та інших радіотехнічних пристроїв. Генератори сигналів високих частот працюють в діапазоні 50 кГц...50 МГц, тобто перекривають діапазон частот довгих, середніх та коротких хвиль.

**Імпульсні сигнали** вимірювальної інформації широко застосовуються в радіоелектроніці, телекомунікаційній, обчислювальній та вимірній техніці.

У радіоелектронній апаратурі, електронних та вимірювальних пристроях для налагодження, перевірки та контролю імпульсних пристроїв і вузлів, а також для зняття перехідних характеристик різноманітних пристроїв використовуються генератори, вихідні сигнали яких мають форму прямокутних, трикутних, пилкоподібних імпульсів або імпульсів спеціальної форми.

Імпульси характеризуються такими основними параметрами: полярністю, тривалістю  $\tau$ , амплітудою  $A$ , періодом  $T$  або оберненою величиною (частотою)  $f=1/T$ , тривалістю фронту  $\tau_f$ , тривалістю спаду  $\tau_c$ , нерівномірністю вершини  $\delta$ , викидом на вершині  $b_1$ , викидом у паузі  $b_2$ . (рис. 5.2).

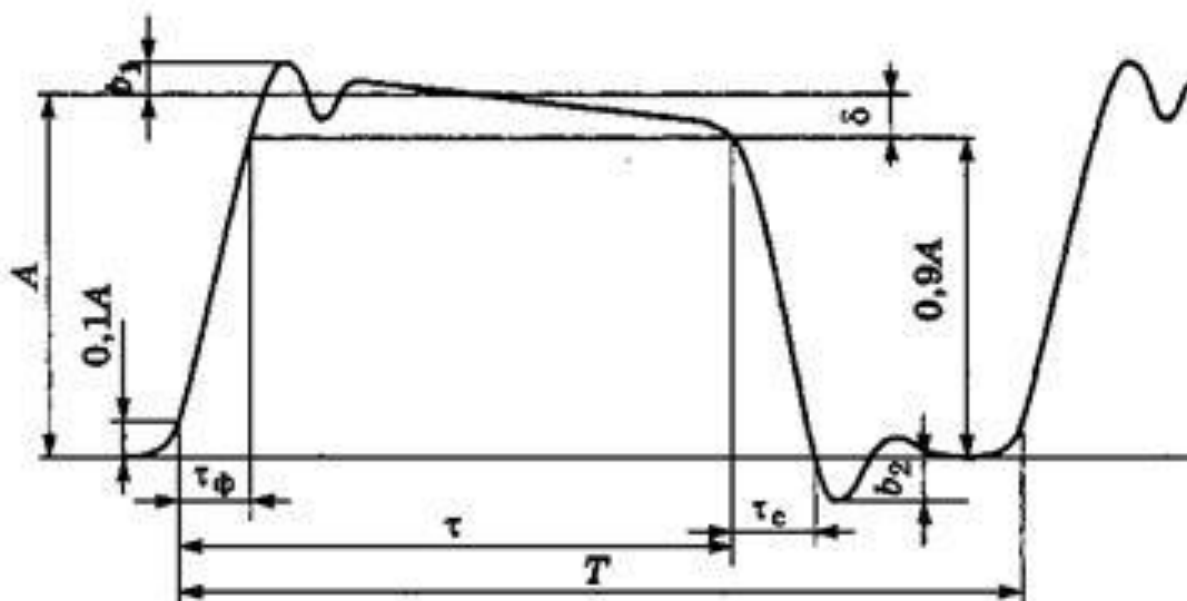


Рис. 5.2. – Основні параметри імпульсу

За характером послідовності імпульсів розрізняють генератори неперервної послідовності імпульсів з однаковими параметрами і генератори серій імпульсів, кожна з яких складається з фіксованої кількості імпульсів.

Розглянуті вище генератори синусоїдного сигналу та імпульсні генератори призначені для вимірювання та контролю невеликої кількості параметрів. Донедавна такі генератори задовольняли вимоги, які ставилися рівнем розвитку промисловості. Останнім часом, у зв'язку з бурхливим розвитком техніки, впровадженням новітніх технологій різко зросли вимоги до

точності, динамічного і частотного діапазону, функціональних можливостей генераторів сигналу.

Застосування сучасних аналогових та цифрових мікросхем високого ступеня інтеграції, мікропроцесорів дає можливість створити генератори сигналів, які б задовольняли зростаючі вимоги.

**Сучасні універсальні генератори сигналів** – це складні вимірювальні комплекси, до складу яких входять аналогові та цифрові високого рівня інтеграції, мікропроцесори, засоби відображення інформації.

Зокрема, застосування мікропроцесорів допомагає створювати генератори сигналів з великою кількістю режимів роботи і видів сигналів, високими метрологічними характеристиками та забезпечує оперативне введення і відображення інформації, керування параметрами сигналів і режимами роботи за заданою програмою, само діагностику приладу.

Вимірювальний генератор з мікропроцесорним керуванням не має традиційних органів керування і установки параметрів, а введення і відображення інформації здійснюється за допомогою алфавітно-цифрового дисплея та клавіатури. Введення параметрів, програм і даних здійснюється в діалоговому режимі. При цьому висвічується назва вибраного параметра, після чого оператор за допомогою клавіатури набирає його значення.

Генератор генерує сигнал основних форм: синусоїдної, прямокутної, трикутної, пилкоподібної. Вони генерують сигнал в частотному діапазоні від мікро герців до сотень мегагерців. Крім генерації неперервного періодичного сигналу необхідної форми, у багатьох моделях сучасних генераторів сигналу є режим генерації одиноких імпульсів заданої форми або заданої кількості однакових імпульсів. Момент генерації сигналу задається програмно, поданням спеціального синхроімпульсу.

## ЛЕКЦІЯ 6. ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

### 1. Класифікація приладів для вимірювання температури

Прилади для вимірювання температури розділяються залежно від використовуваних ними фізичних властивостей речовин на наступні групи з діапазоном показань:

**Термометри розширення** (-190...+6500С) засновані на властивості тіл змінювати під дією температури свій об'єм.

**Манометричні термометри** (-160...+6000С) працюють за принципом зміни тиску рідини, газу або пари з рідиною в замкнутому об'ємі при нагріванні або охолодженні цих речовин.

**Термометри опору** (-200...+6500С) засновані на властивості металевих провідників змінювати залежно від нагрівання їхній електричний опір.

**Термоелектричні термометри** (-50...+18000С) побудовані на властивості різнорідних металів і сплавів утворювати в парі (спаї) термоелектрорушійну силу, що залежить від температури спаю.

**Пірометри** (-30...+60000С) працюють за принципом вимірювання випромінюваної нагрітими тілами енергії, що залежить від температури цих тіл.

Термометри розширення. Фізична властивість тіл змінювати свій об'єм залежно від нагрівання широко використовується для вимірювання температури. На цьому принципі заснований пристрій рідинних скляних і дилатометричних термометрів, які з'явилися дуже давно і послужили для створення перших температурних шкал.

В рідинних термометрах, побудованих на принципі теплового розширення рідини в скляному резервуарі, як робочі речовини використовуються ртуть і органічні рідини — етиловий спирт, толуол і ін. Найбільш широке застосування одержали ртутні термометри, що мають у порівнянні з термометрами, заповненими органічними рідинами, істотні переваги: великий діапазон вимірювання температури, при якому ртуть залишається рідкою, незмочення скла ртуттю, можливість заповнення термометра хімічно чистою ртуттю через легкість її одержання та ін. При

нормальному атмосферному тиску ртуть перебуває в рідкому стані при температурах від  $-39$  (точка замерзання) до  $357^{\circ}\text{C}$  (точка кипіння) і середній температурний коефіцієнт об'ємного розширення  $0,18 \cdot 10^{-3}\text{K}^{-1}$ .

Термометри з органічними рідинами здебільшого придатні лише для вимірювання низьких температур у межах до  $100^{\circ}\text{C}$ . Рідинні термометри, виготовлені зі скла, є місцевими приладами, що показують. Вони складаються з резервуара з рідиною, капілярної трубки, приєднаної до резервуара і закритої із протилежного кінця, шкали і захисної оболонки.

## **2. Цифрові прилади для вимірювання температури**

У сучасних умовах для вимірювання температури широко використовуються цифрові вимірювальні прилади. Ці прилади є переважно багатофункціональними, можуть використовуватись для вимірювання температури та інших фізичних величин. Можуть працювати у комплекті з термоелектричними перетворювачами, термометрами опору або сприймати уніфікований електричний сигнал. Часто використовуються для автоматизації різних технологічних процесів як регулятори. На виході можуть реалізовувати дво- та трипозиційне дискретне регулювання або ПІД-закон регулювання. Можна використовувати у комплекті з ПК – протокол MODBUS, інтерфейс RS232 або RS485. Прилади дозволяють архівування результатів вимірювання до 10 – 20 тисяч результатів.

Цифрові прилади використовуються як для контактних, так і безконтактних методів вимірювання температури.

Отримують широке застосування і цифрові прилади, які прийнято називати інтелектуальними давачами. До таких інтелектуальних датчиків останнього покоління відноситься вимірювальний перетворювач температури SITRANS TF2.

Прилад SITRANS TF2 (рис. 6.1) – це компактний вимірювальний перетворювач температури з цифровим дисплеєм та термометром опору Pt100. Призначення приладу – індикація та контроль температури, що вимірюється на

технологічній лінії за місцем встановлення, а також дистанційна передача сигналу вимірювальної інформації на відстань.



*Рис. 6.1. Загальний вигляд SITRANS TF2:*

Вимірювальний перетворювач температури SITRANS TF2 об'єднує три компоненти в одному приладі:

- a) термометр опору Pt100 в захисній трубці із нержавіючої сталі;
- b) корпус із нержавіючої сталі з високим класом захисту;
- c) вбудований мікропроцесорний вимірювальний перетворювач з дисплеєм на рідких кристалах.

Діапазон вимірювання приладу – температура від  $-50$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ . Вихід: електричний уніфікований сигнал  $4\dots 20$  мА.

Абсолютна похибка за температури навколишнього середовища в межах  $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$  складає:  $< \pm(0,45^{\circ}\text{C} + 0,2\%)$  від верхнього значення встановленого діапазону. Час одного циклу вимірювання  $\leq 100$  мс.

Основні переваги приладу SITRANS TF2:

- висока точність вимірювання та індикація з роздільною здатністю  $1/100^{\circ}\text{C}$  на всьому діапазоні вимірювання;
- можливість встановлення довільних діапазонів вимірювання в межах від  $-50$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ ;



- сигналізація ( +/–) про перевищення заданого граничного значення температури на дисплеї, а також відповідного світлового індикатора.

Корпус SITRANS TF2 (ø80 мм) виготовлений із інструментальної сталі та оснащений захисним склом. У захисну трубу із інструментальної сталі з різьбовим з'єднанням вмонтований і термометр опору Pt100. У стандартному виконанні довжина захисної труби складає 170 мм.

На зворотній стороні корпусу розміщені клеми для підключення живлення вихідного навантаження, яке включається за схемою струмової петлі 4...20 мА.

На передній панелі корпусу під захисною скляною кришкою знаходиться п'ятирозрядний рідкокристалічний дисплей (рис. 6.1). Під дисплеєм розташовані три клавіші конфігурування SITRANS TF2. Вище над дисплеєм розташовані один зелений та один червоний світлодіоди для індикації виходу значення контрольованої температури за встановлені межі регулювання.

Первинний вимірювальний перетворювач Pt100, що поміщений у контрольне середовище, отримує живлення від стабілізованого джерела струму  $I_k$  (рис. 6.2).

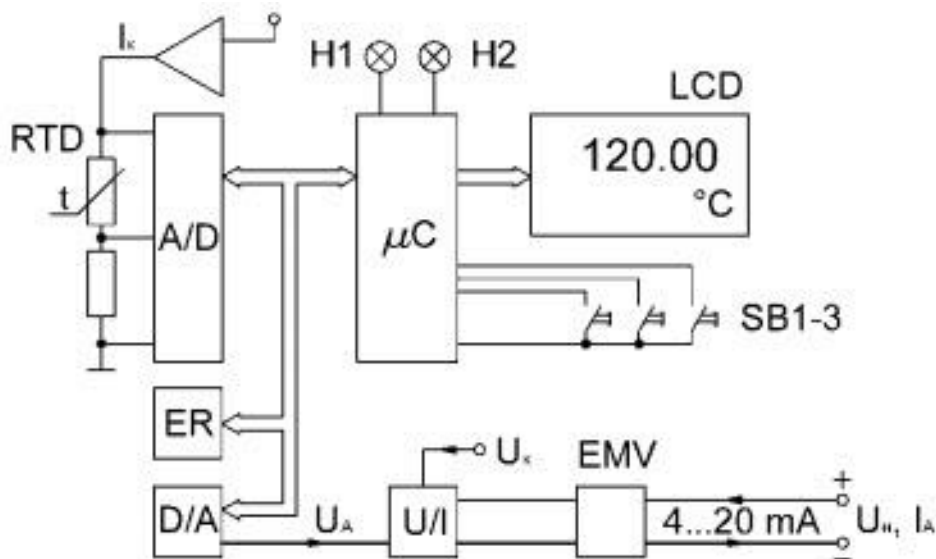


Рис. 6.2. Структурна схема перетворювача SITRANS TF2

Спад напруги на термоопорі Pt100 відповідає вимірюваній температурі. Аналого-цифровий перетворювач (A/D) перетворює спад напруги у цифровий

сигнал. У мікроконтролері ( $\mu\text{C}$ ) цифровий сигнал лінеаризується та відтворюється у числовій формі на дисплеї (LCD) у відповідності з вибраною одиницею вимірювання та встановленим діапазоном. Ці дані програмуються клавішами SB1-3 заздалегідь та зберігаються у блоці постійної пам'яті (ER). Вимірювальний перетворювач TF2 включає блоки і вузли (рис. 6.2):

1. Вхід:
  - a. RTD – термометр опору Pt100;
  - b.  $I_k$  – стабілізоване джерело струму;
  - c. A/D аналого-цифровий перетворювач.
2. Вихід:
  - a. D/A – цифро-аналоговий перетворювач;
  - b. U/I – перетворювач напруги в струм, який живиться від стабілізованого джерела напруги та перетворює напругу ЦАП в уніфікований вихідний сигнал по струму (4...20 mA);
  - c. EMV – вихідний каскад з захисними компонентами, який об'єднує струм живлення з уніфікованим вихідним сигналом по струму;
  - d.  $U_n$  – джерело живлення перетворювача (+12 V);
  - e. IA – уніфікований вихідний сигнал по струму (він же струм споживання).
3. Керування та індикація:
  - a. SB1-3 – конфігурування режимів роботи перетворювача;
  - b. LCD – індикація вимірюваних величин з одиницями вимірювання;
  - c. H1(зелений світлодіод) – індикація нормального режиму роботи;
  - d. H2 (червоний світлодіод) – індикація повідомлень про помилки та сигналізація про вихід параметру за встановлені межі.
4. Мікроконтролер:
  - a. ER (EEPROM) – запам'ятовуючий пристрій для всіх параметрів;
  - b.  $\mu\text{C}$  – функції обчислення та контролю мікроконтролера.

Основною перевагою перетворювача Sitrans TF2 є двопровідна схема живлення, у якій об'єднано коло живлення перетворювача з одночасною передачею по ньому сигналу вимірювальної інформації – вихідного уніфікованого аналогового сигналу струму 4...20 mA, який відповідає значенню

вимірюваної температури. Тобто, для початкового значення вимірюваної температури схема перетворювача споживає струм 4 мА зі сталою напругою 12...30 В. У кінці діапазону вимірювання – перетворювач споживає струм 20 мА у тих же межах напруги живлення.

### 3. Тепловізори

**Тепловізор (інфрачервона камера)** – це оптико-електронний безконтактний вимірювальний прилад, що працює в інфрачервоній області електромагнітного спектра, який "переводить" у видиму область спектра власне теплове випромінювання фізичних об'єктів. Тепловізор може використовуватися як прилад для безконтактного вимірювання температури фізичних об'єктів і температурних полів.

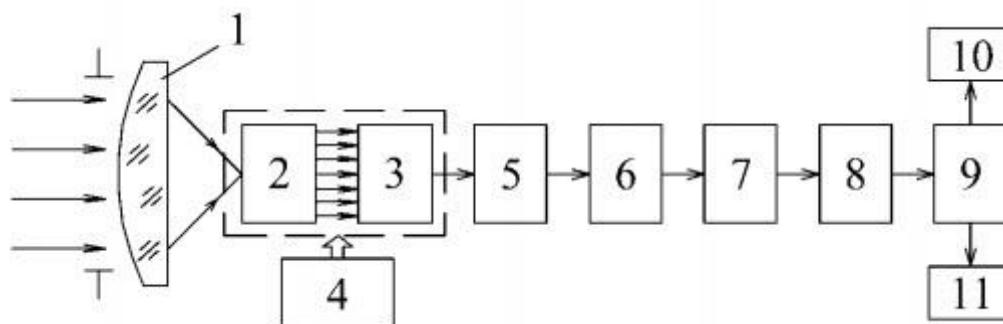
Сучасний тепловізор має досить просту будову:

- об'єктив,
- тепловізійну матрицю (чутливий елемент),
- електронний блок обробки сигналу.

**Матриця** – це ґратка мініатюрних детекторів, що сприймає інфрачервоні сигнали і перетворює їх в електричні імпульси, які після підсилення перетворюються у відеосигнал. Розмір фотоелектричних матриць у середньому 640×480 пікселів.

**Тепловізори поділяють на дві категорії:** з матрицею з охолодженням і без охолодження. Простота і відносно невисока вартість тепловізорів без охолодження дозволили їх масове використання.

На рис. 3 наведено узагальнену функціональну схему тепловізора з фокальною ПЧ-матрицею.



*Рис. 6.3. Узагальнена функціональна схема тепловізора з фокальною ІЧ-матрицею:*

- 1 – оптична система;
- 2 – фокальна матриця із підсилювачами;
- 3 – мультиплексор;
- 4 – система охолодження;
- 5 – коректор неоднорідності характеристик чутливих елементів;
- 6 – аналого-цифровий перетворювач;
- 7 – цифровий коректор неоднорідності;
- 8 – коректор;
- 9 – формувач зображення;
- 10 – дисплей;
- 11 – цифровий вихід

Принцип роботи тепловізорів полягає в тому, що вони "бачать" не відбите інфрачервоне випромінювання, а власне випромінювання об'єктів. Кожне нагріте тіло випускає теплове випромінювання, інтенсивність і спектр якого залежать від властивостей тіла і його температури.

**Принцип дії тепловізора такий:** інфрачервоне (теплове) випромінювання від досліджуваного об'єкта через оптичну систему передається на приймач – неохолоджувану матрицю термодетекторів. Далі отриманий відеосигнал за допомогою електронного блока вимірювання, реєстрації і математичної обробки оцифровується і відтворюється на екрані комп'ютера або дисплеї монітора.

Тобто фізична картина фотоефекта така: ІЧ-фотони, потрапляючи на поверхню напівпровідника зі звуженою зоною чутливості (HgCdTe, InSb), "переводять" носіїв заряду зі зв'язаного стану у вільний. Їх кількість пропорційна інтенсивності теплового випромінювання об'єкта. Матриця

фотоелектричних детекторів, яка встановлена у тепловізорі, обов'язково повинна охолоджуватися, інакше власні теплові коливання ґратки напівпровідника викликають настільки інтенсивне вивільнення носіїв заряду, що на його фоні генерація носіїв ІЧ-випромінювання стає просто непомітною.

Головний елемент тепловізорів – об'єктив, для виготовлення якого використовується чистий германій. Вартість об'єктива становить приблизно 45% вартості всього приладу, ще 45% – матриця.

## ЛЕКЦІЯ 7. ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ РІДИН І ГАЗІВ

### 1. Загальні відомості та класифікація засобів вимірювання тиску.

Тиск характеризує напружений стан рідин та газів і визначається відношенням нормальної сили, яка діє на поверхню, до площі цієї поверхні. Вважається, що нормальна сила рівномірно розподілена по поверхні:

$$p = \frac{N}{F}, \quad (7.1)$$

де  $p$  – тиск;

$N$  – нормальна сила, яка діє на поверхню;

$F$  – площа поверхні.

Тиск – одна з основних величин, яка характеризує термодинамічний стан речовин. Надзвичайно багатостороннє застосування тиску в науці, техніці і виробництві, а його вимірювання необхідне практично в будь-якій області науки і техніки.

Розрізняють наступні види тиску:

- абсолютний тиск – тиск, значення якого відраховується від тиску рівного нулю;
- атмосферний (барометричний) тиск – тиск повітряної оболонки Землі на її поверхню;
- надлишковий тиск – різниця тисків, один з яких, прийнятий за початок відліку, є атмосферним тиском:

$$p_H = p_{\text{абс}} - p_{\text{атм}} \quad (7.2)$$

- вакуум – стан середовища, абсолютний тиск якого менший від атмосферного тиску.

У Міжнародній системі одиниць (СІ) за одиницю тиску прийнято паскаль (Па), що є відношенням сили в 1 ньютон (Н) до площі в 1 м<sup>2</sup>:

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м} \quad (7.3)$$

Розмір одиниці тиску Па є дуже маленьким, відповідає тиску стовпа води висотою 0,1 мм. Тому на практиці використовують кілопаскалі (кПа), мегапаскалі (МПа), гектапаскалі (гПа):  $1 \text{ кПа} = 1 \cdot 10^3 \text{ Па}$ ;  $1 \text{ МПа} = 1 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ;  $1 \text{ гПа} = 1 \cdot 10^2 \text{ Па}$ .

Використовуються також позасистемні одиниці:

$$1 \text{ бар} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$1 \text{ кгс/см}^2 = 0,980665 \cdot 10^5 \text{ Па} \approx 100 \text{ кПа}$ , (кілограм-сила на квадратний сантиметр);

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133,322 \text{ Па, (міліметр ртутного стовпа);}$$

$$1 \text{ мм вод. ст.} = 9,80665 \text{ Па, (міліметр водяного стовпа);}$$

$$1 \text{ psi} = 6,89476 \cdot 10^3 \text{ Па, (фунт-сила на квадратний дюйм);}$$

$$1 \text{ Па} = 0,102 \text{ мм вод. ст.} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм. рт. ст.}$$

Тиск, зважаючи на його фізичну суть, може бути визначений як шляхом безпосереднього вимірювання, так і опосередковано – вимірюванням іншої фізичної величини, функціонально пов'язаної з тиском.

У першому випадку вимірюваний тиск діє безпосередньо на чутливий елемент приладу, який передає інформацію про значення тиску на наступні ланки вимірювального кола для перетворення її у необхідну форму. Цей метод визначення тиску відноситься до прямих вимірювань і є найпоширенішим у техніці вимірювання тиску. На ньому основані принципи дії більшості манометрів та вимірювальних перетворювачів тиску.

Широкий діапазон вимірювання тисків – від часток Па до майже  $10^{10}$  Па зумовив і велику різноманітність методів та засобів їх вимірювань. Значна частина методів основана на попередньому перетворенні тиску в механічне напруження, деформацію або переміщення за допомогою пружних перетворювальних елементів з наступним вимірюванням цих механічних величин.

За принципом дії прилади для вимірювання тиску поділяють на такі основні групи:

- рідинні – вимірюваний тиск врівноважується тиском стовпа рідини відповідної висоти;
- деформаційні – вимірюваний тиск визначається за величиною деформації різних пружних чутливих елементів;
- вантажопоршневі – вимірюваний тиск врівноважується тиском, який створюється масою поршня та вантажів;
- електричні – дія яких основана на залежності електричних параметрів манометричного перетворювача від вимірюваного тиску.

За видом вимірюваного тиску розрізняють наступні основні прилади:

- манометри – прилади для вимірювання тиску або різниці тисків (загальна назва);
- барометри – для вимірювання барометричного тиску атмосферного повітря;
- манометри надлишкового тиску – для вимірювання надлишкового тиску, рівного різниці між абсолютним і атмосферним тиском;
- вакуумметри – для вимірювання тиску нижчого за атмосферний, рівного різниці між барометричним і абсолютним тиском;
- мановакуумметри – для вимірювання надлишкового і вакууметричного тиску;
- диференціальні манометри – для вимірювання різниці двох тисків, ні один з яких не є тиском оточуючого середовища.

Манометри, вакуумметри і диференціальні манометри, призначені для вимірювання невеликих надлишкових і вакууметричних тисків або різниці тисків (до 40 кПа або 4000 мм вод. ст.) газових середовищ називають напоромірами, тягомірами або диференціальними тягонапоромірами.

## **2. Рідинні та поршневі манометри**

### ***1.1. Скляні рідинні манометри.***

Дія рідинних приладів основана на гідростатичному принципі, за якого вимірюваний тиск врівноважується тиском стовпа робочої рідини. В якості робочої рідини використовується дистильована вода, ртуть, спирт,



трансформаторне мастило. Прилади підрозділяють на трубні, чашкові, дзвонові, кільцеві та поплавкові.

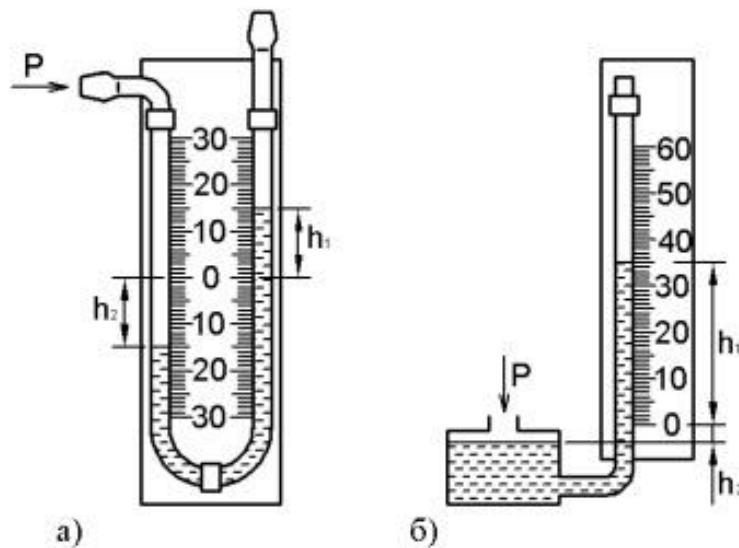
В U-подібному рідинному манометрі значення вимірюваного тиску визначається висотою перепаду рівня рідини у трубці:

$$\Delta = p_1 - p_2 = H \cdot \rho \cdot g \quad (7.4)$$

де:  $H = h_1 + h_2$ ;

$\rho$  – густина робочої рідини;

$g$  – прискорення вільного падіння.



а) U-подібний манометр, б) чашковий манометр

Похибка показів в U-подібному манометрі може виникнути через неточність градуювання шкали (до 0,2 – 0,4 мм), вплив капілярних сил і поверхневого натягу (до 0,2 мм), відхилення від вертикального положення манометра і, головне, неточності відліку. Відлік необхідно виконувати по двох рівнях. Не можна відраховувати рівень в одній трубці і множити на два. Неоднаковий діаметр скляних трубок може призвести до великих додаткових похибок.

У чашковому манометрі одна з частин виконана у вигляді чашки діаметром  $D$ , який є значно більшим від діаметра трубки  $d$ . У цьому випадку перепад робочої рідини легко визначити за зміною висоти  $H$ :

$$H = h_1 \left(1 + \frac{f}{F}\right) = h_1 \left(1 + \frac{d^2}{D^2}\right) \quad (7.5)$$

де:  $d, D$  – внутрішні діаметри трубки та чашки.

Перевага чашкового приладу, який ще називають однотрубним манометром, полягає у одному відліку положення меніску рідини у трубці. Але тут виникає похибка через зниження рівня рідини ( $h_2$ ) у чашці, що змінює положення нуля шкали. Ця похибка буде прямо залежати від відношення площ трубки  $f$  і чашки  $F$ , та відповідно, діаметрів  $d$  і  $D$ . Площу перерізу трубки і чашки вибираються такими, щоб відношенням  $f/F$  можна було знехтувати. В основному для чашкових приладів вибирається відношення  $f/F \leq 1/400$ .

Для вимірювання невеликих тисків іноді застосовуються однотрубні манометри з похилою трубкою. У манометрах такого типу кут нахилу трубки  $\alpha$  можна встановлювати довільно на декілька значень. Цим розширюються границі вимірювання таких манометрів.

Верхня межа вимірювання стандартних манометрів з похилою трубкою складає від 60 до 240 кгс/м<sup>2</sup> з приведеною похибкою від 0,6 до 1,0%.

### ***1.2 Вантажопоршневі манометри.***

Для лабораторних вимірювань у якості зразкових засобів використовуються рідинні компенсаційні, вантажопоршневі та деформаційні манометри.

Принцип дії вантажопоршневих засобів вимірювання тиску заснований на врівноваженні зусилля, що створюється тиском, який вимірюється, на неуцільненому поршні, силою ваги вантажу, що навантажує поршень. Неуцільнений поршень – це поршень правильної циліндричної форми, поміщений у циліндр. Між стінками циліндра й поршня

забезпечено рівномірний дуже незначний проміжок (1 – 5 мкм), заповнений робочою рідиною –трансформаторним або касторовим мастилом. У результаті поршень знаходиться у підвішеному стані і може проявляти на рідину тиск, зумовлений вагою поршня та вантажу, поміщеного на нього.

Поршневий манометр складається з циліндричного поршня 1, притертого до циліндра 2 мінімально можливим проміжком. Якщо на нижній торець поршня діє вимірюваний тиск  $p$ , то для його врівноваження до поршня повинна бути прикладена сила  $P$ .

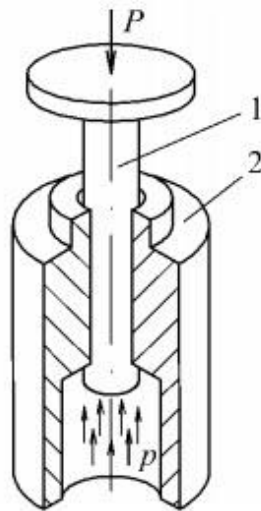


Рис. 7.1. Схема поршневого манометра.

Рівняння рівноваги з врахуванням сили тертя на бокову поверхню поршня, що виникає від протікання рідини чи газу через кільцевий проміжок між поршнем і циліндром під дією вимірюваного тиску, має вигляд:

$$pF = P - T \quad (7.6)$$

де  $F$  – геометрична площа перерізу поршня;

$T$  – сила рідинного тертя на бокову поверхню поршня.

Теоретичні та експериментальні дослідження показують, що сила рідинного тертя  $T$  пропорційна діючому тиску. Тому ефективна площа не

залежить від тиску, а відповідно вимірюваний тиск прямо пропорційний силі, яка його врівноважує.

Найчастіше вимірюваний тиск врівноважується вагою вантажів, що є важливою перевагою з огляду на досягнення високої точності вимірювань. Рівняння вимірювань у цьому випадку має вигляд:

$$p = \frac{m \cdot g}{F_{\text{еф}}} \quad (7.7)$$

де  $F_{\text{еф}} = F + T/p$  ефективна (приведена) площа поршня.

На наступному рисунку показано схему установки з вантажопоршневим манометром, оснащеним простим поршнем. Установка включає вантажопоршневий манометр I та гідравлічний прес II. Вантажопоршневий манометр – це посудина циліндричної форми 1, заповнена робочою рідиною. У внутрішній порожнині циліндра розташовано поршень 2 з вантажоутримуючою тарілкою 6.

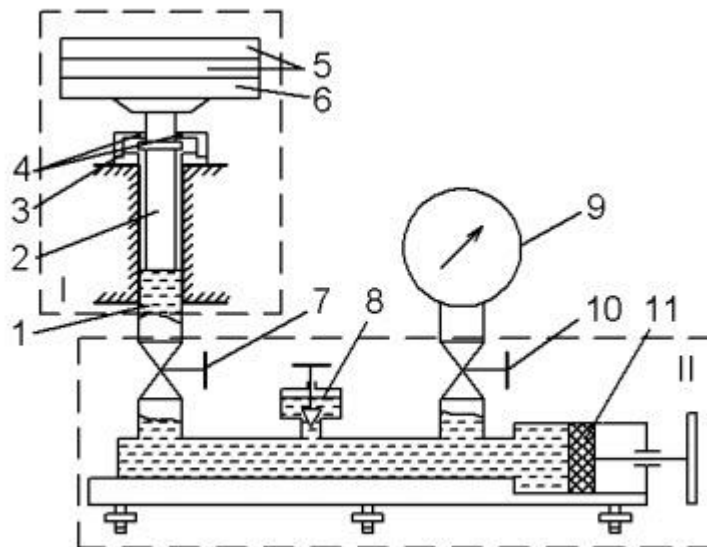


Рис. 7.2. Схема установки з вантажопоршневим манометром.

Гідропрес складається з поршня 11, що має манжетне ущільнення. Внутрішня порожнина преса з'єднується з вантажопоршневим манометром I і приладом, який повіряється 9, через канали, що перекриваються

вентилями 7 і 10. Для заповнення гідравлічної системи робочою рідиною передбачено бачок 8 з запірним вентиляем.

Під час вимірювання тиску  $P$ , що створюється гідропресом, вантажоутримуючу тарілку навантажують вантажами 5 до того моменту, доки поршень 2 не прийде в стан рівноваги. Про досягнення рівноваги судять по співпадинні рисок 4 на поршні і обмежувачі ходу 3 поршня. В стані рівноваги поршня буде справедливою рівність:

$$P = \frac{m_p + m_v}{F_{пр}} (1 - \rho_{п}\rho_v)g \quad (7.8)$$

де  $m_p$ ,  $m_v$  – маса поршня та вантажів;

$\rho_{п}$ ,  $\rho_v$  – густина повітря і матеріалу вантажів;

$F_{пр}$  – приведена площа поршня.

На практиці  $F_{пр}$  визначається експериментально і є основним метрологічним параметром вантажопоршневих манометрів. Приведена площа поршня – 0,5 см<sup>2</sup>. Класи точності вантажопоршневих манометрів з простим поршнем – 0,02; 0,05; 0,2.

Найбільш важлива перевага поршневих манометрів полягає в тому, що вони безпосередньо відтворюють тиск за визначенням: тиск рівний силі, поділеній на площу поршня. Цей метод, як і метод врівноваження тиску стовпом рідини, є фундаментальним, тобто вимірювання тиску у кінцевому підсумку зводиться до вимірювання маси, довжини та часу.

### **3. Диференціальні манометри.**

Диференціальні манометри використовуються у різних галузях промисловості для вимірювання перепаду тиску, витрат рідин та газів за перепадом тиску на звужуючому пристрої і рівня рідин, які знаходяться під атмосферним, надлишковим або вакууметричним тиском. Крім цього, деякі

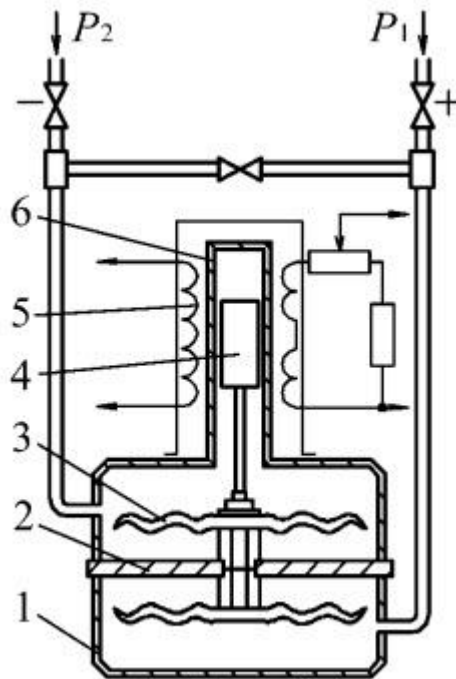
типи дифманометрів використовуються у якості тягомірів, напоромірів та тягонапоромірів.

Диференціальні манометри служать для вимірювання різниці тисків, а тому мають два входи. Дифманометри випускаються декількох класів точності: 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 і градууються за номінальним перепадом тиску  $\Delta P$ . Вони можуть мати відліковий пристрій – прилади для вимірювання витрат і не мати відлікового пристрою – вимірювальні перетворювачі.

За конструкцією поділяються на рідинні, у яких перепад тиску врівноважується відповідним стовпом рідини, та деформаційні, у яких врівноваження здійснюється за рахунок деформації пружних елементів. Рідинні дифманометри підрозділяють на поплавкові, дзвонові і кільцеві, а деформаційні – на мембранні і сильфонні.

Рідинні поплавкові дифманометри виготовляються за типом рідинних чашкових приладів, у чашці якого розміщено поплавок, з'єднаний системою важелів з відліковим механізмом. Дзвонові та кільцеві дифманометри, як морально застарілі, практично не використовуються. Основним недоліком рідинних дифманометрів є обов'язкова наявність робочої рідини у приладі, і як наслідок, велика інерційність показів, невеликі робочі частоти, можливість втрати частини робочої рідини тощо. Тому у сучасній вимірювальній техніці використовуються диференціальні манометри з пружними чутливими елементами і електричним виходом.

Дифманометри типу ДМ оснащені уніфікованим лінійним диференціально-трансформаторним перетворювачем, не мають відлікового пристрою і застосовуються у комплекті з вторинними приладами дифтрансформаторної системи.



*Рис. 7.3. Схема дифманометра мембранного типу*

Чутливим елементом приладу є мембранний блок, який складається з двох мембранних коробок 1 і 3, закріплених з двох сторін основи 2.

Основа з верхньою і нижньою кришками корпусу приладу утворюють дві камери: нижню – "плюсову" та верхню – "мінусову". Внутрішні порожнини мембранних коробок, заповнені дистильованою водою, сполучаються через отвір у перегородці. З центром мембрани верхньої коробки за допомогою немагнітного штока жорстко зв'язаний сердечник 4 диференціально-трансформаторного перетворювача 5. Сердечник знаходиться всередині роздільної трубки 6, виготовленої з немагнітної нержавіючої сталі. У дифманометрі передбачено пристрій, який дозволяє переміщувати перетворювач вздовж роздільної трубки для початкової корекції нульового значення вихідного параметра.

Тиск  $P_1$  і  $P_2$  до камер дифманометра підводиться через два запірних вентиля, розташованих на вертикальних трубках. Для сполучення між собою плюсової та мінусової камер служить зрівнювальний вентиль, розташований нижче запірних вентилів. Під дією різниці тисків  $P_1 - P_2$  нижня мембранна коробка стискається, рідина з неї перетікає у верхню коробку, викликаючи переміщення центру мембрани верхньої коробки, а разом з тим і

сердечника диференціально-трансформаторного перетворювача. Це переміщення приводить до зміни взаємної індуктивності між первинною та вторинною обмоткою перетворювача, і відповідно, до зміни його вихідної напруги пропорційно до вимірюваного перепаду тиску.

Якщо фактичний перепад тиску перевищує граничний номінальний або одна з мембранних коробок знаходиться під дією одностороннього перевантаження, поломки коробок не станеться, бо мембрани цієї коробки складуться по профілю, витіснивши рідину у іншу коробку.



## ЛЕКЦІЯ 8. ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТА ВИТРАТ

### 1. Загальні відомості про вимірювання витрат рідин і газів.

*Кількість речовини* – рідини або газу, яка проходить через переріз трубопроводу за одиницю часу, або за деякий проміжок часу, прийнято називати витратами. Кількість речовини виражається в одиницях об'єму – метр кубічний ( $\text{м}^3$ ) і літр (л), або в одиницях маси – кілограм (кг) і тонна (т).

Витрати вимірюються витратомірами та лічильниками кількості. Лічильники кількості визначають кількість речовини за інтервал часу між двома відліками, тобто вимірювати об'ємні витрати.

Витратоміри дозволяють визначати значення витрат у будь-який момент часу, тобто вимірювати миттєві витрати. Миттєві витрати вимірюються в  $\text{м}^3/\text{с}$  або  $\text{кг}/\text{с}$ . Якщо витратомір оснастити інтегруючим пристроєм, то він буде виконувати функції витратоміра і лічильника кількості.

За методом вимірювання витратоміри можна поділити на наступні основні групи:

а. пневматичні або напірні – вимірювання витрат виконується за швидкістю потоку в одній або декількох точках перерізу трубопроводу;

б. змінного перепаду тиску – вимірювання витрат виконується за перепадом тиску на місцевому звуженні потоку речовини;

в. постійного перепаду тиску або обтікання – вимірювання витрат виконується за перерізом потоку біля рухомого елемента, що обтікається вимірюваною речовиною;

г. електромагнітні або індукційні – вимірювання витрат виконується за е.р.с., що індукується електропровідною рідиною, яка перетинає магнітне поле;

д. ультразвукові – вимірювання витрат виконується за зміщенням звукових коливань рухомою речовиною;

е. тахометричні – вимірювання витрат виконується за швидкістю обертання ротора, крильчатки або диска, розташованих у потоці речовини.

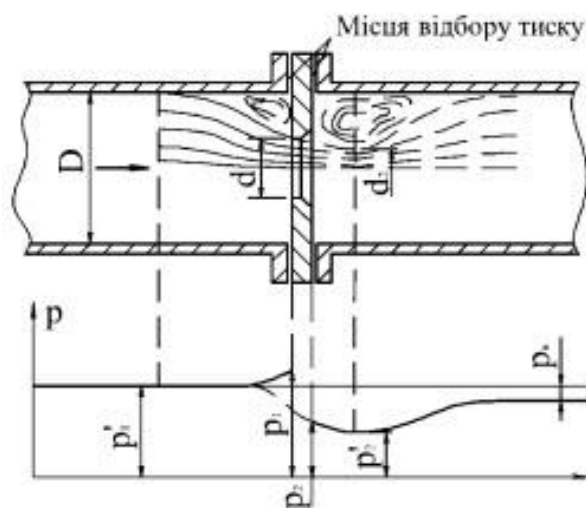
## 2. Вимірювання витрат за перепадом тиску

Найпоширенішим методом вимірювання миттєвих витрат рідин та газів є метод змінного перепаду тиску. Вимірювання витрат за цим методом ґрунтується на вимірюванні потенційної енергії речовини, що протікає через місцеве звуження у трубопроводі. У вимірювальній техніці в якості звужуючих пристроїв використовуються діафрагми, сопла та сопла Вентурі.

У якості звужуючого пристрою найчастіше використовується діафрагма.

Діафрагма (рис. 1) виконується у вигляді тонкостінного диска, встановленого в трубопроводі так, щоб отвір у диску був концентричним до внутрішнього контуру перерізу трубопроводу.

Звуження потоку починається до діафрагми; потім, на деякій відстані за нею, завдяки сил інерції потік звужується до мінімального перерізу  $d_2$ , а далі поступово розширюється до повного перерізу трубопроводу. Перед діафрагмою та за нею утворюються зони з вихровим рухом.



*Рис. 8.1. Характер потоку і графік розподілу статичного тиску на звужуючому пристрої*

Тиск потоку біля стінки трубопроводу дещо зростає через підпір перед діафрагмою та знижується до мінімуму за діафрагмою у найвужчому місці потоку. Далі з розширенням струменя тиск потоку біля стінки знову

підвищується, але не досягає попереднього значення. Втрата частини тиску рв визначається головним чином втратою енергії на тертя та звихрення.

Таким чином, біля передньої та задньої стінки діафрагми виникає різниця тисків  $\Delta p = p_1 - p_2$ , яка однозначно визначає витрати речовини, що проходить у трубопроводі через звужуючий пристрій.

Вимірювання перепаду тиску на звужуючому пристрої практично виконується через окремі циліндричні отвори, розташовані біля торців діафрагми, або через дві кільцеві камери, кожна з яких з'єднується з внутрішньою порожниною трубопроводу кільцевою щілиною.

Теорія та основні рівняння методу змінного перепаду тиску однакові для звужуючих пристроїв всіх типів. Різниця полягає лише у значеннях деяких коефіцієнтів, що визначаються дослідним шляхом.

Отже, вимірювання витрат за методом змінного перепаду тиску зводиться до вимірювання різниці тисків  $p_1$  і  $p_2$ , що створюється звужуючим пристроєм, безпосередньо на трубопроводі за допомогою пристроїв відбору.

Для стаціонарного потоку неподатливої рідини з густиною  $\rho$  (рис. 1) рівняння Бернуллі буде мати вигляд:

$$\frac{\rho v_{\text{сер}2}^2}{2} - \frac{\rho v_{\text{сер}1}^2}{2} = p_1 - p_2 \quad (8.1)$$

а рівняння нерозривності потоку:

$$F v_{\text{сер}1} = F_1 v_{\text{сер}2} = \mu' F_0 v_{\text{сер}2} \quad (8.2)$$

де  $F$  – площа поперечного перерізу трубопроводу,  $\text{м}^2$ ;

$F_0$  – площа отвору діафрагми,  $\text{м}^2$ ;

$F_1$  – площа перерізу потоку у місці його найбільшого стискання,  $\text{м}^2$ ;

$\mu' = F_0/F$  – коефіцієнт стискання потоку, який залежить від типу звужуючого пристрою;

$v_{\text{сер}1}$  і  $v_{\text{сер}2}$  – середні швидкості потоку у перерізах до та після діафрагми;

$p_1$  і  $p_2$  – абсолютний тиск у цих же перерізах відповідно.

У реальних умовах виникають додаткові фізичні явища, наприклад, втрати тиску на в'язкісне тертя, вихрові опори, нерівномірний розподіл швидкостей, зміна густини тощо. Тоді рівняння витрат буде мати інший вигляд.

Для реалізації методу змінного перепаду тиску необхідні три пристрої, об'єднані загальним визначенням витратомір змінного перепаду:

г. пристрій для створення перепаду тиску у потоці за рахунок місцевої зміни швидкості потоку або за значенням (звужуючі пристрої) або за напрямком (зігнуті ділянки труби);

h. вимірювальний прилад – дифманометр, що вимірює перепад тиску;

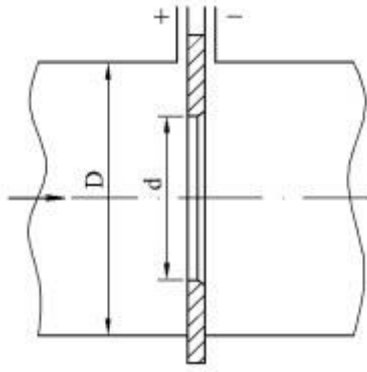
і. з'єднувальний пристрій, що передає перепад тиску від потоку до дифманометра.

Як звужуючі пристрої найчастіше використовуються нормальні діафрагми – плоскі та камерні, нормальні сопла і труби (сопла) Вентурі.

Нормальна діафрагма (рис. 8.2) являє собою тонкий диск з отвором, концентричним до осі труби, з гострою прямокутною крайкою зі сторони входу потоку.

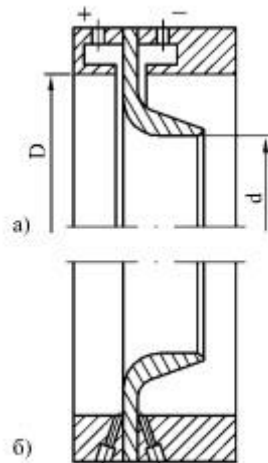
Тиск від плоскої діафрагми відбирають за допомогою окремих отворів у трубопроводі біля її торців.

Тиск у камерних діафрагмах відбирається з камер, з'єднаних з трубою кільцевими щілинами. Перевагою камерних діафрагм є відбір дійсних середніх тисків, що дозволяє дещо знизити вимоги до прямолінійних ділянок трубопроводу; недолік – необхідність спеціальних ущільнювальних пристроїв для герметизації камер.



*Рис. 8.2. Плоска безкамерна діафрагма*

Нормальне сопло (рис. 8.3) виконується у вигляді насадки, що має вхідну частину, яка далі звужується, утворену дугами з радіусами  $r_1$  і  $r_2$ , рівними  $0,2d$  і  $d/3$  та циліндричну частину діаметром  $d$  і довжиною  $0,3d$ .



*Рис. 8.3. Нормальне сопло: а) з камерним відбором тиску; б) безкамерний відбір*

Труби Вентурі використовуються чотирьох конструктивних різновидів: труби Вентурі з сопловим і конічним входами, з довгим і коротким дифузорами.

Для вимірювання перепаду тиску на звужуючому пристрої та отримання інформаційного сигналу використовуються диференціальні манометри різного принципу дії. Практична система для вимірювання витрат складається із декількох окремих пристроїв. У трубопроводі, яким протікає вимірювана речовина, встановлюється стандартна діафрагма, сопло

або сопло Вентурі. Перепад тиску на звужуючому пристрої, що є мірою витрат, вимірюється диференціальним манометром, оснащеним телеметричною системою для передачі вихідного сигналу на віддаль до вторинного вимірювального приладу.

### 3. Лічильники кількості витрат.

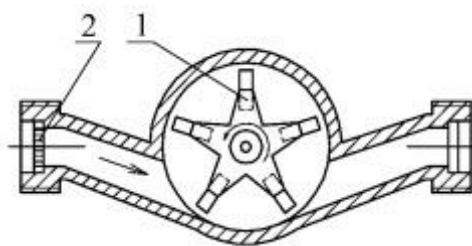
Лічильниками називаються прилади для вимірювання кількості речовини, що протікає трубопроводом за певний проміжок часу. Ця кількість визначається за різницею показів вказівника лічильника, зафіксованих на початку і в кінці відлікового інтервалу часу.

Лічильники рідин за принципом вимірювання можна поділити на дві групи: швидкісні та об'ємні.

Кожен лічильник включає два функціональних вузли: гідравлічний або пневматичний та відліковий.

У швидкісних лічильниках рідина або газ, що протікає через прилад, заставляє обертатись крильчатку або турбіну із швидкістю пропорційною до швидкості потоку, а відповідно, і кількості пропущеної рідини. Кількість обертів чутливого елемента підсумовується відліковим механізмом приладу. Похибка таких лічильників складає приблизно  $\pm 2\%$ .

Схема швидкісного крильчатого лічильника приведена на рис. 6, а турбінного – на рис. 8.4.



*Рис. 8.4. Схема вимірювального пристрою швидкісного крильчатого лічильника:*

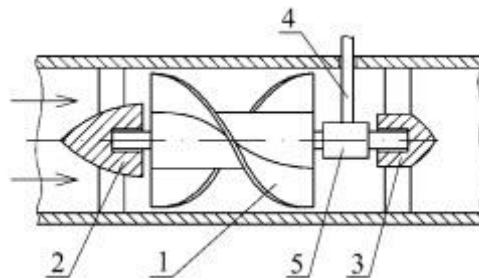
1 – крильчатка; 2 – сітка запобіжна

У лічильниках з вертикальними крильчатками потік рідини, що поступає у гідравлічний пристрій, направлений тангенціально до середнього радіусу лопаток. У лічильниках з турбінкою потік рідини, що поступає у гідравлічний пристрій, направлений аксіально – паралельно до осі турбінки.

Лічильники з крильчатками використовуються для вимірювання відносно невеликих витрат, а з турбінкою – для великих витрат рідин.

Швидкісні лічильники дуже чутливі до в'язкості рідини, кількість якої вимірюється, а тому використовуються переважно, як побутові і промислові лічильники витрат води.

Об'ємні лічильники здійснюють вимірювання кількості рідин у широкому діапазоні в'язкості з досить високою точністю.



*Рис. 8.5. Схема вимірювального пристрою швидкісного турбінного лічильника: 1 – турбінка; 2 – передній обтічник; 3 – задній обтічник; 4 – вал до лічильного механізму; 5 – черв'ячна передача*

Існує багато конструкцій об'ємних лічильників, але найбільше поширення отримали поршневі лічильники та лічильники рідин з овальними шестернями (рис. 8.6).

У вимірювальній камері лічильника розташовані дві овальні шестерні, примусово з'єднані між собою зубчатим зчепленням. Під дією різниці тисків до і після вимірювальної камери завдяки овальній формі шестерень виникає обертовий момент, який заставляє шестерні обертатися. Одночасно з кожним обертотом переміщується певний об'єм вимірювальної рідини.

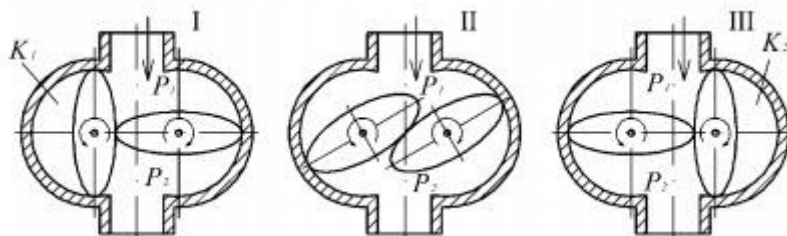


Рис. 8.6. Схема дії об'ємного лічильника з овальними шестернями

Схема дії лічильника показана на рис. 8.6. У положенні I обертовий момент за різниці тисків ( $P_1 - P_2$ ) виникає на лівій шестерні та заставляє її обертатись і обертати праву шестерню. У положенні II обертовий момент виникає на обох шестернях. У положенні III обертовий момент виникає на правій шестерні, а ліва стає веденою. За один оберт вимірювальні порожнини  $K_1$  і  $K_2$  двічі наповнюються та двічі випорожнюються. Таким чином, за один оберт лічильник з овальними шестернями пропускає об'єм рідини, рівний чотирьом об'ємам  $K_1$  (або  $K_2$ ).

Передача руху від шестерень до передатного та лічильного механізму виконується від однієї з шестерень за допомогою магнітної муфти.

#### 4. Ультразвукові витратоміри

Ультразвуковий метод вимірювання витрат оснований на явищі зміщення звукових коливань рухомого рідинного середовища.

Звукові коливання високої частоти (20 кГц і вище), що створюються електроакустичним випромінювачем  $ВІ$ , проходять через рідину, яка протікає трубопроводом, і реєструються приймачем  $ПІ$ , який знаходиться від випромінювача на відстані  $L$  (рис. 8.7).

Якщо  $v$  – швидкість потоку речовини, а  $c$  – швидкість звуку у цій речовині, то тривалість поширення звукової хвилі у напрямку руху потоку від випромінювача  $ВІ$  до приймача  $ПІ$ :

$$\tau_1 = \frac{L}{c+v} \quad (8.3)$$



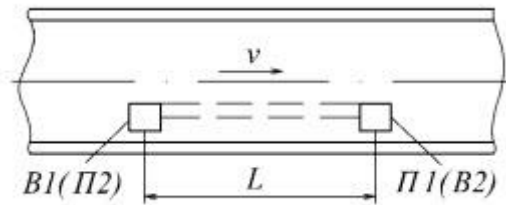


Рис. 8.7. Схема ультразвукового витратоміра

Тривалість поширення звукової хвилі проти руху потоку від випромінювача  $B2$  до приймача  $П2$ :

$$\tau_2 = \frac{L}{c-v} \quad (8.4)$$

На основі попередніх двох виразів різниця часу, що вимірюється електронною системою,

$$\Delta\tau = \frac{2Lv}{c^2} \cdot \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} \quad (8.5)$$

Зважаючи на те що  $v^2/c^2$  дуже мала порівняно з одиницею (наприклад, для рідин, у яких  $c = 1000 - 1500$  м/с, а  $v$  не перевищує  $6 - 8$  м/с,  $v^2/c^2 < 6 \cdot 10^{-5}$ ), і виразивши швидкість потоку через витрати, отримаємо рівняння вимірювання ультразвукових витратомірів:

$$\Delta\tau = 2\varphi \frac{L}{Fc^2} Q \quad (8.6)$$

де  $F$  – площа перерізу потоку;  $\varphi$  – коефіцієнт, що враховує розподіл швидкостей по перерізу потоку.

Існують різні способи і різні вимірювальні схеми для визначення  $\Delta\tau$ :

- вимірювання різниці фазових зсувів ультразвукових хвиль, направлених по потоку та проти нього;

- вимірювання різниці частот повторення коротких імпульсів або пакетів ультразвукових коливань, направлених одночасно по потоку та проти нього;

- вимірювання різниці тривалості проходження коротких імпульсів, направлених одночасно по потоку та проти нього.

Існує також самостійний метод визначення витрат, оснований на вимірюванні зміщення потоком ультразвукової хвилі, направленої перпендикулярно до напрямку руху речовини.

Чутливість ультразвукових витратомірів залежить від відношення  $v/c$ . Чим більше це відношення, тим вища чутливість приладу і менші похибки вимірювання.

## ЛЕКЦІЯ 9. АНАЛІЗ СКЛАДУ ГАЗІВ

### 1. Загальні положення

Вимірювання складу газового середовища проводиться в різних галузях промисловості, у наукових дослідженнях, при проведенні енергоаудиту, екологічних моніторингів навколишньої атмосфери та в інших випадках. Можна виділити такі основні напрями газового аналізу:

- визначення теплоти згорання газоподібного палива за відомим складом горючих компонентів газової суміші;

- контроль якості згорання палива за складом продуктів згорання. При повному згоранні палива в продуктах згорання на виході з теплових агрегатів повинні бути тільки негорючі компоненти, такі, як  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$  і  $O_2$ . Для правильного ведення процесу горіння палива необхідно підтримувати певне співвідношення між кількостями палива і повітря, які подаються у топковий простір агрегата. При недостатній кількості повітря в продуктах згорання з'являються такі горючі компоненти, як  $CO$ ,  $H_2$  та інші. Надлишкова кількість повітря забезпечує повне згорання палива, але вимагає додаткових витрат на нагрівання надлишкового об'єму повітря, що є баластом, який виносить із агрегата невикористане фізичне тепло. Необхідне співвідношення повітря-паливо може бути встановлене на основі газового аналізу;

- контроль складу технологічних газів, до яких відносять такі гази, як кисень, азот, аргон, водень, ендогаз, екзогаз та інші. Вони застосовуються для прискорення процесу виплавлення сталі і чавуну (кисень), при рафінуванні рідкого металу в робочому просторі агрегата або у ковші (аргон, азот), для захисту сталевих виробів від окислювання при нагріванні (ендогаз, аргон) і для інших технологічних процесів. Технологічні гази повинні мати певний склад (або чистоту), що визначає якість технологічних операцій;

- контроль складу повітряної атмосфери для визначення концентрації шкідливих для навколишнього середовища газоподібних речовин, таких, як оксиди ( $NO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $SO_3$ ,  $CO_2$  і ін.), феноли, бензол, аміак, горючі вибухонебезпечні гази ( $CO$ ,  $CH_4$  та ін.).

Прилади, призначені для кількісного визначення складу газу, називаються **газоаналізаторами**. Залежно від призначення вони поділяються на *переносні* і *автоматичні* (стаціонарні).

Переносні газоаналізатори застосовуються в лабораторних умовах при виконанні дослідницьких робіт, при проведенні енергетичного аудиту технологічних систем, при випробуваннях і налагодженні різних промислових теплотехнічних установок (плавильних, нагрівальних і термічних печей, парових і водогрійних котлів, сушильних установок та ін.).

Автоматичні (стаціонарні) газоаналізатори призначені для безперервного автоматичного вимірювання вмісту одного або декількох компонентів у газовій суміші. На підставі безперервного контролю газового середовища в робочому просторі промислового агрегата може здійснюватися автоматизоване керування технологічним процесом.

Газоаналізатори залежно від способу визначення концентрації окремих компонентів газової суміші поділяють на такі:

- *хімічні* (хімічні властивості газових молекул);
- *теплові* (фізичні властивості газу);
- *магнітні* (магнітні властивості газу);
- *хроматографічні* (адсорбційні властивості газових молекул);
- *оптичні* (здатність поглинати електромагнітні хвилі);
- *спектрометричні* (спектральні властивості газу);
- *ємнісні* (діелектрична проникність середовища);
- *випарні* (ефект випаровування, кипіння і конденсації рідини);
- *іонізаційні* (іонізаційні властивості аналізованої речовини).

Газоаналізатори звичайно градууються у відсотках за об'ємом. Такий спосіб градуювання шкали газоаналізаторів зручний, тому що процентна складова окремих компонентів у загальному об'ємі залишається незмінною при змінюванні тиску і температури газової суміші.

## **2. Хімічні газоаналізатори**

У хімічних газоаналізаторах визначення концентрації окремих компонентів газової суміші виконується методом поглинання цих компонентів хімічними реактивами. За зменшенням початкового мірного об'єму газу визначають склад даного компонента в газовій суміші.

Для багатьох компонентів газу розроблені селективні хімічні реактиви, які поглинають (реагують) тільки аналізований компонент. Непоглинений залишок аналізованого газу надходить у газовимірювальний пристрій, де визначається зменшення об'єму, що відповідає поглиненому компоненту. Цей метод застосовується як у переносних газоаналізаторах ручної дії, так званих приладах Орса, так і в автоматичних.

Найбільшого поширення дістали переносні газоаналізатори для визначення якості спалювання палива під час пусконаладжувальних робіт теплових агрегатів, які використовують тверде, рідке або газоподібне паливо. При цьому аналізуються три компоненти:  $CO_2$ ,  $O_2$  і  $CO$ . Такі газоаналізатори застосовуються також для контролю і градування автоматичних газоаналізаторів на ці самі компоненти.

Схема пристрою газоаналізатора для аналізу одного компонента з газової суміші наведена на рис. 1. Аналізований газ із об'єкта 1 надходить у газоаналізатор по газовому тракту 2 при відкритому вентилі 4 і закритому вентилі 5. Мірна кількість газу (50 або 100 мл) надходить у вимірювальну бюретку 6 за рахунок розрядження, створюваного опусканням зрівняльної посудини 6. Дистильована вода з посудини 6 перетікає в посудину 7, а аналізований газ цілком заповнює вимірювальну бюретку 6, після чого кран 4 закривається, а кран 5 відкривається. Піднімаючи зрівняльну посудину 7, витісняють аналізований об'єм газу в посудину поглинання 3, заповнену селективним хімічним реактивом, що поглинає тільки один компонент із аналізованої газової суміші. Для збільшення поверхні контакту між аналізованим газом і реактивом поглинальна посудина заповнена скляними трубками. Якщо прокачати аналізований газ кілька разів через реактив, можна домогтися повного поглинання даного компонента. Залишковий об'єм газу повертають у вимірювальну бюретку, що має градування в об'ємних відсотках від 0 до 100%. Рівень рідини у вимірювальній бюретці покаже на склад

аналізованого компонента в газовій суміші. За необхідності визначити концентрацію інших компонентів, які знаходяться в газовій суміші, використовують кілька поглинальних посудин, заповнених відповідними реактивами, які вибірково поглинають аналізовані компоненти.

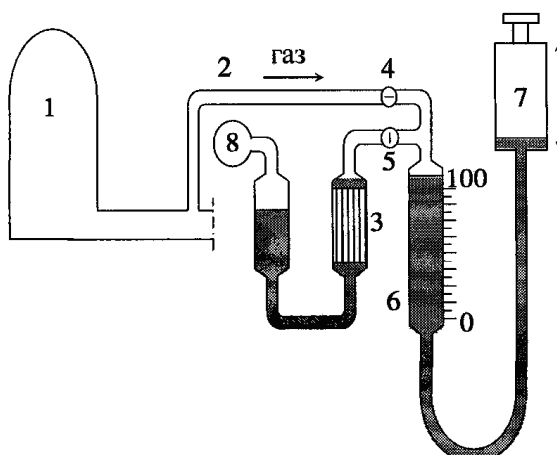


Рис. 9.1 - Схема хімічного газоаналізатора

Недоліками методу є: неможливість вимірювання малих концентрацій, тому що ціна поділки вимірювальної бюретки становить 0,1 мл; періодичність дії становить 20-30 аналізів на годину; необхідність частої заміни реактивів; неможливість використання в системах автоматичного регулювання.

### 3. Теплові газоаналізатори

У теплових газоаналізаторах для визначення концентрації певного компонента в газовій суміші використовуються його теплові властивості, такі, як теплопровідність (*термокондуктометричні*), тепловий ефект реакції каталітичного окислювання (*термохімічні*) та ін.

*Термокондуктометричні газоаналізатори* дістали найбільшого поширення, робота їх заснована на різкій розбіжності коефіцієнта теплопровідності одного з компонентів у порівнянні з іншими компонентами аналізованої газової суміші. Так, наприклад, теплопровідність таких газів, як  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CH_4$ ,  $He$ ,  $Ar$  значно відрізняється від теплопровідності повітря, і якщо в повітряному середовищі є один із цих компонентів, то зміна величини

теплопровідності газової суміші буде визначатися зміною складу даного аналізованого компонента.

Аналіз багатокомпонентної газової суміші за її теплопровідністю можна робити за умови, що всі компоненти газової суміші, крім тих, що визначаються, мають приблизно однакову теплопровідність. Якщо в газовій суміші є компоненти, які можуть впливати на теплопровідність суміші і концентрацію яких визначати не потрібно, то ці компоненти з газової суміші повинні бути вилучені перед початком аналізу. Так, наприклад, при вимірюванні концентрації  $CO_2$  у димових газах необхідно видалити такі компоненти, як  $H_2$  і  $SO_2$ , які знаходяться в невеликій кількості, але впливають на загальну теплопровідність.

У теплових газоаналізаторах для визначення концентрації окремих компонентів використовуються мостові схеми, у яких плечима мосту є платинові спіралі, нагріті до температури  $100^{\circ}C$  і поміщені в газові камери. Газоаналізатор складається із чотирьох газових камер, дві з яких  $R_1$  і  $R_3$  є робочими, через які безупинно прокачується аналізований газ (рис.8.2). Дві інші герметичні газові камери  $R_4$  і  $R_2$  є порівняльними, у яких перебуває газ постійного складу. Так, наприклад, у газоаналізаторах, призначених для визначення  $CO_2$  у газовій суміші, порівняльним газом є повітря.

При прокачуванні через протилежні газові камери  $R_1$  і  $R_3$  аналізованого газу, який містить, наприклад,  $CO_2$  і концентрацію якого треба визначити, змінюється теплопровідність газового простору, розміщеного між платиновим проводом і стінкою камери. Зі збільшенням концентрації  $CO_2$  у газовій суміші зменшується теплопровідність газу, погіршується теплообмін, що приводить до збільшення температури платинового проводу в камерах  $R_1$  і  $R_3$ . Виниклий розбаланс мосту за величиною напруги між точками «а» і «б» пропорційний величині певної складової в аналізованому газі.

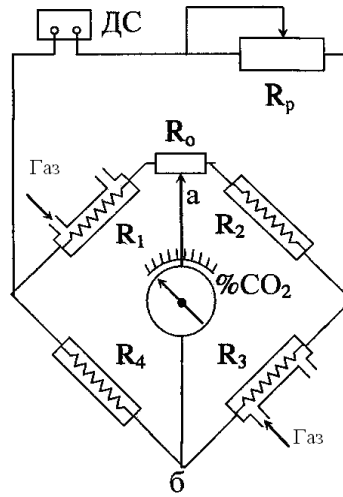


Рис. 9.2 - Схема термокондуктометричного газоаналізатора

Границі основної похибки, яка допускається, термокондукто-метричних газоаналізаторів для визначення  $CO_2$  у газовій суміші не перевищують 2-2,5% діапазону вимірювання. Зміна показань газоаналізаторів при змінюванні температури навколишнього повітря від 20 до 50<sup>0</sup>С не перевищує +2-2,5%

Термокондуктометричний принцип вимірювання (вимірювання за теплопровідністю) застосовується для визначення (крім  $CO_2$ ) таких компонентів, як  $H_2$ ,  $SO_2$ ,  $Ar$ ,  $O_2$ ,  $NH_3$  у топкових газах і в газах при виробництві аміаку, хлору, аргону, сірчаної кислоти, а також для визначення концентрації водню в системі водневого охолодження турбогенераторів на теплових електростанціях. Недоліками таких типів газоаналізаторів є великий час установлення показань (інерційність), що досягає 120 секунд, і підвищена похибка (до 5%).

*Термохімічний аналізатор* працює за принципом використання теплового ефекту хімічної реакції, що має перебіг між обумовленим компонентом аналізованої суміші і допоміжним реагентом. Сигналом вимірювальної інформації в термохімічних аналізаторах є температура, значення якої залежить від теплового ефекту хімічної реакції. Термохімічний принцип аналізу використовується для створення аналізаторів газів і рідин. Для створення термохімічних газоаналізаторів використовуються хімічні реакції окислювання на каталітично активній поверхні, у полум'ї та у газових потоках. Для термохімічних газоаналізаторів рідин застосовуються реакції розбавлення



(розведення), нейтралізації і змішування, а також реакції з використанням специфічних реагентів.

На рис. 9.3 подана схема *термохімічного газоаналізатора*, у роботі якого використовується тепловий ефект реакції окислювання горючих газів на каталітично активній поверхні. У термохімічному аналізаторі (рис. 9.3) аналізований газ повітряним ежектором (струминним насосом) 3 прокачується через кран 10 і камеру 1. У камері розміщені вибухозапобіжні сітки 2 і 7, вимірювальний 4 і порівняльний 5 чутливі елементи. Останній закритий ковпачком 6 і служить для усунення впливу зміни навколишньої температури на сигнал газоаналізатора. Як чутливі елементи в цих газоаналізаторах використовуються платинові проводки з активованою поверхнею. Чутливі елементи в термохімічних газоаналізаторах нагріваються струмом електричного мосту 8 до температури 200-500<sup>0</sup>С. При згоранні на поверхні вимірювального чутливого елемента горючого компонента, який потрібно визначити, температура елемента збільшується, що викликає збільшення електричного опору платинового проводка, а це, у свою чергу, спричиняє розбаланс електричного мосту, вимірюваний вторинним приладом 9.

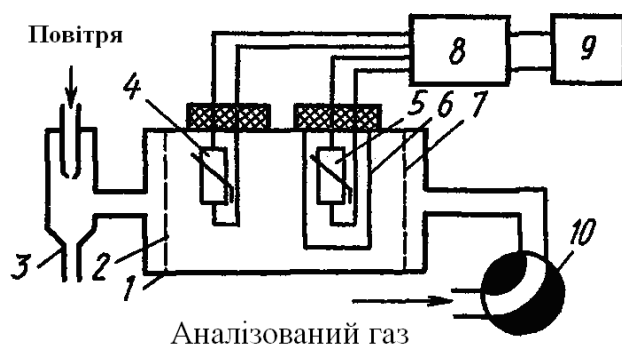


Рис. 9.3 - Схема термохімічного газоаналізатора

Газоаналізатор, показаний на рис. 9.3, у цей час є одним з найпоширеніших у промисловості засобів аналітичної техніки з тієї причини, що він використовується як сигналізатор вибухонебезпечних концентрацій газів і пари у повітрі. Значення, які сигналізуються, 5-50% від нижньої межі вибуху для горючих газів, пари і 5-20% — для сумішей повітря-водень, час реакції 30 с.

#### 4. Магнітні газоаналізатори

В основу роботи магнітних газоаналізаторів покладені різні явища, пов'язані із взаємодією обумовленого компонента аналізованої (у загальному випадку багатокomпонентної) газової суміші з магнітним полем.

Гази, які втягуються в магнітне поле, називають *парамагнітними*, а ті гази, які виштовхуються з магнітного поля, — *діамагнітними*. Кількісно магнітні властивості газів визначаються величиною, так званою магнітною сприйнятливістю. Магнітна сприйнятливість парамагнітних газів є позитивною величиною, діамагнітних газів - негативною. Вона має властивість адитивності. Переважна більшість газів і пари є діамагнітними.

Магнітні газоаналізатори використовуються для визначення тільки концентрації кисню в газовій суміші, тому що кисень на відміну від інших газів має сильні магнітні властивості, який є *парамагнітною речовиною*. Якщо відносну магнітну сприйнятливість кисню взяти за одиницю, то ця величина для всіх інших газів на два порядки менша, ніж у кисні. Тобто всі гази, крім кисню, є практично немагнітними речовинами. Таким чином, магнітні властивості газової суміші залежать від концентрації кисню в газі, а такі гази, як  $NO$  і  $NO_2$ , які проявляють магнітні властивості, практично не впливають на магнетизм газової суміші через їх малі концентрації.

Існує кілька методів вимірювання магнітної сприйнятливості газової суміші, що містить кисень. Найбільшого поширення дістав метод, що називається *термомагнітною конвекцією*. У магнітному газоаналізаторі аналізований газ під дією магнітного поля втягується в спеціальну вимірювальну камеру, у якій знаходиться чутливий елемент, що нагрівається електричним струмом. Газ, зіштовхуючись із чутливим елементом, нагрівається, і кисень втрачає свої магнітні властивості. Внаслідок цього нагрітий газ виштовхується з камери, розміщеної в магнітному полі, холодним газом, і таким чином виникає безперервний потік газу через вимірювальну камеру.

На рисунку 9.4 наведена схема *магнітного газоаналізатора*, у якому використовується схема вимірювання на основі нерівноважного мосту. Мостова схема живиться постійним струмом від батареї *Б*, підключеної до живильної діагоналі 1-2. Всі плечі мосту  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  являють собою платинові нагрівачі, виконані із проводу діаметром 0,02 мм, які намотані на скляний стрижень.

Через дві вимірювальних камери  $R_2$  і  $R_3$  безупинно прокачується аналізований газ, який містить кисень. Одна з камер  $R_2$  поміщена в поле постійного магніту. Чим більше склад кисню в газовій суміші, тим більший об'єм газу втягується в магнітне поле, проходячи через нагрівач  $R_2$ . Таким чином, температура нагрівача  $R_2$  буде визначатися вмістом кисню в аналізованому газі. Більший об'єм газу, що проходить через магнітну камеру  $R_2$  у порівнянні з камерою  $R_3$ , знижує температуру нагрівача  $R_2$  і зменшує його електричний опір. Виниклий розбаланс мосту при цьому, тобто  $R_1 \cdot R_3 > R_4 \cdot R_2$ , приводить до появи різниці потенціалів між точками 3 і 4, який вимірюється вольтметром ВП, градуированому за відсотковим складом кисню в газовій суміші.

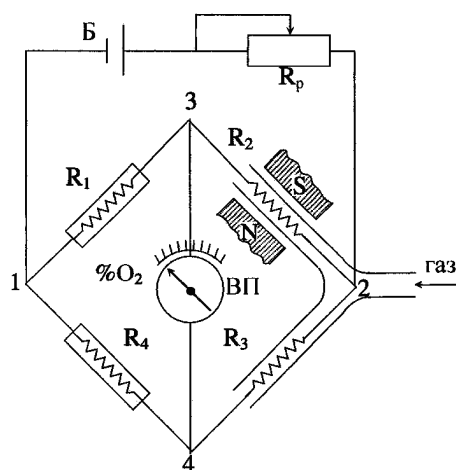


Рис. 9.4. - Схема магнітного газоаналізатора

Одномостова вимірювальна схема магнітного газоаналізатора застосовується як у переносному, так і в стаціонарному варіанті для вимірювання вмісту кисню в продуктах згорання нагрівальних і плавильних печей, а також котельних установок. Гранична похибка приладу залежить від діапазону вимірювання і перебуває в інтервалі від +2 до  $\pm 10\%$ .

## 5. Оптичні аналізатори

Для вимірювання концентрацій складових газів використовується ефект випромінювання практично всього спектра електромагнітних коливань, починаючи з радіохвиль і закінчуючи  $\gamma$ -випромінюваннями. Найбільш широкого застосування набули випромінювання інфрачервоних, видимих і ультрафіолетових ділянок спектра. Аналізатори, що працюють із випромінюваннями цих ділянок спектра, називають *фотометричними*. В аналізаторах використовуються явища поглинання, відбиття і розсіювання електромагнітного випромінювання аналізованою речовиною. Аналізатори, що ґрунтуються на явищі поглинання електромагнітного випромінювання, називають *абсорбційно-оптичними* і *абсорбційно-метричними*. Аналізатори рідин і газів, що базуються на явищі поглинання електромагнітного випромінювання видимої частини спектра, називаються *фотоколориметрами*.

Через те, що світло різних довжин хвиль має різні коефіцієнти переломлення при розробленні фотоколориметричних аналізаторів, для забезпечення необхідної чутливості застосовують фільтри, що дозволяють використовувати ту частину спектра, яка значною мірою змінюється при проходженні через аналізоване середовище.

Схемні і конструктивні виконання аналізаторів, у роботі яких використовується випромінювання видимої частини спектра, досить різноманітні. Колориметричні аналізатори класифікують залежно від кількості джерел і приймачів випромінювання, кількості використовуваних променів і наявності попереднього перетворення аналізованої речовини. На рис. 9.5 наведена схема колориметричного газоаналізатора.

*Колориметричний аналізатор* має одне джерело (лампа 1) і два приймачі (фотоелементи 6 і 9) випромінювання і є двопроменевим. Випромінювання, що виходить із джерела 1, пройшовши через фільтр 2, поділяється на два промені, які через дзеркала 4 надходять у вимірювальну 5 і порівняльну 10 кювети. Через вимірювальну кювету прокачується аналізована речовина, а порівняльна

звичайно заповнюється зразковою речовиною (речовина з відомої або тієї, що дорівнює нулю концентрацією обумовленого компонента). Фотоелементи 6 і 9 увімкнені на вхід підсилювача 7 зустрічно, тому різниця їх сигналів, перетворена в цьому підсилювачі в уніфікований сигнал, однозначно залежить від концентрації обумовленого компонента в аналізованій речовині. Вихідний сигнал підсилювача 7 вимірюється і реєструється вторинним приладом 8.

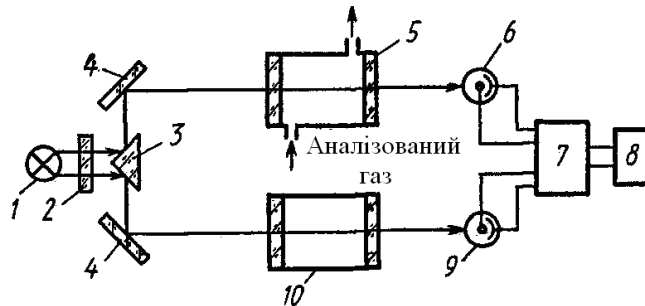


Рис. 9.5 - Схема колориметричного аналізатора

Оптичні аналізатори, у роботі яких використовується випромінювання видимої частини спектра, залежно від схеми і конструкції мають класи точності 2-20.

## 6. Установлення стаціонарних газоаналізаторів

При установленні газоаналізатора велике значення має правильний вибір місця для відбору проби димових газів, що повинна найбільш повно характеризувати середній їх склад.

Відбір проби виконується газовідбірним пристроєм (рис. 9.6), що складається зі сталевий газовідбірної трубки 1 діаметром 15-20 мм, привареної під кутом 20-25° (для стоку конденсату) до фланця 2, щільно приєднаному із прокладкою до патрубку газоходу. На верхньому кінці трубки за допомогою фланців 3 і 4 закріплений пористий керамічний фільтр 5 разом зі сталевим захисним козирком 6. Протилежний кінець трубки приєднується накидною гайкою до лінії, що підводить газ до газоаналізатора.

Керамічний фільтр служить для первинного очищення газу, який відбирається для аналізу, від механічних домішок (золи і сажі), склад яких

може досягати  $20 \text{ г/м}^3$ . Від швидкого забруднення фільтр охороняє захисний козирок, установлений назустріч потоку газу.

Кінцівку газовідбірної трубки з керамічним фільтром розміщують по можливості в середині потоку в місцях, де немає завихрень і застійних зон. Неприпустимо поміщати трубку поблизу місць можливого підсмоктування повітря (люків, заслінок, нещільностей обмуровування).

Газовідбірна трубка встановлюється вдалині від місцевих збурювань потоку, які утворюють різні опори (поворотом газоходу, заслінкою, шибером і т.п.). Найбільш сприятливим є її установлення на прямих вертикальних ділянках газоходу зі спадним потоком, а також у вузьких місцях тракту, де відбувається краще перемішування газу. При установленні газовідбірної трубки на горизонтальних ділянках кінець її розміщують ближче до верхньої частини газоходу, де швидкість руху нагрітого газу вища.

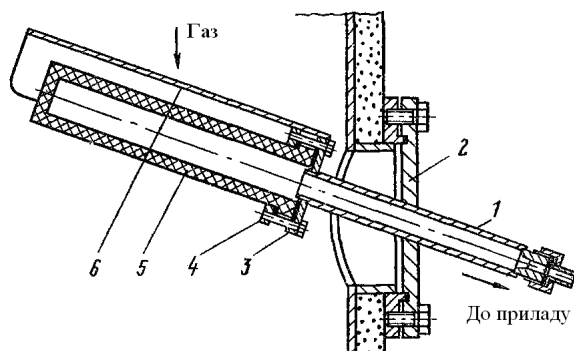


Рис. 9.6 - Схема установлення газовідбірного пристрою

Температура газу в місці відбору проби повинна бути в межах  $200\text{-}600^{\circ}\text{C}$ . При температурі нижче  $200^{\circ}\text{C}$  можливе забруднення поверхні керамічного фільтра незгорілими продуктами, що конденсуються на ній (смолами). При температурі вище  $600^{\circ}\text{C}$  виникає небезпека руйнування газовідбірної трубки і відновлення  $\text{CO}_2$  у  $\text{CO}$  і  $\text{O}_2$ .

Для зменшення запізнювання показань первинний перетворювач газоаналізатора необхідно встановлювати якнайбільше ближче до місця відбору проби. Температура газу при надходженні в прилад не повинна перевищувати  $35^{\circ}\text{C}$ .

Газоаналізатор встановлюється в місцях, що не зазнають вібрації, і розміщений вдалині від нагрітих поверхонь. Температура навколишнього

повітря, що допускається, 5-50°C і відносна вологість до 95%. Періодично газовідбірна трубка з керамічним фільтром продувається стисненим повітрям тиском 0,05 МПа.

# ЛЕКЦІЯ 10. ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІДИН І ГАЗІВ

## 1 Загальні відомості

До фізико-хімічних властивостей, автоматичний контроль яких здійснюється в хіміко-технологічних процесах, відносять *густину, в'язкість, коефіцієнт заломлення, тиск насиченої пари, теплоту згорання*.

Вимірювання густини рідин і газів здійснюється з метою керування хіміко-технологічними процесами і виконання операцій обліку кількості сировини, палива, реагентів і готової продукції.

Для хіміко-технологічних процесів, пов'язаних з виробництвом нафтових масел, консистентних змащень, полімерів, розчинників, в'язкість є показником, що однозначно визначає якість продукції. Тому її автоматичне вимірювання дозволяє створювати дуже ефективні системи автоматичного керування названими вище процесами.

Для певних видів продукції хіміко-технологічних процесів потрібне вимірювання коефіцієнта заломлення як однієї з величин, що визначає якість.

Для світлих нафтопродуктів (особливо для авіаційних і автомобільних бензинів) однією з важливих властивостей є тиск насиченої пари (пружність пари), що характеризує схильність цих нафтопродуктів до випаровування і утворення парових пробок у паливних системах двигунів. Для рідких однокомпонентних речовин значення тиску насиченої пари може використовуватися як характеристика їх чистоти.

Теплова цінність рідких і газоподібних палив, які використовуються у вогневих нагрівальних і реакційних апаратах хіміко-технологічних процесів, визначається теплотою їхнього згорання. Автоматичне вимірювання цієї фізико-хімічної властивості в цей час набуває надзвичайно важливого значення у зв'язку із проведеними заходами щодо економії паливно-енергетичних ресурсів.



## 2 Вимірювання густини рідин і газів

Густиною  $\rho$  речовини називають фізичну величину обумовлену відношенням маси  $m$  речовини до займаного ним об'єму  $V$ :

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [одиниця маси]/[одиниця об'єму]}. \quad (10.1)$$

Питомою вагою  $\gamma$  речовини називають фізичну величину, обумовлену відношенням ваги  $G$  речовини до її об'єму  $V$ :

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ [одиниця сили]/[одиниця об'єму]}. \quad (10.2)$$

Питома вага і густина зв'язані співвідношенням

$$\gamma = \rho \cdot g = m \cdot g / V, \quad (10.3)$$

де  $g$  — місцеве прискорення вільного падіння.

У той час як густина тіла не залежить від його місцезнаходження на поверхні Землі, питома вага змінюється залежно від розташування тіла на земній кулі. Тому довідкові дані розміщують за густиною.

У деяких випадках використовується поняття відносної густини, обумовлене як відношення густини даної речовини до густини іншої (умовної) речовини за певних фізичних умов.

Відносну густину рідкої речовини прийнято виражати відношенням її густини, узятої при нормальній температурі ( $20^\circ\text{C}$ ), до густини дистильованої води при температурі  $4^\circ\text{C}$  і позначається  $\rho_4^{20}$ .

Відносну густину газу прийнято виражати відношенням його густини до густини сухого повітря, узятого за нормальних умов (нормальна температура —  $293,15\text{ K}$ , нормальний тиск —  $101,325\text{ кПа} = 760\text{ мм рт. ст.}$ ).

Густина рідин і газів зменшується з підвищенням температури. Густина газів збільшується з підвищенням тиску, густина рідини практично від тиску не залежить. У багатьох важливих для практики випадках густина можна розглядатися як адитивна фізична властивість.

Засоби вимірювання густини часто називають *денсиметрами* (денситометрами) (від лат. *densus* — густий і від грец. *metréō* — вимірюю).

Для вимірювання густини в цей час застосовуються *вагові денсиметри, поплавкові, гідроаеростатичні, гідрогазодинамічні, радіоізотопні, акустичні, вібраційні* та ін.

Далі розглянемо найбільш широко застосовувані автоматичні денсиметри рідин і газів.

## **2.1 Вагові (пікнометричні) денсиметри**

Принцип дії цих механічних денсиметрів полягає в безперервному зважуванні постійного об'єму аналізованої речовини у певній ємності або трубопроводі, тобто відповідно до виразів (1) - (3) густина визначається через питому вагу.

Схема найпоширенішого вагового денсиметра рідин показана на рис. 1. Чутливим елементом денсиметра є U-подібна трубка 7, виготовлена з нержавіючої сталі, з'єднана через тягу 3 з важелем 4. Кінці трубки 7 через сильфони 2 з'єднані з нерухомими патрубками 1, через які подається аналізована рідина. Наявність сильфонів 2 дозволяє трубці 7 обертатися навколо осі 0 — 0. При збільшенні густини рідини збільшується маса трубки з рідиною, що через важіль 4 передається до механоелектричного або механопневматичного перетворювача 5, побудованого за принципом компенсації сил, вихідний сигнал  $S_{\text{вих}}$  якого пропорційний зміні густини аналізованої рідини. Противага 6, яка укріплена на важелі 4, служить для зрівноважування моменту сил, створюваного трубкою 7 з рідиною при обраній нижній межі вимірювання густини. Пристрій 8 служить для автоматичного введення виправлення до сигналу денсиметра залежно від температури аналізованої рідини, яку цей пристрій безупинно вимірює.

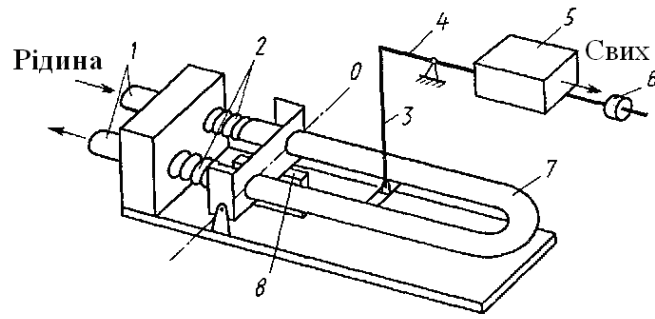


Рис. 10.1 - Схема вагового денсиметра

Денсиметри даної конструкції дозволяють вимірювати густину в інтервалі  $0,5-2,5 \text{ г/см}^3$ . При цьому може бути встановлений діапазон вимірювання  $0,05-0,3 \text{ г/см}^3$  у будь-якій частині зазначеного інтервалу. Максимальна температура аналізованої рідини  $100^\circ\text{C}$ , класи точності 1-1,5.

## 2.2 Поплавкові (ареометричні) денсиметри

Принцип дії цих механічних денсиметрів побудований на безперервному вимірюванні виштовхувальної (підйомної) сили, яка діє на поплавець, частково або повністю зануреного в аналізовану речовину.

На рис. 10.2 показана схема поплавкового денсиметра рідин із частково зануреним поплавцем 2, розміщеним у ємності 1. Через цю ємність безупинно прокачується аналізована рідина. За рахунок переливання в ємності підтримується постійний рівень. Аналізована рідина витікає із денсиметра через збірник 3. При зміні густини рідини змінюється ступінь занурення поплавця 2 у ємність. Досягнення положення рівноваги сил  $N$  і  $G_{II}$  забезпечується глибиною занурення поплавця, при цьому змінюється довжина  $l$  стрижня 4, зануреного в рідину. Переміщення поплавця 2 перетворюється в електричний сигнал за допомогою диференціального трансформатора 5.

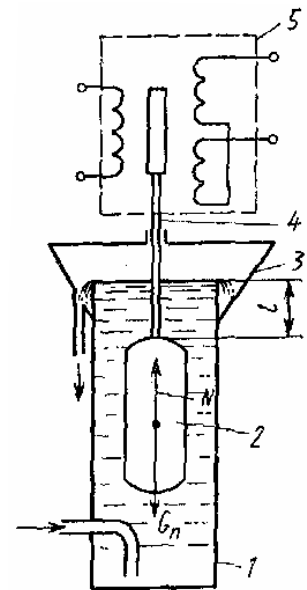


Рисунок 10.2 – Поплавковий денсиметр

Вага поплавця 2 зі стрижнем 4 (у повітрі)  $G_{II}$  і виштовхувальна сила  $N$ , діюча на поплавець, описуються виразами

$$\begin{aligned} G_{II} &= m \cdot g, \\ N &= (V + l \cdot S) \cdot \rho \cdot g, \end{aligned} \quad (10.4)$$

де  $m$  - маса поплавця і стрижня;

$V$  - об'єм поплавця;

$l$  - довжина ділянки стрижня, зануреного в рідину;

$S$  - площа поперечного перерізу стрижня.

При рівності сил  $G_{II}$  і  $N$  з виразу (10.4) з урахуванням дії на стрижень на поверхні поділу фаз сил поверхневого натягу можна визначити величину ходу стрижня  $l$ . Як бачимо, довжина  $l$ , а отже, і сигнал диференціального трансформатора 5 однозначно пов'язані із густиною рідини. Масу  $m$  підбирають залежно від діапазону вимірювання.

Існує багато різних конструкцій денсиметрів із частково зануреним поплавцем. Вони мають високу чутливість, що дозволяє здійснювати вимірювання густини у вузькому діапазоні (усього 0,005—0,01 г/см<sup>3</sup>) з похибкою  $\pm(1,5-3)\%$  від діапазону вимірювання.

### 2.3 Гідро- і аеростатичні денсиметри

Принцип дії цих механічних денсиметрів побудовано на залежності тиску  $P$  стовпа аналізованої рідини або газу від густини  $\rho$  цих середовищ:

$$P = \rho \cdot g \cdot H, \quad (10.5)$$

де  $H$ — висота стовпа рідини або газу.

Якщо значення  $H$  взяти постійним, то тиск  $P$  однозначно визначається густиною середовища.

Схема гідроста-тичного денсиметра, принцип дії якого побудовано на вимірюванні гідростатичного тиску методом продувки стисненого газу, показана на рис. 10.3. Такі денсиметри використовуються в хіміко-

технологічних процесах для вимірювання густини безпосередньо в технологічних апаратах. В апараті 7 установлені трубки 1 і 2 з різною глибиною занурення.

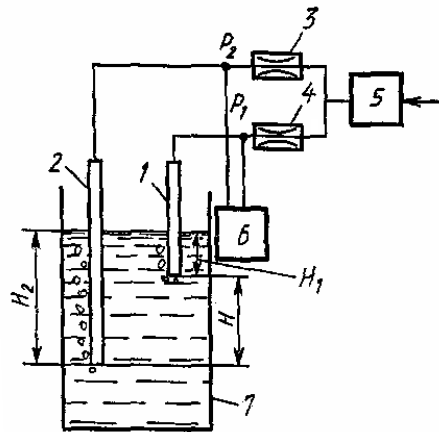


Рис. 10.3 – Схема гідростатичного денсиметра

Газ (звичайне повітря) від регулятора витрати 5 надходить до пневматичних дрoселів 3 і 4, а потім до трубок 2 і 1. Через відкриті торці трубок газ барботує через рідину. Тиск газу в трубках 1 і 2 визначається гідростатичним тиском стовпа рідин висотою  $H_1$  і  $H_2$ . Різниця тисків у трубках вимірюється дифманометром 6 із пневматичним або електричним вихідним сигналом. Цей перепад визначається виразом

$$\Delta P = P_2 - P_1 = (H_2 - H_1) \cdot \rho \cdot g = H \cdot \rho \cdot g. \quad (10.6)$$

Наявність двох трубок дозволяє виключити вплив на результат вимірювання можливих змін рівня рідини в апараті.

Одним з найбільш удосконалених і чутливих є аеростатичний денсиметр (рис. 10.4), у якому використовується комбінація механічного і теплового ефектів. Аналізований газ із постійною об'ємною витратою надходить у трубку 2, а в трубку 3 при постійному тиску надходить допоміжний газ (звичайне повітря). Газові потоки виводяться через трубку 1. Трубки 1, 2 і 3 розміщені вертикально. При зміні густини аналізованого газу змінюється аеростатичний тиск стовпа газу в трубці 2, а отже, і тиск у точці А. Тому змінюється витрата повітря, яке обвітряє резисторний вимірювальний термоанемометр  $R_v$ , у

результаті чого змінюється його опір. Опір порівняльного термоанемометра  $R_{пор}$  залишається постійним, тому що потік повітря, яке його обвітряє, практично не змінюється. Зміна опору термоанемометра  $R_B$  спричиняє розбаланс  $U$  нерівноважного мосту 4.

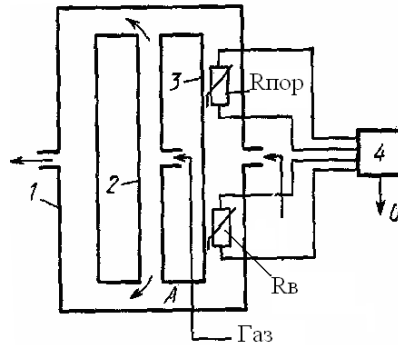


Рис. 10.4 – Аеростатичний денсиметр

Цей розбаланс описується виразом

$$U = K \cdot (\rho - \rho_в), \quad (10.7)$$

де  $K$  — коефіцієнт перетворення денсиметра;

$\rho_в$  — густина повітря.

Денсиметр термостатується при температурі 40 або 45°C, і забезпечує вимірювання густини в межах 0-3 кг/см<sup>3</sup> з діапазоном вимірювання, відліченим від значення густини повітря при 20°C,  $\pm (0,01-1,5)$  кг/м<sup>3</sup> і класами точності 2—5 (залежно від діапазону вимірювання).

## 2.4 Гідро- газо(аеро)динамічні денсиметри

Принцип дії цих механічних денсиметрів побудовано на наданні потоку аналізованої

кінетичної енергії і на параметрів, що ефекти, які впливі. В основному

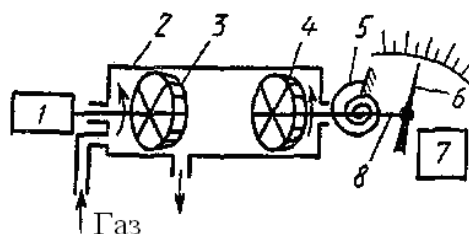


Рисунок 10.5 - Аеродинамічний денсиметр

речовини додаткової вимірюванні характеризують виникають при цьому зазначені денсиметри

застосовуються для вимірювання малої за значенням густини газів.

На рис. 10.5 показана спрощена схема газо-динамічного денсиметра. У денсиметрі потоку аналізованого газу, що проходить через камеру 2, надається кінетична енергія турбинкою 3, яка приводиться в обертовий рух синхронним двигуном 1. Потік газу надходить до турбинки 4 і створює на ній за рахунок своєї кінетичної енергії обертовий момент, який виражений формулою

$$M = k \cdot \omega^2 \cdot \rho, \quad (10.8)$$

де  $k$  – постійний коефіцієнт;

$\omega$  - частота обертання турбинки 3.

Під дією цього моменту турбинка 4 повертається, а виникаючий на ній момент урівноважується моментом, створюваним на осі 8 плоскою пружиною 5. Кут повороту осі 8 і стрілки 6 за шкалою пропорційний густині газу. За допомогою перетворювача 7 кут повороту перетворюється в уніфікований сигнал. Клас точності розглянутого денсиметра 0,5-1,5 (залежно від діапазону вимірювання).

## 2.5 Вібраційні денсиметри

Принцип дії цих механічних денсиметрів побудовано на залежності параметрів пружних коливань (вібрації), які передаються камері з аналізованою речовиною або тілу, розміщеному в ньому, від густини цієї речовини. Звичайно як параметр пружних коливань використовується частота власних коливань резонатора, який перебуває в режимі автоколивань. Резонатори вібраційних денсиметрів виконують у вигляді трубки, пластини, стрижня, струни, камертона і т.д. Частота власних коливань резонатора, який знаходиться в аналізованій речовині, описується в загальному випадку виразом

$$f = f_0 \cdot \sqrt{1/(1+k \cdot \rho)}, \quad (10.9)$$

де  $f_0$  — частота коливань резонатора при початковому значенні густини аналізованої речовини;

$k$  — константа, що залежить від конструкції резонатора.

Конструктивно розрізняють *проточні* і *заглибні* вібраційні денсиметри. У перших аналізована речовина проходить через внутрішню порожнину резонатора, у других — резонатор розміщується в потоці аналізованої речовини, діапазон вимірювання даних денсиметрів 690—1050 кг/м<sup>3</sup>, температура рідини 10—100°C; абсолютна похибка вимірювання  $\pm 1,5$  кг/м<sup>3</sup>.

### 3 Вимірювання в'язкості рідин

**В'язкість** (внутрішнє тертя) — властивість рідких тіл (рідин і газів) чинити опір переміщенню однієї їх частини щодо іншої. Основний закон в'язкого потоку описується формулою Ньютона

$$F = \mu \cdot S \cdot \frac{dW}{dn}, \quad (10.10)$$

де  $F$  — тангенціальна (дотична) сила, що викликає зрушення шарів рідини (газу) одного відносно іншого;

$S$  — площа прошарку, за якою відбувається зрушення;

$d/dn$  — градієнт швидкості  $W$  потоку (швидкості зміни за прошарками) за нормаллю  $n$ .

Коефіцієнт пропорційності  $\mu$  називають **динамічною в'язкістю**. Він характеризує опір рідини (газу) зсуву її шарів. Величину, зворотну динамічній в'язкості  $\nu = 1/\mu$ , називають *текучістю*. Поряд з поняттям динамічної в'язкості використовують поняття **кінематичної в'язкості**:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (10.11)$$



Одиниця динамічної в'язкості в SI — Па·с, у системі СГС-П (пуаз); одиниця кінематичної в'язкості в SI — м<sup>2</sup>/с, у системі СГС — Ст (стокс). Співвідношення між названими одиницями 1П=10<sup>-1</sup> Па·с; 1ст = 10<sup>-4</sup> м<sup>2</sup>/с.

В'язкість рідин зі збільшенням температури зменшується, а газів — збільшується. Динамічна в'язкість до тисків 20 МПа практично не залежить від тиску. В'язкість у загальному випадку не є адитивною фізичною властивістю.

Засоби вимірювання в'язкості називають **віскозиметрами**. На хіміко-технологічних процесах віскозиметри використовуються тільки для вимірювання в'язкості рідин. У цей час розроблені автоматичні *капілярні, ротаційні, вібраційні віскозиметри, віскозиметри з падаючим тілом* та ін. Далі розглянуті віскозиметри, найбільше часто застосовувані в хіміко-технологічних процесах.

### 3.1 Капілярні віскозиметри (віскозиметри витікання)

Принцип дії цих механічних віскозиметрів побудований на закономірності витікання рідини через капіляр, що описується законом Пуазейля:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot \mu \cdot l} (P_1 - P_2), \quad (10.12)$$

де  $Q$  - об'ємна витрата рідини;

$d$  і  $l$  — внутрішній діаметр і довжина капіляра;

$P_1, P_2$  — тиск до і після капіляра за потоком.

З формули (10.12) бачимо, що для вимірювання динамічної в'язкості при постійній об'ємній витраті рідини досить вимірювати перепад тиску на капілярі.

На рис. 6 показана схема капілярного віскозиметра, у якому для створення постійної об'ємної витрати аналізованої рідини використовується шестеренний насос 1, який приводиться у рух синхронним двигуном 2. З насоса аналізована рідина надходить у змійовик 3, де нагрівається до температури масла, що заповнює термостат 6, а потім — у капіляр 4, розміри якого вибирають залежно від діапазону вимірюваних значень в'язкості. Перепад тисків на капілярі

вимірюється дифманометром 5 із пневматичним або електричним уніфікованим вихідним сигналом, що пропорційний динамічній в'язкості аналізованої рідини. Температура в термостаті підтримується постійною і дорівнює 50 або 100<sup>0</sup>С. Діапазони вимірювання від 0-2 10<sup>-3</sup>Па·с до 0-1000 10<sup>-3</sup> Па·с. Класи точності віскозиметра 1,5—2,5 (залежно від діапазону вимірювання).

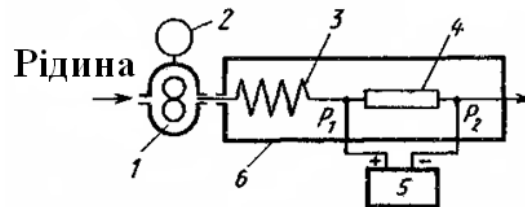


Рис. 10.6 - Схема капілярного віскозиметра

### 3.2 Віскозиметри з падаючим тілом (кулькові віскозиметри)

Принцип дії цих механічних віскозиметрів побудований на вимірюванні швидкості (або часу) руху тіла (кульки) під дією сил ваги і тертя в аналізованій рідині. Цей рух описується законом Стокса:

$$W = 0,22 \cdot \frac{g \cdot (\rho_k - \rho) \cdot r^2}{\mu}, \quad (10.13)$$

де  $W$  – швидкість рівномірного падіння кульки;

$\rho$  - густина вимірюваної рідини;

$\rho_k$  – густина матеріалу кульки ( $\rho_k > \rho$ );

$r$  – радіус кульки.

Звичайне вимірювання швидкості  $W$  зводиться до вимірювання відрізка часу  $\tau$ , за який кулька, яка падає з постійною швидкістю, проходить певний постійний відрізок шляху  $l$  між двома взятими позначками. У цьому випадку

$$\tau = \frac{l}{W}. \quad (10.14)$$

На рис. 10.7 показана схема кулькового віскозиметра циклічної дії.

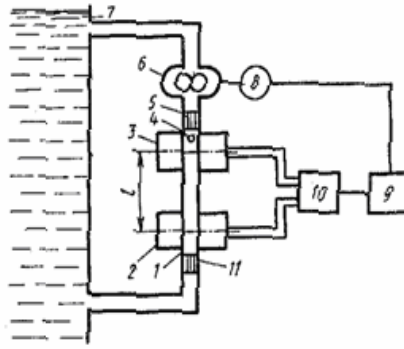


Рис. 10.7 - Віскозиметр з падаючим тілом

Аналізована рідина з апарата 7 або трубопроводу прокачується насосом 6 по трубці 1 з немагнітного матеріалу знизу нагору і при своєму русі піднімає кульку від нижньої 11 до верхньої 5 обмежувальної сітки. При вимиканні двигуна 8 насоса (періодичне вмикання і вимикання здійснюються блоком керування 9) кулька падає в аналізовану рідину. За допомогою диференціальних трансформаторів 3 і 2 формуються електричні імпульси в моменти часу, коли кулька проходить дві взяті позначки, що відстоять одна від одної по висоті трубки на відстані  $l$ . За допомогою вимірювача тимчасових інтервалів 10 вимірюється відрізок часу між зазначеними імпульсами, значення яких і визначає динамічну в'язкість. Клас точності віскозиметра 2. Існують конструкції віскозиметрів з падаючим тілом безперервної дії.

### 3.3 Ротаційні віскозиметри

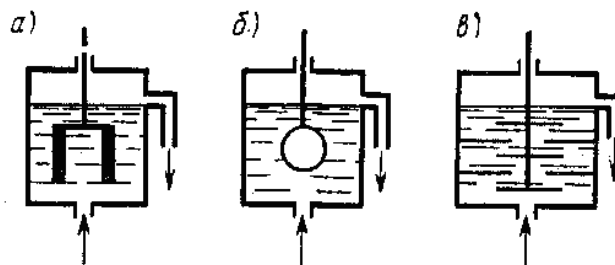
Принцип дії цих механічних віскозиметрів побудований на вимірюванні обертального моменту, який виникає на осі ротора (циліндра, диска і т.п.), зануреного у вимірювальне середовище, при взаємному їх переміщенні. Зазначений обертальний момент у загальному випадку описується виразом

$$M = k \cdot \omega \cdot \mu, \quad (10.15)$$

де  $k$  — постійний коефіцієнт, що залежить від конструкції ротора віскозиметра;

$\omega$  - кутова швидкість обертання ротора (при постійній кутовій швидкості обертальний момент однозначно визначає в'язкість рідини).

З різноманітності конструкцій обертальних елементів ротаційних віскозиметрів в автоматичних аналізаторах найбільше використовуються конструкції, показані на рис. 10.8. Дані віскозиметри поєднують загальний принцип дії, відповідно до якого в'язкість визначається за моментом сил тертя, який виникає при обертанні тіла, зануреного в аналізовану рідину. Таким тілом може бути циліндр (рис. 10.8 а), кулька (рис. 10.8 б) або диски, посаджені на загальний вал і розміщені між нерухомими шайбами (рис. 10.8 в). Діску або циліндру обертовий рух передається синхронним двигуном. Обертальний момент, що виникає на диску (циліндрі), а отже, на шківі, розміщеному на одному валу з диском (циліндром), пропорційний динамічній в'язкості.



*Рис. 10.8 - Схеми ротаційних віскозиметрів*

Характерною рисою ротаційних віскозиметрів є широкий діапазон вимірюваних значень в'язкості (0,01-1000 Па·с). Класи точності ротаційних віскозиметрів 1-2,5.

#### **4. Вимірювання тиску насиченої пари рідин**

Тиск насиченої пари (пружність пари) є одним з важливих показників якості світлих нафтопродуктів, особливо автомобільних і авіаційних бензинів. Тиск насиченої пари характеризує їх випаровуваність і схильність до утворення парових пробок, а також може використовуватися як характеристика чистоти

рідких однокомпонентних речовин. Тиск насиченої пари істотно залежить від температури.

Схема механічного аналізатора пружності пари бензинів показана на рис. 10.9.

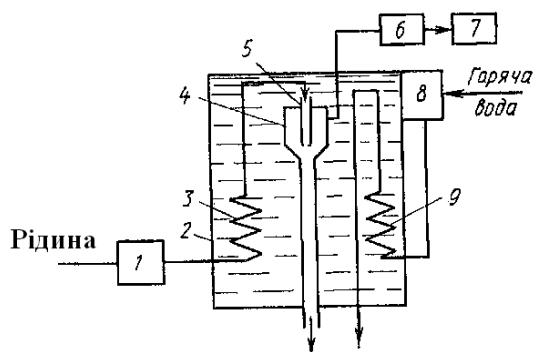


Рис. 10.9 - Схема вимірювача тиску насиченої пари

Аналізована рідина надходить у блок підготовки 1, з якого з постійною об'ємною витратою вона подається в змійовик 3, розміщений у термостаті 2, заповненому антифризом. Тут шляхом подачі гарячої води в змійовик 9 за допомогою регулятора 8 підтримується постійна температура, що дорівнює  $38^{\circ}\text{C}$  (при цій температурі за діючими стандартами визначається тиск насиченої пари бензинів). Зі змійовика 3 аналізована рідина, нагріта до  $38^{\circ}\text{C}$ , надходить у сопло 5 струминного насоса. При витіканні рідини із сопла за рахунок в'язкості струмінь зтягує за собою пари рідини, які є в камері 4 струминного насоса, тому в названій камері створюється розрідження тим більше, чим менша пружність пари аналізованої рідини. Вимірювання розрідження в камері 4 здійснюється вакуумметром 6 з пневматичним сигналом, що подається вторинному приладу 7.

Діапазон вимірювання аналізатора  $250\text{—}650$  мм рт. ст.; витрата аналізованої речовини  $800$  см<sup>3</sup>/хв; абсолютна похибка вимірювання  $15$  мм рт. ст.

## 5 Вимірювання теплоти згорання рідких і газоподібних палив

Теплота згорання є характеристикою теплової цінності палива. Під

*питомою теплотою згорання* розуміють кількість теплової енергії, що виділяється при повному згоранні одиниці маси або одиниці об'єму палива. Відповідно розрізняють *питомі масову* і *об'ємну теплоти згорання*. Інформація про теплоту згорання використовується для керування процесом горіння у вогневих нагрівальних апаратах і для виконання облікових операцій, пов'язаних зі споживанням палива. Як паливо на хіміко-технологічних процесах використовують мазут, попутний нафтовий і природний газ. Питома масова теплота згорання мазуту змінюється незначно і жорстко скоректована із густиною мазуту. Тому автоматичне вимірювання цієї величини можна звести до вимірювання густини.

Газоподібні палива можуть мати у своєму складі, крім вуглеводів негорючі компоненти, повітря, азот, діоксид вуглецю та ін., тому для визначення теплової цінності палива необхідно здійснювати вимірювання їх питомої теплоти згорання. Для газоподібних палив звичайно вимірюють питому об'ємну теплоту згорання.

Розрізняють *вищу* і *нижчу питомі теплоти згорання*.

Під вищою питомою об'ємною теплотою згорання палива  $Q_v$  розуміють кількість теплової енергії, що виділилася при згоранні одиниці об'єму палива і конденсації водяної пари, яка утримується в продуктах згорання.

Під нижчою питомою об'ємною теплотою згорання палива  $Q_n$  розуміють кількість теплової енергії, що виділилося при згоранні одиниці об'єму палива без обліку енергії, що виділяється при конденсації водяної пари із продуктів згорання.

У вогневих нагрівальних апаратах для запобігання конденсації пари води в димоходах температура продуктів згорання звичайно становить 110-130°C. Тому теплова цінність палива визначається нижчою питомою теплотою згорання.

Зв'язок між вищою і нижчою теплотою згорання має вигляд

$$Q_v = Q_n + q, \quad (10.16)$$

де  $q$  — теплота конденсації водяної пари, яка утворюється при згоранні одиниці об'єму палива.

Засоби вимірювання питомої теплоти згорання називають **калориметрами**. За принципом дії їх відносять до термохімічних аналізаторів.

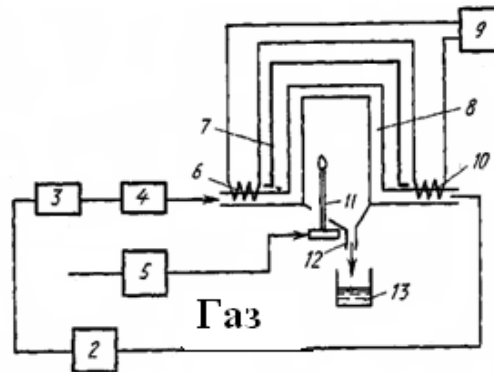


Рис. 10.10 - Схема калориметра

На рис. 10.10 наведена схема автоматичного калориметра, що дозволяє одержувати інформацію про вищу питому об'ємну теплоту згорання газоподібних палив. Робота калориметра побудована на вимірюванні кількості теплової енергії, що виділяється в процесі хімічної реакції горіння аналізованого газу. Останній з постійною об'ємною витратою надходить через стабілізатор витрати 5 у пальник 11. Продукти згорання обмивають стінки теплообмінника 8, розміщеного в корпусі калориметра 7, і передають всю теплову енергію, що виділяється, дистильованій воді, яка безупинно прокачується через теплообмінник. Воді також передається теплова енергія, що виділяється на стінках тепло-обмінника при конденсації парів води, які утворюються при згоранні вуглеводнів. Конденсат, що утворюється, збирається за допомогою конденса-товідвідника 12 і стікає в ємність 13. Для подачі води в теплообмінник служать замкнуті системи, які складаються з резервуара 1, насоса 2, холодильника 3 і стабілізатора витрати 4. На вході і виході теплообмінника 5 розміщені батареї термоелектричних чутливих елементів 6 і 10. Ці батареї ввімкненні диференціально і за їх допомогою вимірюється різниця температур вхідного в теплообмінник і вихідного з нього потоків води. Сигнал  $U$ , що надходить на автоматичний потенціометр 9,

пропорційний зазначеній різниці температур  $\Delta t$ , що, у свою чергу, пропорційна вищій питомій об'ємній теплоті згорання аналізованого газу:

$$U = k \cdot \frac{Q_v \cdot Q_G}{Q_v \cdot c_v}, \quad (10.17)$$

де  $k$ — коефіцієнт термоелектричних чутливих елементів;

$Q_G$  і  $Q_v$  — постійні об'ємні витрати аналізованого газу і води;

$c_v$  - об'ємна теплоємність води.

За відрізок часу 1-2 год, протягом якого в ємність 13 збирається достатня для вимірювання кількість конденсату, можна визначити середнє значення нижчої об'ємної теплоти згорання, використовуючи формулу (10.16). Для цього необхідно обчислити середнє за цей інтервал часу значення вищої об'ємної теплоти згорання за показниками потенціометра 9 і виміряти кількість конденсату.

Витрата аналізованого газу 0,15—0,5 м<sup>3</sup>/год; діапазон вимірювання 0-50·10<sup>3</sup> кДж/м<sup>3</sup>; класи точності 1—2.



## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3651.0-97 «Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення»
2. ДСТУ 2708:2006 «Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація і порядок проведення».
3. ДСТУ 3231:2007 «Метрологія. Еталони одиниць вимірювань державні, первинні та вторинні. Основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування».
4. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 15.01.2015 р. № 124/VIII.
5. Закон України «Про стандартизацію» від 17.05.2001 р. № 2408-III.
6. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Державної програми розвитку еталонної бази на 2011-2015 роки» від 22.12.2010 р. № 1165.
7. Куценко С.В. Метрологія, стандартизація і сертифікація з питань пожежної безпеки: навч. посібник / С.В. Куценко, О.Г. Мельник, О.О. Дядюшенко, С.П. Тараненко. – Черкаси.: АПБ, 2013. – 161 с.
8. Саранча Г.А. Метрологія, стандартизація, відповідність, акредитація та управління якістю: підручник / Г.А. Саранча. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 672 с.
9. Сергєєв А.Г. Метрологія, стандартизація, сертифікація: навч. посібник / А.Г. Сергєєв, М.В. Латишев, В.В. Терегеря. – М.: Логос, 2001. – 536 с.
10. Сірий І.С. Взаємозамінність, стандартизація та технічні виміри / І.С. Сірий. – М.: Колосся, 1987. – 366 с.
11. Тарасова В.В. Метрологія, стандартизація і сертифікація: підручник / В.В. Тарасова, А.С. Малиновський, М.Ф. Рибак. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 264 с.
12. Тартаковский Д.Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. – М.: Высшая школа, 2001. – 205 с.

13. Цюцюра В.Д. Метрологія та основи вимірювань: навч. посіб. / В.Д. Цюцюра, С.В. Цюцюра. – К.: Знання-Прес, 2003. – 180 с. – (Вища освіта XXI століття).

Навчальне видання

*Конспект лекцій*  
з навчальної дисципліни  
«Технологічні вимірювання і прилади»

Відповідальний за випуск **А.О.Євтушенко**  
Редактор **М.Я.Сагун**  
Комп'ютерне верстання **С.С.Антоненка**

Рекомендовано до друку 07.06.2017 протокол №28, поз.  
Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 11,62. Обл.-вид. арк. 10,03. Тираж 40 пр. Зам.№  
Собівартість вид.            грн            к.

Видавець і виготовлювач  
Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України,  
вул. Р.-Корсакова, 2, м.Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007