

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Машинобудівний факультет
Кафедра «Інтегровані технології машинобудування» ім. М.Ф. Семка

Федорович В.О.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «Метрологічне забезпечення якості»

Харків

Лекція № 1 Метрологія й метрологічне забезпечення

Метрологія (*metrology*) - сфера діяльності й наука про виміри, методи й засобах забезпечення їх єдності й способах досягнення необхідної точності.

Вимір (*measurement*) - пізнавальний процес, що полягає в знаходженні чисельного значення вимірюваної величини (*of a measurand*) дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів, називаних засобами вимірів.

Вимірювана величина (*measurand*) - величина, що підлягає виміру.

Величина (*quantity*)- властивість (атрибут) фізичного об'єкта (явища, речовини, виробу, біологічного об'єкта), яке може визначатися кількісно.

Розмір величини (*size of a quantity*) - кількісний зміст у даному об'єкті властивості, відповідного до поняття “величина”.

Значення величини (*value of a quantity*) - вираження розміру величини у вигляді деякого числа прийнятих для неї одиниць.

Одиниця величини (*unit of a quantity*)- величина фіксованого розміру, якої умовно привласнене числове значення, рівне одиниці.

Єдність вимірів (*traceability of a measurement*) - стан вимірів, при якому їх результати виражені в узаконених одиницях величин і погрішності вимірів не виходять за встановлені границі із заданою ймовірністю.

Досягнення єдності вимірів приводить до забезпечення взаємної довіри до результатів вимірів незалежно від місця їх виконання. Подібний стан вимірів набуває особливого значення для наукового, технічного й економічного співробітництва й торгівлі, при дозволі спірних питань і претензій як усередині країн, так і на міждержавному рівні. Не випадково тому першою міждержавною угодою в історії нашої планети, підписаним 20 травня 1875 року, з'явилася Метрична Конвенція, а першою міжурядовою організацією - Міжнародне Бюро Заходів і Терезів (МБМВ або в латинській аббревіатурі французького походження - ВІМР).

Державне керування по забезпеченню єдності вимірів у Україні здійснює Державний Комітет УКРАЇНИ по стандартизації, метрології й сертифікації (ДСТУ УКРАЇНИ) через Державні наукові метрологічні центри (метрологічні

інститути), територіальні органи державного метрологічного нагляду, що діють у всіх суб'єктах федерації, а також через метрологічні служби юридичних осіб, акредитовані у встановленому порядку.

Метрологічне забезпечення (*metrological assurance*) - установлення й застосування наукових і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, необхідних для досягнення єдності й необхідної точності вимірів, які виконуються в усіх без винятку сферах діяльності людини.

Метрологічне забезпечення галузей науки й промисловості, екологічного моніторингу, охорони здоров'я, торгівлі, контролю безпеки, озброєнь і судового виробництва полягає у виконанні наступних основних функцій:

- розробка, виготовлення й зберігання державних еталонів, що відтворюють одиниці вимірюваних величин,
- здійснення міжнародних звірень державних еталонів, передача розмірів одиниць величин робочим засобам вимірів,
- розробка законодавчих актів і нормативних документів в області метрології й практичних вимірів, контроль над їхнім виконанням,
- розробка й промисловий випуск робочих засобів вимірів,
- контроль над станом і схоронністю декларованих виробником метрологічних властивостей засобів вимірів, що випускаються з виробництва, а, що також перебувають в експлуатації або на зберіганні,
- виконання робочих вимірів у всіх сферах діяльності й у галузях народного господарства,
- розробка методик виконання вимірів, що включають у себе методики оцінки характеристик погрешностей результатів вимірів, виконання вимірів, контроль над виконанням методик виконання вимірів.

Основні роботи з метрологічного забезпечення, виконувані в інтересах держави, а саме, розробка й зберігання державних еталонів, фундаментальні дослідження в області метрології, розробка державних нормативних документів, державний метрологічний нагляд підлягають обов'язковому державному фінансуванню. При розробці федеральних і інших державних програм, у тому числі, програм створення й розвитку виробництва оборонної техніки в них повинні бути передбачені розділи метрологічного забезпечення.

До подібних програм ставляться програми забезпечення всіх видів безпеки населення стосовно причин техногенного, екологічного, медичного, злочинного й іншого характеру.

1.2. Роль і значення вимірів і метрології в розвитку суспільства

Вимір стає поважним виглядом людської діяльності ще на ранньому етапі розвитку торгівлі, будівництва, землеволодіння й навігації. Цей етап почався задовго до настання нової ери в прадавніх царствах: асиро-вавилонському й у Єгипту .

На ранніх стадіях вимірювальний процес полягав у простому рахунку кількості змісту тієї або іншого заходу у вимірюваній величині. Пізніше, як свідчать результати численних археологічних досліджень, під впливом господарської необхідності в прадавній Вавилонії, у прадавньому Єгипту, не говорячи вже про прадавню Грецію й Римі, матеріальне забезпечення вимірів полягало у виготовленні й зберіганні заходів, в основному, заходів довжини, обсягу й маси, а також в організації процесу зіставлення значення вимірюваної величини із заходом. Проте незважаючи на сильний вплив стрункої системи давньоєгипетських заходів, яка зложилася приблизно в III столітті до н.э, у різних державах системи заходів різнилися роль, Що Пізніше превалує, почали відіграти системи заходів, що склалися в прадавній Греції й Римі, але до уніфікації заходів було ще далеко, і при виконанні торговельних операцій це створювало значні труднощі, які долалися спеціальними угодами про узгодження заходів. Прадавнім прототипом однієї із завдань сучасної законодавчої метрології було завдання узгодження цих заходів. Крім того здійснювалися й наглядові дії, що мали метою запобігання зловживань при вимірах.

Наскільки важливими були за всіх часів питання забезпечення єдності й правильності практичних вимірів, свідчить таке авторитетне джерело, як Біблія, де втримуються численні вказівки про це. Приведемо лише два з них.

“Гиря твоя повинна бути точна й правильна, ... , щоб протривали дні твої на Землі, яку Господь, Бог твій дає тобі” (Второзаконие, гл. 25, ст. 14).

“Неоднакові ваги, неоднаковий захід, те й інше - мерзенність перед Господом” (Притчі Соломоновы, гл. 20, ст.10).

Аж до XV століття нагляд за єдністю й правильністю вимірів, за схоронністю зразкових заходів здійснювало духівництво. Зразкові заходи перебували на відповідальному зберіганні в храмах, а для практичного використання розсилалися офіційні копії цих заходів з посвідченням їх правильності. Поряд із цим істотну регулюючу роль в області вимірів відіграли директивні акти керівників держав. Зокрема, велике історичне значення для становлення єдності вимірів у

Росії зіграла діяльність князів Володимира (Статут про церковні суди, X століття), Святослава Ярославовича (“золотий пояс”, як захід довжини, XI століття), Всеволода Мстиславича (“Статут про церковні суди й про людех і про мірила торговельних” 1134 - 1135 г.г.), царів Івана Грозного й Петра Великого. Так, князь Всеволод Мстиславич, як це раніше робив Володимир, доручав “дотримувати ... мірила й спуди й звесы й ставила” вищим церковним ієрархам, і карав ним, щоб вони опікувалися про схоронність доручених заходів, “якоже й про душі людських”.

Основна наукова діяльність в області вимірів і забезпеченні їх єдності в період часу до XV століття полягала в спробах зіставлення й гармонізації систем заходів, застосовуваних у державах, ведучих торговельні відносини. Прикладом такої діяльності можуть служити зіставні виміри, які робив диякон Ігнатій в 1389 році в Ієрусалимському храмі й у храмі біля Істри.

Серед видатних досягнень в області практичних вимірів слід зазначити кутові виміри, виконані Улугбеком у своїй гігантській обсерваторії біля Самарканда. У результаті цих вимірів задовго до винаходу оптичних лінз Улугбеку вдалося побудувати карту зоряного неба з погрішністю, що не перевищує однієї кутової хвилини.

Починаючи з XVII - XVIII століть у зв'язку із прискоренням розвитку науки й техніки й для задоволення зростаючих потреб у вимірах номенклатура вимірюваних величин і відповідних заходів почала розширюватися в точній відповідності з відомим висловленням М.Галилея “Вимірюю усе доступне виміру й роби доступним усе недоступне йому”. З'явилася необхідність у вимірі температури, тиску, щільності, швидкості, прискорення, магнітних, а потім і електричних величин. Стали удосконалюватися методики виконання вимірів, з'явилися нові засоби вимірів, створення яких і методики їх застосування потребували істотної теоретичної підтримки. В області вимірів і метрології в XVIII столітті вели дослідження М.В.Ломоносов, Г.В.Рихман (електрометр і принцип перетворення електричних величин у силу), Л.Эйлер (теорія ваг), І.Ньютон (історичні дослідження давньоєгипетських заходів [7]), І.І.Повзунів (водяний манометр), А.К.Нартов (прилади для виміру механічних величин) і багато інші. З іншого боку, удосконалювання методів і засобів вимірів сприяло новим винаходам і відкриттям, тому що “кожна річ відома лише в тому ступені, у який її можна виміряти” (Кельвін). Серед багатьох відомих прикладів, що підтверджують ця обставина, можна назвати нормальну щільність розподілу випадко-

вих величин, виведену Гауссом на основі аналізу розкиду результатів багаторазових вимірів, що з'явилося початком теорії ймовірностей, закон руху планет і закон земного притягання, отримані Кеплером за результатами вимірів траєкторій планет, періодичний закон Д.І.Менделєєва, установлений їм за результатами виміру мас атомів хімічних елементів, відкриття Н.Бором “ важкої води” на основі точних вимірів щільності води, досвіди й відкриття Майкельсона, за результатами яких були розвинені нові науки: спектроскопія й хвильова оптика, експерименти Ампера, Вольтя, Кулона й багато інші.

Чудовим прикладом використання природнього вимірювального приладу може служити пророкування Адамса й Левер'є в 1845 році й наступне виявлення астрономом Галлові в 1846 році в передвіщеному місці планети Нептун за результатами точних вимірів відхилення орбіти Урана від теоретичної траєкторії. Роль вимірювального приладу виконувала сонячна система, роль стрілки або індикатору - орбіта Урана. Математичною моделлю служила сукупність розрахункових орбіт відомих у той час планет.

Відзначений вище значний підйом науки й техніки в XVIII зажадав удосконалення й гармонізації системи заходів. Із цією метою в Росії в 1736 році була утворена Комісія про устанovu ваг і заходів під головуванням графа М.Г.Головкина. Експериментальною базою цієї Комісії служила лабораторія А.К.Нартова. У завершення цього сторіччя у Франції була створена метрична система заходів, прийнята в цей час у більшості країн. Надалі XIX і XX сторіччя ознаменувалися радикальним просуванням у напрямку до уніфікації світової системи заходів. В 1842 році в Росії було створено Депо зразкових заходів і ваг на чолі з академіком А.Я.Купфером, яке потім було перетворено в Головну палату мір і ваг, нині - ВНИИМ ім. Д.І.Менделєєва. З 1892 по 1907 рік Головну палату мір і ваг очолював Д.І.Менделєєв. В 1875 році було утворено Міжнародне бюро заходів і ваг (МБМВ) - перша серед усіх міжнародних організацій на нашій планеті. У цьому ж році перші 17 країн і серед них - Росія підписали Міжнародну метричну конвенцію. У цей час ця конвенція підписана вже 48 країнами.

Фантастичне прискорення наукове - технічного прогресу в XX столітті й пов'язані із цим, що не завжди задовольняються потреби у вимірах викликають підвищений інтерес до розвитку методів і засобів вимірів, тому що “нові засоби вимірів знаменують собою справжній прогрес” (Б.С.Якоби, 1857 г.). Призначення теорії вимірів у цій ситуації - теоретичне забезпечення створення нових

засобів вимірів, розробка прогресивних методів виконання вимірів і обробки результатів, розробка еталонів на нових фізичних принципах, що опираються на фізичні константи, розширення номенклатури величин, підтримуваних еталонами.

1.3. Сучасний стан вимірювальних інформаційних технологій

За минулий ХХ століття стрімко розширилася номенклатура величин, у вимірі яких бідували фундаментальні й прикладні науки, промисловість, медицина, торгівля. По даним АН СРСР, уже в 1970 році перелік величин, що підлягають вимірам у науці, народному господарстві й у соціальних сферах, містив більш 2000 найменувань. Менш чому за два попередні сторіччя виміру, методи вимірів і вимірювальні інструменти пройшли шлях розвитку від найпростіших вимірів довжини (будівництво, землекористування), маси, обсягу (торгівля), кутів (навігація, астрономія) до виміру електричних величин (заряд, сила струму, напруга) і далі протягом ХХ століття - до найскладніших *вимірювальних інформаційних технологій*, у яких використовуються останні досягнення фізики й самі зроблені засоби обчислювальної техніки: від мікропроцесорів до комп'ютерних мереж.

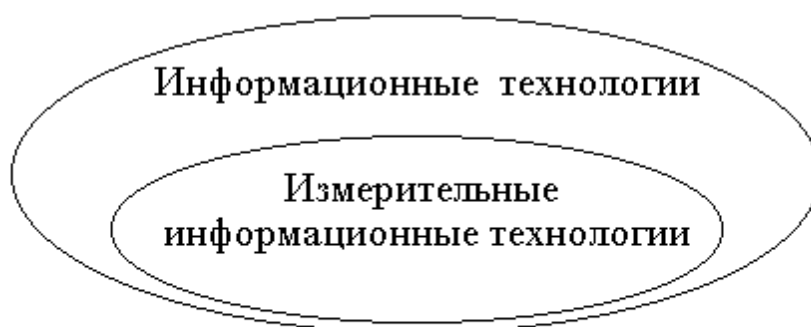


Рис. 1. Измерительные информационные технологии в группе информационных технологий

Вимірювальна інформаційна технологія - (*measuring information technology*) - технологія підготовки й виконання вимірів, що включає в себе опис приймань здійснення інформаційної взаємодії засобів вимірів з об'єктом, а також методів одержання, обробки, вистави й передачі кількісної інформації про значення вимірюваних величин, що й забезпечує необхідну вірогідність і схоронність цієї інформації.

Сучасні вимірювальні інформаційні технології (ИИТ) є підмножиною інформаційних технологій (див. мал. 1). Специфічними ознаками, що виділяють ИИТ із загального різноманіття інформаційних технологій, є:

- яскраво виражені пізнавальні цілі й функції,
- одержання первинної інформації в результаті спеціально організованого фізичної взаємодії з об'єктом,
- особлива відповідальність за вірогідність вимірювальної інформації, покладена чинним законодавством.

Продукцією ИИТ є результати вимірів, які “поставляються” для використання в інших інформаційних технологіях у якості вихідної інформації.

На мал. 2 в укрупненому виді представлено функціонування (поведінка) будь-якої технічної, управлінської, соціальної або біологічної системи, як послідовність операцій, першої серед яких є одержання первинної інформації від об'єкта в результаті інформативної взаємодії з ним. Конкретна форма, у якій виконується ця перша операція в тій або іншій сфері діяльності, різна. При наукових дослідженнях, при розробці, виробництві й експлуатації промислових

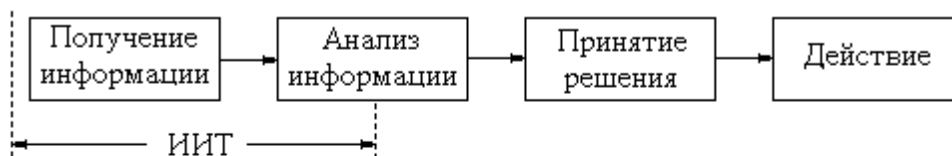


Рис.2. Место ИИТ в технических системах управления, в испытаниях продукции, в экологическом мониторинге, в медицинской диагностике и других сферах деятельности.

об'єктів, технічних засобів, транспорту, систем керування, при екологічному моніторингу, у багатьох інших сферах першою операцією є виміри. У поведінці людини або іншої біологічної системи джерелом первинної інформації є органолептичні виміри, в армії - розвідувальні дії, у соціальних і державних системах - соціологічне опитування. Зрозуміло, що кінцевий результат дій у сильному ступені залежить від якості інформації, одержуваної на першому етапі, тому до неї повинні пред'являтися досить високі вимоги.

Забезпечення взаємної довіри до результатів вимірів у таких сферах, як торгівля, екологія, науково-технічна кооперація, Інтерпол, є найважливішим чинником для розвитку міжнародного співробітництва. Розв'язок цього завдання в масштабі планети досягається, завдяки створенню, удосконалюванню, зберіганню й міжнародному звіренню державних еталонів, розробці єдиних правил і

норм виконання вимірів. Ці завдання зважуються на основі міжурядових угод під методичним керівництвом міжнародних метрологічних організацій, серед яких у першу чергу слід назвати Міжнародне Бюро Заходів і Терезів (МБМВ, створено 20 травня 1875 року в день підписання метричної конвенції) і Міжнародну Організацію Законодавчої Метрології (МОЗМ, створена в 1963 році). Діяльність цих організацій підтримується міжнародною організацією по стандартизації (ІСО). З ними тісно співробітничав Міжнародна Електротехнічна Комісія (МЭК). Крім цих глобальних організацій створені й діють регіональні організації на територіях Європи, Північної Америки, Азії й інших континентів.

ЛЕКЦІЯ № 2 Метрологічне забезпечення на етапах життєвого циклу продукції

Студент повинен
мати вистава:

- про роль і значення метрологічного забезпечення в керуванні якістю продукції;
- про відбиття вимог метрологічного забезпечення в системі менеджменту якості;

знати:

- принципи метрологічного забезпечення на основних етапах життєвого циклу продукції;
- основні групи вимірів і вимірюваних величин.

Мети й завдання метрологічного забезпечення на етапах розробки, виробництва, транспортування, зберігання й експлуатації продукції. Вплив рівня метрологічного забезпечення на якість і конкурентоспроможність продукції. Відбиття вимог метрологічного забезпечення в системі менеджменту якості. Визначення мінімуму вимірюваних параметрів, установлення норм точності вимірів, забезпечення засобами вимірів застереженої точності, дотримання готовності засобів вимірів до виконання вимірів.

Забезпечення єдності й необхідної точності вимірів, підготовленості методів або засобів вимірів, постійної підтримки сучасного науко-технічного й жажеопережаючого розвитку областей вимірів, виходячи з потреби народного господарства країни, окремих галузей або підприємств принципово можливо тільки за умови реалізації комплексу постійно діючих заходів, різноманітної й цілеспрямованої діяльності широкого кола фахівців, тобто метрологічного забезпечення.

Під **метрологічним забезпеченням** розуміють установлення й застосування наукових і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, необхідних для досягнення єдності й необхідної точності вимірів (ДСТУ 1.25-76 «Метрологічне забезпечення. Основні положення»).

Метрологічне забезпечення у своєму розвитку опирається на наукову, технічну, і організаційну основи.

Науковою основою МЗ є метрологія – наука про виміри, методи й засобах забезпечення їх єдності й способах досягнення необхідної точності.

Використовуючи ряд розділів фундаментальних і прикладних наук — фізику, хімію, математику, кібернетику й інші, метрологія, разом з тим, розбудовується як відособлена наука, що вивчає, що й установлює специфічні закони й правила, що дозволяють визначати кількісні вираження властивостей об'єктів матеріального світу, опираючись на математичний апарат, у першу чергу, на теорію імовірності й математичну статистику. Один з розділів метрології — законодавча метрологія вивчає організаційно-методичні проблеми метрологічного забезпечення, установлює правила й норми досягнення однаковості засобів вимірів, єдності й необхідної точності вимірів.

Технічною основою метрологічного забезпечення вмасштабе підприємства є:

відтворення на підприємстві фізичних величин за допомогою робочих еталонів або зразкових засобів вимірів;

уведення в експлуатацію загальнопромислових робочих засобів вимірів, розробка й обов'язкова метрологічна атестація нестандартизованих засобів вимірів, призначених для визначення з необхідною точністю характеристик продукції й показників технологічних процесів, одержання вимірювальної інформації при випробуваннях, контролі, наукових дослідженнях і обліку матеріальних цінностей.

передача розмірів одиниць фізичних величин робочим засобам вимірів, застосовуваним на підприємстві шляхом здійснення обов'язкової державної й відомчої перевірки засобів вимірів, з метою досягнення однаковості парку за-

собів вимірів при їхній експлуатації й ремонті застосування й у ряді випадків створення на підприємстві стандартних зразків складу й властивостей речовин і матеріалів, необхідних для відтворення й передачі розмірів «диниц величин, коефіцієнтів або умовної шкали властивості, що характеризують склад і, речовин і матеріалів;

використання й у ряді випадків розробка стандартних довідкових даних про фізичні константи й властивостях речовин і матеріалів, призначених для одержання достовірних результатів при наукових дослідженнях, розробці конструкцій і технологічних процесів виготовлення виробів і матеріалів.

Організаційною основою метрологічного забезпечення підприємства є метрологічна служба підприємства, що включає основні аспекти її організації:

єдність і централізованість обслуговування підрозділів підприємств;

схему організаційної структури й окремих ланок у складі служби;

адміністративну й методичну підпорядкованість як структурної одиниці підприємства або об'єднання, так і державної й відомчої метрологічної службам (з урахуванням особливостей організації у відомствах головних і базових метрологічних служб).

Класифікація основ метрологічного забезпечення є трохи умовної, тому що кожне із цих напрямків розбудовується шляхом проведення широких наукових досліджень, організаційно-технічних і методичних заходів, планованих ДСТУом у межах відомств і безпосередньо на підприємствах. Усе це необхідно враховувати при розв'язку практичних завдань і досягненні основних цілей метрологічного забезпечення в межах кожного підприємства в процесі розробки й виробництва продукції.

Дійсно, обсяг, складність виробничо-тематичних завдань обумовлюють: організаційну структуру, чисельність і рівень кадрового складу, а також нормативну й матеріально-технічну базу (виробничі площі, устаткування). Ці фактори впливають на масштаби й характер «метрологічного» виховання персоналу виробничо-тематичних підрозділів, « пов'язаного із плануванням або одержанням вимірювальної інформації.

Завдання МЗ:

Організаційно-методичні

1. Формування організаційної структури органів метрологічної служби
2. Підготовка кадрів
3. Освоєння й підготовка нормативної бази метрологічної служби

Производственно тематичні:

1. вивчення істоти фізичних величин, їх одиниць і позначень
2. обліки вимога контролепригодности вироблюваної продукції
3. визначення оптимальної номенклатури вимірюваних параметрів
4. установлення меж вимірів параметрови допусків на вимірювані параметри
5. вибір методик виконання вимірів
6. освоєння СИ
7. освоєння способів обчислень результатів вимірів

а так само завдання керування якістю засобів вимірів в експлуатації, завдання розробки й впровадження методик і засобів вимірів, завдання змісту зразкових засобів вимірів і їх використання для вимірів, завдання матеріально-технічного забезпечення й використання засобів вимірів, завдання ремонтно-монтажне й експлуатаційні, завдання керування системою метрологічного забезпечення

Лекція 2 Метрологічна експертиза технічної документації

Студент повинен

мати вистава:

- про необхідність метрологічної експертизи технічної документації;

знати:

- порядок метрологічної експертизи технічної документації;
- необхідну точність засобів вимірів, задану технічною документацією;
- можливість забезпечення точності вимірів стандартними засобами вимірів.

Метрологічна експертиза конструкторської й технологічної документації. Організація метрологічної експертизи. Доказ можливості виготовлення продукції необхідної точності й існування відповідних засобів вимірів. Перевірка

рівня стандартизації обраних засобів вимірів. Оформлення результатів метрологічної експертизи технічної документації.

Аналіз загальної перспективи підвищення в найближчі роки обсягу науково-дослідних, дослідно-конструкторських робіт і виробництва показує, що значення вимірів у розвитку науки й виробництва систематично буде зростати зі збільшенням відповідних витрат на створення новітніх видів засобів вимірів, розробку сучасних принципів і методів вимірів.

Важко представити широту поширення вимірів і розміри витрат матеріальних засобів на одержання вимірювального інструмента.

Особливо великий вплив результатів вимірів на розвиток народного господарства країни. На жаль, непросто знайти конкретні методи вираження технічного, економічного або хосного-соціально-корисного ефекту від вимірів для їхнього планування й виконання в оптимальному обсязі з необхідною точністю. Але недостатня точність, невірогідність і обмежений обсяг вимірювальної інформації спричиняє низька якість продукції, що випускається, дезорієнтацію в дослідженнях і в підсумку, - величезні втрати матеріальних засобів і фондів, втрата в масштабі галузі або народного господарства країни.

Немає буквально жодного етапу виробництва продукції, який може бути успішно реалізований без застосування методів і засобів вимірів.

Хоча заходу щодо поліпшення техніки безпеки, охорони праці й навколишнього середовища, а також обслуговуванню й ремонту встаткування не мають прямого відношення до етапів виробництва, однак, без цих трудових процесів будь-яке виробництво практично нездійсненне. Такий вплив вимірів на окремі етапи й напрямку виробництва продукції з якої-небудь області вимагає особливої підготовленості відповідних методів і засобів. Найменше відхилення рівня розвитку областей вимірів від об'єктивно необхідного оптимуму негайно негативно відбивається на показниках якості й ефективності виробництва продукції, викликає втрати матеріальних засобів і ресурсів. Разом з тим, науково-обґрунтований розвиток областей вимірів, по суті,

рівнозначно досягненню на підприємстві такого стану вимірі, який характеризується забезпеченням:

однаковості й високої якості засобів вимірів в експлуатації;

єдності вимірів при заданій точності;

сучасн рівня, що випереджає, розвитку областей вимірів:

постійної підготовленості методів, методик і засобів виміру до практичного їхнього застосування для виконання виробничо-тематичного плану.

Наведені характеристики, що визначають у сукупності найвищий стан вимірів, не рівноцінні. Кожна зі складових деякою мірою залежить друг від друга, якоюсь мірою характеризує окремі стадії в розвитку областей вимірів. Реалізація кожної складової – значна проблема. Однак дозвіл цих проблем сприяє досягненню високої якості продукції й ефективності її виробництва.

Поняття «однаковість засобів вимірів» можна розглядати як складову частину поняття «єдність вимірів». Забезпечення однаковості, високої якості засобів-вимірів в експлуатації є початковою, але найважливішим щаблем у забезпеченні єдності вимірів. Як відомо, під однаковістю засобів вимірів розуміють такий стан засобів вимірів, яке характеризується тим, що вони проградуировані в узаконених одиницях і їх метрологічні властивості відповідають нормам (ДСТУ 16263-70). Доцільно практику забезпечення однаковості засобів вимірів розглядати в сукупності із забезпеченням їх надійності. Обоє ці поняття майже повністю характеризують нормальний технічний стан засобів вимірів, а також координують практичні заходи щодо досягнення високої якості засобів вимірів в експлуатації.

Єдність вимірів — такий стан вимірів, при якому їх результати виражені в узаконених одиницях, а погрішності вимірів відомі із заданою ймовірністю (див. ДСТУ 16263-70). Практика забезпечення єдності вимірів опирається на високу якість засобів вимірів в експлуатації, на розробку й впровадження наукове обґрунтованих методів, стандартизованих і атестованих методик виконання вимірів.

Забезпечення єдності вимірів являє собою якісно новий напрямок у розвитку вимірів. Цей напрямок початок активний формуватися в середині шістдесятих років як найважливіша основа науково-технічного прогресу.

Разом з тим, стан вимірів, що відповідає сучасним вимогам, припускає не тільки забезпечення єдності вимірів, але й високу механізацію й автоматизацію процесу одержання інформації. Досконалість методів і засобів вимірів визначається зручністю й швидкістю одержання інформації, мінімальним витратам енергії, здатністю засобів вимірів до самоперевірки, економічною ефективністю впровадження методик виконання вимірів, розв'язком питань уніфікації, агрегування і т.д.

Сучасний рівень вимірів повинен характеризуватися випереджальним розвитком, тобто такою науковою й матеріально-технічною базою, такою насиченістю вже заздалегідь розроблених методів, методик і засобів вимірів, яка здатна задовольнити практично будь-яку потребу замовника — дослідника, розроблювача або виробничника без втрати або зниження техніко-економічного ефекту, планованого від виконання виробничо-тематичного завдання. Нерідка відсутність методів або засобів вимірів, необхідних для створення нових виробів, затримує досвідчене або серійне виробництво їх, не дає можливості забезпечити необхідна якість виготовлення або експлуатації нових виробів.

Немаловажним фактором для забезпечення єдності вимірів є наявність, постійна підготовленість до застосування стандартизованих або атестованих методик виконання вимірів і засобів вимірів, ремонтно-налагодочної бази, технічно необхідного резерву засобів вимірів.

Найважливіший фактор у забезпеченні єдності вимірів — підготовка кадрів і в першу чергу фахівців-метрологів усіх категорій, а також слюсарів і наладчиків контрольно-вимірювальних приладів.

| Основні етапи виробництва продукції | Завдання вимірів |
|---|---|
| Науково-дослідні й дослідно-конструкторські роботи зі створення продукції (розробка, будівля, дослідження й випробування дослідних зразків про- | Одержання первинної інформації про основні характеристики продукції при пошуку й виборі її оптимальних тактико-технічних характеристик і показників якості; |

| | |
|---|---|
| дукции) | експериментальне підтвердження теоретичних результатів досліджень або розрахунків, установлення параметрів дослідних зразків продукції; |
| Розробка й дослідження технологічного процесу виготовлення продукції | Визначення показників якості продукції на окремих етапах виробництва, параметрів технологічного встаткування й оснащення |
| Комплектування готових виробів, засобів виробництва, забезпечення сировиною й матеріалами | Перевірки показників якості вступників на підприємство встаткування, готових виробів, сировини й матеріалів. |
| Виготовлення продукції й енергоспоживання | Підтримки заданих параметрів і властивостей продукції в процесі її виготовлення, контроль стану технологічного встаткування й оснащення, облік і раціональне використання енергоресурсів у споживача. |
| Технічний контроль якості продукції, що випускається | Приймальний контроль продукції на ділянках виробництва й заводських лабораторіях |
| Типові й контрольні випробування продукції на працездатність, надійність, безвідмовність, довговічність, сохрняємость, ремонтпридатність, сталість характеристик і т.д. | Визначення фактичних характеристик, параметрів, властивостей продукції в межах заданих умов, що впливають, і режимів роботи при випуску з виробництва |
| Дослідження випробування продукції в процесі експлуатації для поліпшення їх споживчих властивостей | Установлення фактичних характеристик, параметрів, властивостей, а також стану продукції в реальних умовах її експлуатації й споживання |
| Проведення заходів в області техніки безпеки й охорони праці і т.д. | Контролі параметрів і стан технологічного й іспитового встаткування, засобів сигналізації і т.д. |
| Проведення планово-запобіжного ремонту й контроль над станом устаткування, ТЕ, інструмента, перевірка засобів виміру і т.д. | Визначення фактичних параметрів для підтримки технічних засобів виробництва, випробування, дослідження й контролю в нормальному експлуатаційному стані |

ЛЕКЦІЯ № 3 Метрологічне забезпечення технологічного процесу виготовлення продукції

Студент повинен

мати вистава:

- про необхідність метрологічного забезпечення засобів вимірів, що забезпечують стабільність технологічного процесу виготовлення продукції;
- про технічне обслуговування й експлуатації засобів вимірів;

знати:

- принципи вибору засобів вимірів і метрологічного забезпечення технологічного процесу виготовлення продукції в цілому й по його окремих етапах;
- обґрунтування необхідної й достатньої точності засобів вимірів; методики встановлення норм точності вимірів, що забезпечують вірогідність контролю;

уміти:

- вибирати й застосовувати методики виконання вимірів.

Вибір засобів контролю стабільності й високого рівня якості по окремих операціях і переходах технологічного процесу виготовлення продукції й виробничому процесу в цілому.

Обґрунтування необхідної й достатньої точності засобів вимірів залежно від заданої точності виготовлення. Установлення норм точності вимірів, що забезпечують вірогідність контролю в процесі виготовлення.

Вибір і забезпечення методик виконання вимірів.

Технічний засіб можна використовувати для вимірів тільки в тому випадку, якщо воно є засобом вимірів, тобто має *нормовані метрологічні характеристики*. Затверджені агентством по технічному регулюванню й метрології засоби вимірів реєструються в *державному Реєстрі засобів вимірів*, засвідчують сертифікатами відповідності й тільки після цього допускаються для застосування на території України, У довідкових виданнях прийнята наступна структура опису засобів вимірів: реєстраційний номер, найменування, номер і термін дії сертифіката про твердження типу засобу виміру, місцезнаходження виготовлювача й основні метрологічні характеристики.

Основні метрологічні характеристики оцінюють придатність засобів вимірів до вимірів у відомому діапазоні з відомою точністю й забезпечують:

- порівняння засобів вимірів між собою й досягнення їх взаємозамінності;
- можливість встановлення точності вимірів;
- вибір потрібних засобів вимірів по точності й іншим характеристикам;
- визначення погрешностей вимірювальних систем і установок;

- оцінку технічного стану засобів вимірів при їхній перевірці. На практиці використовують наступні метрологічні характеристики засобів вимірів.

Діапазон вимірів — область знамень вимірюваної величини, для якої нормовані погрішності, що допускаються, вимірювального приладу (засобу виміру).

Діапазон показанні — розмічена область шкали вимірювального приладу, обмежена її початковим і кінцевим значеннями, тобто зазначеними на ній найменшим і найбільшим можливими значеннями вимірюваної величини (він може бути ширше діапазону вимірів).

Межі вимірів — найбільше або найменше значення діапазону вимірів.

Область робочих частот (діапазон частот) — смуга частот, у межах якої погрішність приладу, отримана при зміні частоти сигналу, не перевищує межі, що допускається.

Градуїрована характеристика — залежність, що визначає співвідношення між сигналами на виході й вході засобу вимірів у статичному режимі.

Чутливість по вимірюваному параметру — відношення зміни сигналу на виході вимірювального приладу до его зміни, що викликала, вимірюваної величини

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x},$$

де x — вимірювана величина; y — сигнал на виході; Δx — зміна вимірюваної величини; Δy — зміна сигналу на виході.

Параметри x и y найчастіше виражені в різних одиницях, наприклад, міліметрах і вольтгах, міліметрах і секундах (як в осцилографах). Тому величина S може мати, наприклад, розмірність мм/В, мм/с и т. буд.

Гранична чутливість (по напрузі, струмі або потужності) — мінімальна величина досліджуваного сигналу (напруги, токи або потужності), подаваного на вхід приладу, яка необхідна для одержання відліку з погрішністю, що не перевершує припустимої. Найменше значення зміни фізичної величини, починаючи з якого може здійснюватися її вимір, називається *порогом чутливості* даного засобу вимірів.

Час виміру — час, який потрібно для визначення значення вимірюваної величини із заданою погрішністю.

Розв'язна здатність (абсолютна) — мінімальна різниця двох значень вимірюваних однорідних величин, яка може бути помітна за допомогою приладу.

Швидкодія (швидкість виміру) — максимальне число вимірів в одиницю часу, виконуваних з нормованою погрішністю.

Показання — значення вимірюваної величини, обумовлене по відліковому обладнанню приладу й виражене в одиницях цієї величини.

Власна споживана потужність $P_{\text{соб}}$ - потужність, споживана від вимірюваного ланцюга (чому $P_{\text{соб}}$ менше, тем точніше виміру).

Усі перераховані показники ставляться до метрологічних характеристик радіотехнічних засобів вимірів. Є й інші метрологічні характеристики засобу виміру.

Характерна риса вимірювальної техніки — широке поширення вимірювальних процесів, у яких одночасно беруть участь кілька засобів вимірів, що вимірюють різні фізичні величини й заснованих на різних принципах дії. Для забезпечення єдності вимірів і взаємозамінності засобів вимірів їх метрологічні характеристики нормують. Основна нормована метрологічна характеристика засобів вимірів — *погрішність*, тобто різниця між показанням засобу виміру й дійсним значенням вимірюваної величини. Звичайно використовують *нормоване значення погрішності*, під якою розуміють погрішність, що є *граничною* для даного типу засобів вимірів.

Метрологічні характеристики нормують для нормальних умов експлуатації засобів вимірів. *Нормальними* вважають умови, при яких зміною метрологічних характеристик під впливом величин, що впливають, можна зневажити. Для багатьох засобів вимірів нормальними умовами є: напруга живильної мережі ($220 \pm 4,4$) У с частотою ($50 \pm 0,5$) Гц; температура навколишнього середовища (20 ± 10) °З; атмосферний тиск від 97,4 до 104 кПа; відсутність електричних і магнітних полів (наведень).

Важливою метрологічною характеристикою є *погрішність засобів вимірів* — *інструментальна* погрішність виміру.

Інструментальну погрішність засобу виміру в нормальній області значень, що впливають величин називають *основний*. Перевищення значення величини, що впливає, за межі нормальної області може привести до виникнення складової інструментальної погрішності, *називаної додаткової*. Для засобів вимірів основна й додаткова погрішності нормуються окремо.

Меж, що допускаються додаткових погрішностей засобів вимірів встановлюють у вигляді дольного значення межі основної погрішності, що допускається. Для оцінки додаткових погрішностей у документації на засіб вимірів указують норми зміни показань при виході умов виміру за межі нормальних. Додаткову погрішність іноді нормують у вигляді коефіцієнта, що вказує «на скільки» або «у скільки раз» змінюється погрішність при відхиленні номінального значення. Наприклад, вказівка, що температурна погрішність вольтметра становить $\pm 0,5 \%$ на $10 \text{ }^\circ\text{C}$, означає, що при зміні середовища на кожні $10 \text{ }^\circ\text{C}$ додається додаткова погрішність $0,5 \%$.

При повсякденних вимірах підвищена точність не завжди потрібна. Однак певна інформація про можливої інструментальної складової погрішності виміру необхідна й тому вона повинна бути яким-небудь образом відбита. Така інформація втримується у вказівці *класу точності* засобу виміру. Це характеристика залежить від способу вираження меж, що допускаються погрішностей засобів вимірів.

Клас точності — узагальнена характеристика засобів вимірів, обумовлена межами, що *допускаються основних і додаткових погрішностей*, а також іншими властивостями засобів вимірів, що впливають на точність, значення яких встановлюють у відповідних стандартах. У стандартах є така примітка: «Клас точності засобів вимірів характеризує їхній властивості відносно точності, але не є безпосереднім показником точності вимірів, виконаних за допомогою цих засобів». Це значить, що клас точності дає можливість судити про те, у

яких межах перебуває погрішність засобів вимірів одного типу, але не характеризує точності вимірів, виконуваних цими засобами, тому що погрішність залежить і від методу вимірів, і від умов вимірів і т.д. Останнє важливо врахувати при виборі засобу виміру залежно від заданої точності вимірів.

Уперше термін «клас точності» був уведений у тридцять роки ХХ в. стосовно до стрілочних приладів і визначав основну погрішність засобів вимірів (погрішність засобів вимірів у нормальних умовах). Уведення класу точності мало на меті класифікації засобів вимірів по точності. Ця характеристика була зручною для приладобудівників, оскільки дозволяла чітко стандартизувати вимірювальні прилади у вигляді регламентованих рядів класів точності. Така виставка в той час був виправданий і характеристикою *клас точності* можна було керуватися при виборі засобів вимірів, при орієнтовній оцінці точності вимірів і ін. Оскільки в цей час схеми й конструкції засобів вимірів ускладнилися, а області застосування засобів вимірів досить розширилися, то, як ми вже відзначали, на погрішність вимірів стали суттєво впливати й інші фактори. Область практичного застосування характеристики *клас точності* обмежена тільки такими приладами, які призначені для виміру статичних величин. У міжнародній практиці клас точності встановлюється тільки для невеликої частини приладів.

Засіб вимірів може мати два й більш класи точності. Наприклад, при наявності в засобу вимірів декількох діапазонів вимірів однієї й тієї ж фізичної величини йому можна привласнити два або більш класу точності. Прилади, призначені для виміру декількох фізичних величин, також можуть мати різні класи точності для кожної вимірюваної величини.

Класи точності привласнюють засобам вимірів при розробці на підставі досліджень і випробувань їх представницької партії. Звичайно їх устанавлюють у технічних умовах (іноді в стандартах) на засіб вимірів. Межі погрішностей, що допускаються, нормують і виражають у *формі абсолютної відносної або наведеної* погрішностей (далі індекс для спрощення опущений). Форма вираження залежить від характеру зміни погрішностей у межах діапазону вимірів, а також від умов застосування й призначення засобу виміру. Межі погрішностей, що допускаються, засобів вимірів визначають аналогічно погрішностям вимірів відповідно. Якщо відомий клас точності засобу виміру, то з нього можна знайти максимально припустиме значення абсолютної погрішності для всіх крапок діапазону вимірів.

Абсолютна погрішність засобів вимірів $L_{\text{си}} = A$ складається з *аддитивної* і *мультиплікативної* складових. Аддитивна складова утворюється, наприклад, через неточність установки на нуль перед виміром і т.д. Мультиплікативні погрішності з'являються внаслідок зміни коефіцієнта підсилення підсилювача, коефіцієнта передачі ланцюги

Межа додаткової погрішності, що допускається абсолютної, засобу виміру $\Delta_{\text{дсн}}$ може вказуватися у вигляді:

- постійного значення для всієї робочої області, що впливає величини;

- відносини межі додаткової погрішності, що допускається, відповідного запропонованому інтервалу величини, що впливає, до цього інтервалу;
- залежності межі погрішності засобу вимірів $\Delta_{ДСИ}$ від величини, що впливає.

Приклади позначення класів точності засобів вимірів наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Правила и примеры обозначения классов точности

| Формула выражения основной погрешности | Пределы допускаемой основной погрешности | Обозначение класса точности | |
|--|--|-----------------------------|-------------|
| | | в документации | на приборе |
| Абсолютная $\Delta = \pm a;$ $\Delta = \pm (a + bx)$ | $\pm a;$ $\pm (a + bx)$ | L M | L M |
| Приведенная, в %, $\gamma = \frac{\Delta}{X_N} 100 = \pm p$ | $\gamma = \pm 1,5 \%$ | 1,5 | 1,5 |
| Относительная, в %, $\delta = \frac{\Delta}{x} 100 = \pm q$ | $\delta = \pm 0,5 \%$ | 0,5 | 0,5 |
| Относительная, в %, $\delta = \pm \left[c + d \left(\left \frac{X_K}{x} \right - 1 \right) \right]$ | $\delta = \pm 0,02 / 0,01$ | $c/d = 0,02 / 0,01$ | 0,02 / 0,01 |

Методики виконання вимірів

Методика виконання вимірів (МВВ; іноді спрощено — методики вимірів) — документована сукупність операцій і правил, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірів з гарантованою точністю відповідно до прийнятого методу. Отже, сучасні МВВ відіграють вирішальну роль у метрологічному забезпеченні вимірів. Як метрологічний об'єкт МВВ з'явилися в 1972 р. При розробці Державної системи забезпечення єдності вимірів (гл. 2) виявилось недостатньо мати засобу вимірів, характеристики яких задовольняють традиційним вимогам, оскільки погрішність виміру часто залежить від методики виміру: погрішності методу; умов вимірів і т.д.

Загальні вимоги до розробки, оформлення, атестації, стандартизації МВВ й метрологічному нагляду за ними регламентують ДСТУ 8.563-96 і МІ 2377-98. Дані нормативні документи стосуються переважної більшості проведених вимірів. Виключення становлять МВВ, при використанні яких погрішності вимірів визначаються в процесі або після їхнього застосування. Виміру такого роду досить нечисленні й здійснюються головним чином у наукових дослідженнях, а також при проведенні експериментів. Порядок розробки, застосування й вимоги до таких МВВ визначають їх організації, що використовують.

Розробляють МВВ на основі вихідних дан, що включають:

- призначення, де вказують область застосування, найменування вимірюваної величини і її характеристики, а також характеристики об'єкта вимірів, якщо вони можуть впливати на погрішність вимірів;

- вимоги до погрішності вимірів;
- умови вимірів, задані у вигляді номінальних значень і (або) границь діапазонів можливих значень, що впливають величин;
- вид індикації й форми вистави результатів вимірів;
- вимоги до автоматизації вимірювальних процедур;
- вимоги до забезпечення безпеки виконуваних робіт;
- інші вимоги, якщо в них є необхідність.

Сукупність операцій і правил, що забезпечує одержання результатів вимірів з відомою погрішністю, відзначає дві важливі ознаки: МВВ являє собою опис операцій і в ній пропонується погрішність виміру Розробка МВВ, як правило, включає наступні етапи: написання, узгодження й твердження технічного завдання на розробку МВВ; формування вихідних даних для розробки; вибір (або розробка) методу й засобів вимірів, здійснюваний на основі нормативних документів.

У документах на МВВ вказують:

- призначення МВВ;
- умови й методи вимірів;
- вимоги до погрішності вимірів і (або) її приписані характеристики;
- вимоги до СИ, допоміжним обладнанням, матеріалам.

Вибір засобу виміру — складне завдання, розв'язок якої слід проводити на основі певного техніко-економічного критерію. У цьому випадку одержуваний розв'язок відповідає оптимальному виконанню таких вимог до виміру, як;

- мінімальні витрати, забезпечення необхідної точності й вірогідності;
- установлення послідовності й змісту операції при підготовці й виконанні вимірів, обробці проміжних результатів і обчислення остаточних результатів вимірів;

• установлення приписаних характеристик погрішностей вимірів — характеристик погрішності будь-якого результату сукупності вимірів, отриманого при дотриманні вимог і правил даної методики; способи вираження приписаних характеристик повинні відповідати заданим у вихідних даних;

- підготовку нормативів і процедур контролю точності одержуваних результатів вимірів,

• складання документа на МВВ;

• метрологічна експертиза проекту документів на МВВ — аналіз і оцінка вибору методів і засобів вимірів, операцій і правил проведення вимірів і обробки їх результатів з метою встановлення відповідності МВВ пропонованим метрологічним вимогам;

• атестація МВВ.

Атестація МВВ — установлення й підтвердження її відповідності пропонованим до неї метрологічним вимогам. Здійснюють атестацію шляхом метрологічної експертизи документації, теоретичних або експериментальних досліджень МВВ. Атестовані МВВ підлягають метрологічному нагляду й контролю. При атестації МВВ допускається вказувати типи засобів виміру, їх характеристики й позначення документів, де наведені вимоги до засобу вимірів:

- операції по підготовці до виконання вимірів;

- операції при виконанні вимірів;
- операції обробки й обчислення результатів вимірів;
- нормативи, процедуру й періодичність контролю погрішності результатів виконуваних вимірів;
- вимоги до оформлення результатів вимірів;
- вимоги до кваліфікації операторів;
- вимоги до забезпечення безпеки виконуваних робіт;
- вимоги до забезпечення екологічної безпеки.

Як впливає из визначення, МВВ являє собою технологічний процес виміру. Тому не можна змішувати МВВ й документ на МВВ, оскільки не всі методи описані відповідним документом. Для вимірів, проведених за допомогою простих приладів, що показують, не потрібно особливих документованих МВВ. У цих випадках досить у нормативній документації вказати тип і основні метрологічні характеристики засобів вимірів.

ЛЕКЦІЯ № 4 Метрологічне забезпечення вимірів при контролі якості й випробуваннях продукції

Студент повинен
мати вистава:

- про класифікацію іспитового встаткування й вимогах до його метрологічного забезпечення

знати:

- правила технічного обслуговування й експлуатації засобів вимірів;
- порядок атестації й перевірки засобів вимірів і іспитового встаткування за ДСУ 24555.

Класифікація іспитового встаткування. Вимоги до безпеки, технічного рівня й метрологічному забезпеченню іспитового встаткування. Іспитове встаткування загальнопромислового застосування і його метрологічне забезпечення. Метрологічне забезпечення засобів вимірів при контролі якості й випробуваннях залежно від роду продукції, виду випробувань, вимог точності результатів випробувань і схем контролю. Технічне обслуговування й експлуатація засобів вимірів.

Атестація й перевірка іспитового встаткування. Вимоги й норми ДСТУ 24555.

Метрологічна атестація засобів вимірів і іспитового встаткування

Метрологічна атестація — визнання засобу вимірів (випробувань) узаконеним для застосування на підставі ретельних досліджень метрологічних властивостей цього засобу. При атестації обов'язково вказуються метрологічне призначення й метрологічні характеристики засобу виміру.

Метрологічній атестації зазнають засоби вимірів, не підмети державним випробуванням або твердженню типу органами Державної метрологічної служби, а також дослідні зразки засобів вимірів, вимірювальні прилади, що випус-

каються або імпортовані в одиничних екземплярах або дрібними партіями, вимірювальні системи і їх канали.

Основними завданнями метрологічної атестації засобів вимірів є:

- визначення метрологічних характеристик і встановлення їх відповідності вимогам нормативної документації;
- установа переліку метрологічних характеристик, що підлягають контролю при перевірці;
- випробування методики перевірки

Метрологічну атестацію засобу вимірів проводять органи державної або відомчої метрологічної служби по спеціально розробленій і затвердженій програмі. При позитивних результатах видається *Свідчення про метрологічну атестацію* встановленої форми, де вказується його встановлені метрологічні характеристики.

Між виміром і випробуванням є відмінність, що полягає в тому, що погрішність випробування складається з погрішності виміру й погрішності відтворення режимів випробування. Вимір можна вважати часткам случаємо випробування, при якому погрішності відтворення режимів випробування не враховуються. Відповідно до цього існує відмінність в атестації засобів вимірів і іспитового встаткування, основні положення й порядок проведення якого наведено в ДСТУ 8.568-97 ЗЄВ. Атестація іспитового встаткування. Основна мета атестації іспитового встаткування — підтвердження можливості відтворення умов випробувань у межах припустимих відхилень і встановлення придатності використання даного встаткування відповідно до його призначення.

Метрологічну атестацію засобів вимірів і іспитового встаткування ділять на первинну, періодичну й повторну.

Первинна атестація полягає в експертизі експлуатаційної й проектної документації, експериментальному визначенні технічних характеристик іспитового встаткування й підтвердженні придатності його до використання. Технічні й метрологічні характеристики, що підлягають визначенню, вибирають із числа нормованих і встановлених у документації характеристик. Вони повинні визначати можливість устаткування відтворювати умови випробувань протягом установленого часу. У процесі первинної атестації встановлюють:

- можливість відтворення зовнішніх факторів, що впливають, і (або) режимів функціонування об'єкта випробування, установлених у документах на методики випробувань конкретних видів продукції;
- відхилення параметрів умов випробувань від нормованих значень;
- забезпечення безпеки персоналу й відсутність шкідливого впливу на навколишнє середовище
- перелік характеристик устаткування, які повинні перевірятися при періодичній атестації, а також методи, засоби й періодичність її застосування;
- забезпечення безпеки персоналу й відсутність шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Періодична атестація проводиться в процесі експлуатації іспитового встаткування в обсязі, необхідному для підтвердження відповідності його характеристик вимогам нормативних документів на методики випробувань і экс-

платуаційних документів. Результати атестації оформляються протоколом. При позитивних результатах атестації на встаткування видається атестат певної форми й про це робиться запис в експлуатаційні документи.

Повторну атестацію здійснюють при експлуатації іспитового встаткування до настання строку його періодичної перевірки при введенні іспитового встаткування в експлуатацію після тривалого зберігання й ряді інших випадків.

Аналіз стану вимірів, контролю й випробувань на підприємстві

Аналіз стану вимірів, контролю й випробувань на підприємстві проводиться з метою встановлення відповідності досягнутого рівня метрологічного забезпечення певним вимогам і розробки на цій основі пропозицій по його поліпшенню. При розробці документованої процедури, що регламентує проведення аналізу, доцільно керуватися вимогами національних стандартів: ДСТУ 8.563-96 ЗЄВ. Методики виконання вимірів; ДСТУ 8.568-97 ЗЄВ. Атестація іспитового встаткування. Основні положення; ДСТУ 51000.4-96 ЗЄВ. Система акредитації в Україні. Загальні вимоги до акредитації іспитових лабораторій і інструкцій; МІ 2240-98. ЗЄВ. Аналіз стану вимірів, контролю й випробувань на підприємстві, в організації, об'єднанні. Методика й порядок проведення роботи; МІ 2386-96 ЗЄВ. Аналіз вимірів, контролю й випробувань у центрах (лабораторіях), що здійснюють сертифікацію продукції й послуг. Методика проведення роботи; МІ 2427-97 ЗЄВ. Оцінки станів в іспитових і вимірювальних лабораторіях і МІ 2304-94 ЗЄВ. Метрологічний контроль і нагляд, здійснюваний метрологічними службами юридичних осіб.

Метою аналізу стану вимірів, контролю й випробувань є встановлення відповідності виконання вимірів вимогам законодавства України в області забезпечення єдності вимірів.

У процесі аналізу встановлюють:

- вплив стану вимірів, контролю й випробувань на основні техніко-економічні показники діяльності підприємства;
- наявність у підрозділах підприємства необхідних документів ЗЄВ й іншої нормативної документації, що регламентує вимоги до контрольно-вимірювального встаткування;
- стан використання на підприємстві державних і інших стандартів, що регламентують вимоги до забезпечення єдності й необхідної точності вимірів, випробувань і контролю;
- оснащеність підприємства сучасним контрольно-вимірювальним устаткуванням і потреба в ньому;
- ефективність використання контрольно-вимірювального встаткування, а також наявних засобів перевірки й калібрування;
- організаційна структура й стан діяльності метрологічної служби підприємства;
- стан атестації, уніфікації й стандартизації застосовуваних методик виміру, випробування й контролю;
- технічний і метрологічний стан застосовуваного контрольно-вимірювального встаткування, забезпеченість його ремонт-тчм, пог>|-<<->н, калібруванням,

- стан і ефективність робіт із проведення метрологічної експертизи документації підприємства;
- потреба підприємства в державних стандартах і стандартних довідкових даних про властивості речовин і матеріалів, необхідних для забезпечення якості продукції;
- потреба підприємства у фахівцях-метрологах.

Робота з оцінки стану змін, випробувань і контролю проводиться під керівництвом метрологічної служби органа виконавчої влади, юридичних осіб (їх об'єднань) за участю фахівців технічних служб підприємства (організації), у складі якого функціонує лабораторія, при необхідності із залученням представників ГМС

Для проведення оцінки стану вимірів готуються матеріали, у яких повинні бути відбиті наступні відомості:

- перелік нормативних документів на виконувані види робіт, використувані об'єкти й вимірювані (контрольовані) параметри цих об'єктів;
- перелік документів на МВВ й методи випробувань (у тому числі державні й галузеві стандарти);
- дані про стан МВВ;
- дані про застосовувані засоби вимірів і іспитовому устаткуванні;
- оснащеність лабораторії стандартними зразками всіх категорій;
- дані про склад і кваліфікації кадрів, включаючи діючі форми підвищення кваліфікації;
- довідка про стан виробничих приміщень. При оцінці стану вимірів перевіряють:
 - положення про метрологічний підрозділ, що визначає її функції, права, обов'язки, відповідальність, взаємодія з іншими підрозділами організації (якщо вона є юридичною особою) і іншими організаціями;
 - плани (графіки) скасування або перегляду документів на МВВ, що не задовольняють вимогам ДСТУ 8.563-96, і проведення атестації (при необхідності);
 - наявність необхідних засобів вимірів, у тому числі стандартних зразків усіх категорій, що забезпечують проведення вимірів;
 - наявність іспитового й допоміжного устаткування, реактивів і матеріалів необхідної якості;
 - посадові інструкції, затверджені у встановленому порядку; - • оснащеність усіх стадій виробництва продукції контрольно-вимірювальним устаткуванням, що задовольняють установленим у документації вимогам до точності вимірів;
 - забезпеченість контролем (вимірами) змісту шкідливих речовин у викидах в атмосферу, стоках і ґрунту з метою охорони навколишнього середовища;
 - стан актуалізованого фонду нормативних документів;
 - затверджених у встановленому порядку посадових інструкцій персоналу В результаті такої перевірки документації виявляється взаємозв'язок вимог

точності контролю основних параметрів з якістю продукції, що випускається, системою обліку матеріальних ресурсів.

При проведенні аналізу діючої документації повинні бути розглянуті:

- оптимальність номенклатури вимірюваних параметрів;
- наявність установлених норм точності вимірів;
- оцінка можливості проведення вимірів з необхідною точністю;
- установлення відповідності показників точності вимірів (випробувань) вимогам ефективності виробництва й вірогідності контролю, а також стандартизованим способам вираження точності вимірів (випробувань);
- вірогідність нормованого методу оцінки результатів вимірів, контролю й випробувань;
- наявність, рівень уніфікації й стандартизації МВВ;
- оцінка правильності вибору МВВ, контролю й випробувань і відповідність вимогам документів, що регламентують методики;
- оцінка правильності вибору засобів вимірів, стандартних зразків складу й властивостей речовин і матеріалів, реагентів, іспитового встаткування;
- виявлення вимог до вимірів, контролю й випробуванням властивості, що визначають споживчі й інші, продукції;
- відповідність регламентованих у документації вимог до продуктивності методик і СИ,
- установлення вірогідності й правильності застосування даних про фізичні константи й властивостях речовин і матеріалів.

За результатами оцінки стану вимірів складається акт, який доводить до відомості керівника лабораторії й представляється в організацію, відповідальну за проведення аналізу стану вимірів. При необхідності відомості можуть бути надані в територіальний центр стандартизації, метрології й сертифікації.

Залежно від цілей роботи й виявленого стану вимірів у лабораторії в акті роблять висновок про наявність (відсутності) умов для виконання вимірів у закріпленій за лабораторією області діяльності Розв'язок про відсутність умов для виконання вимірів ухвалюють у випадку, якщо виявлено одне із грубейших порушень:

- невідповідність використовуваної методики контролюваному об'єкту;
- порушення правил атестації МВВ, установлених національним стандартом ДСТУ 8.563-96;
- неправильність використання засобів вимірів, МВВ й методів випробувань або стандартних зразків;
- систематичне одержання результатів випробувань і вимірів з порушенням вимог методик;
- відсутність необхідних засобів вимірів, іспитового й допоміжного устаткування, стандартних зразків, реактивів і матеріалів або невідповідність їх установленим вимогам;
- недостатня укомплектованість кадрами відповідної кваліфікації;
- невідповідність приміщень лабораторії встановленим вимогам.

При фіксуванні в акті наявності умов для виконання вимірів у закріпленій за лабораторією області діяльності оформляється *Свідчення про стан вимірів у лабораторії* й протягом місяця воно направляється в лабораторію.

За результатами всіх матеріалів аналізу стану вимірів, контролю й випробувань на підприємстві підготовляються пропозиції по поліпшенню метрологічного забезпечення виробництва й заходу щодо їхньої реалізації.

ЛЕКЦІЯ № 5 Метрологічне забезпечення нестандартизованих засобів виміру

Студент повинен

мати вистава:

- про умови й причинах застосування нестандартизованих засобах вимірів;

знати:

- склад технічної документації, необхідної для функціонування нестандартизованих засобів вимірів;

- порядок атестації нестандартизованих засобів вимірів і методик виконання вимірів.

Умови застосування нестандартизованих засобів вимірів. Метрологічне забезпечення розробки, виготовлення й застосування нестандартизованих засобів вимірів. Державна й відомча атестація нестандартизованих засобів вимірів. Атестація методик виконання вимірів

При розробці методик виконання вимірів, як правило, формулюють технічні вимоги до засобів вимірів. У зв'язку з тим, що номенклатура загальнопромислових засобів вимірів обмежена й уніфікована, розроблювачеві методики далеко не завжди вдається вибрати з каталогів засобу вимірів, що повністю задовольняють заданим умовам одержання вимірювальної інформації. Буває, що необхідні для розробки науково-обґрунтованих методик окремі властивості засобів вимірів відрізняються від тих, якими мають засобу вимірів загальнопромислового призначення. В одних випадках — це метрологічні характеристики, в інших — габаритні розміри або маса, у третіх — умови експлуатації і т.д. Нерідкі випадки, коли обрані з каталогів засоби вимірів, хоча й задовольняють пропонованим до них вимогам, застосовувати економічно недоцільно, тому що не всі технічні можливості цих засобів раціонально використовуються при вимірах або їх вартість (звичайно універсальних засобів) перевищує економічний ефект від впровадження самого технологічного або іспитового процесу й т. буд. Безумовно, вибір засобів вимірів при розробці методик повинен опиратися на техніко-економічну основу. З одного боку, не повинні бути допущені втрати обсягу або точності інформації, з інший, — неповне використання яких-небудь інформативних параметрів або властивостей засобів вимірів, що викликають необґрунтовані втрати матеріальних ресурсів. Усе це змушує розроблювачів

методик виконання вимірів порушувати питання про створення засобів вимірів зі специфічними експлуатаційними характеристиками або, як їх іменують, «**нестандартизованих**».

До **нестандартизованих** засобів вимірів відносять засобу, які виготовляють одиничними екземплярами або разовими партіями й піддають замість державних випробувань (див. ДСТУ 8.001-80) метрологічної атестації (див. ДСТУ 8.326-78).

Хоча наведене поняття нестандартизованих засобів вимірів далеко не зовсім, однак воно досить повно характеризує цю категорію засобів вимірів по самій загальній ознаці, що відрізняє їх від засобів вимірів загальнопромислового призначення, внесених у Госреєстр засобів вимірів.

Досвіди показує, що, незважаючи на систематичне збільшення виробництва засобів вимірів загальнопромислового призначення, впровадження нестандартизованих засобів розглядається як закономірне явище в практиці метрологічного забезпечення досліджень і виробництва. Потреби в них виникає на підприємстві при освоєнні колбою техніки, розробці унікального встаткування, виконанні дослідно-конструкторських робіт, розв'язку вузьких завдань контролю якості продукції, що випускається. У багатьох службах ці засоби вимірів є основними, рясними на одержання надійної вимірювальної інформації.

Важливість і величезні масштаби застосування нестандартизованих засобів вимірів, їх безпосередній вплив на якість продукції, що випускається, вимагають установа такого порядку при розробці, виготовленні, впровадженні в експлуатацію й експлуатації цих засобів, при якому буде повністю виключена ймовірність застосування засобів, що не забезпечують достовірних результатів вимірів.

Цей порядок при розробці й виготовленні **нестандартизованих** засобів вимірів повинен урахувати, з одного боку, науково-технічну й економічну обґрунтованість методу, з іншого боку — задовольняти вимогам системи керування якістю засобів вимірів в експлуатації: засобу вимірів повинні витримувати всі необхідні випробування, мати сталість експлуатаційних характеристик, підтверджених при метрологічній атестації, безвідмовністю в експлуатації.

Для досягнення максимальної економічної ефективності при постановці питання про застосування **нестандартизованих** засобів вимірів розроблювачі методик або засобів вимірів повинні:

використовувати розроблені або виготовлені **нестандартизованих** засоби вимірів;

застосовувати будь-які категорії засобів вимірів, у тому числі загальнопромислового призначення, в аномальні для них умовах роботи, якщо при проведенні до їхньої метрологічної атестації встановлені необхідні метрологічні властивості;

використовувати засоби вимірів застарілих конструкцій, імпортовані, відсутні в Госреєстрі, якщо при проведенні їх метрологічної атестації встановлені необхідні метрологічні властивості вдосконалювати або реконструювати окремі

блоки, вузли средств.вимірів будь-яких видів і категорій, якщо це економічно виправдане;

застосовувати засобу вимірів будь-яких категорій, що перебувають у стадії розробки або виготовлення;

розробляти **нестандартизовані** засоби вимірів нових типів, якщо матеріальні витрати на ці розробки не перевищують передбачуваних витрат на одержання економічного ефекту від впровадження засобів вимірів.

Систему метрологічного контролю на підприємстві за **нестандартизованими** засобами вимірів слід впроваджувати на основі виконання наступних одноразових заходів;

проведення технічного перепису **нестандартизованих** засобів вимірів, що перебувають у застосуванні або на зберіганні, при якій виявляють технічну документацію на ці засоби (методики виконання вимірів, опису, креслення, методики перевірки і т.д.), а також визначають їхню працездатність і комплектність;

складання плану проведення метрологічної атестації зареєстрованих засобів вимірів;

розгляди й вивчення технічної документації, пов'язаної із застосуванням виявлених **нестандартизованих засобів** вимірів і проведення метрологічної експертизи цієї документації;

розробки (або одержання від підприємств-розроблювачів) технічної документації на засоби вимірів, у яких вона отсутствует;

атестаціям або стандартизації методик виконання вимірів;

розробки програми й методики проведення метрологічної атестації засобів вимірів;

проведення метрологічної атестації засобів вимірів і при позитивних результатах оформлення свідчення в придатності засобів вимірів до застосування або вилучення їх з експлуатації, якщо результати метрологічної атестації не відповідають вимогам, зазначеним у технічному завданні на їхню розробку.

Технічний перепис **нестандартизованих** засобів вимірів доцільно проводити одночасно з переписом методик на виконуваних виміри, а також засобів вимірів загальнопромислового призначення.

Хоча класифікація **нестандартизованих** засобів вимірів ще належною мірою не розроблена, однак по широті, специфіці й характеру поширення їх доцільно підрозділити на дві основні групи: 1) засобу вимірів міжгалузевого й 2) галузевого призначень. Засоби вимірів першої групи ухвалює з виробництва відділ. Установлення замовником контролю над розробкою й виготовленням засобів, вимірів загальногалузевого призначення допоможе йому, у підсумку, виключити матеріальні втрати через поставку засобів вимірів, непридатних по своїх експлуатаційних характеристиках.

Якщо засобу вимірів загальногалузевого призначення, що зробили на підприємство, були піддані на підприємстві-виготовлювачі метрологічної атестації, то вони принципово не відрізняються від загальнопромислових засобів вимірів у частині встановлення за ними метрологічного контролю.

Досвіди показує, що не всі наявні на підприємствах засоби вимірів загальногалузевого призначення розробляють і виготовляють відповідно до технічної документації, не всі вони зазнали метрологічної атестації по затвердженій програмі, не для кожного виду або типу засобу виміру є обґрунтований методика поверни.

При технічному переписі виявляють такі засоби вимірів, які не постачені експлуатаційною документацією, зокрема, методикою перевірки або ж сопро-вождены документацією, що викликає сумнів у своїй придатності. Засоби вимірів загальногалузевого призначення, «, що не мають технічної документації, а також свідчень, що гарантують надійність їх експлуатаційних властивостей, підлягають метрологічній атестації шляхом проведення іспитових або вимірювальних операцій, результати яких повинні вірогідно підтвердити їхні експлуатаційні характеристики, задані технічними вимогами.

Якщо підприємства-розроблювачі або виготовлювачі у свій час створили або поставили підприємству-замовникові засобу змін без належної гарантії їх експлуатаційних властивостей, і не мають можливості виконати метрологічну атестацію відповідно до вимог, необхідних для застосування цих засобів по призначенню, то атестація повинна бути виконана на ділянках метрологічної служби підприємства, де застосовують ці засоби. Підприємство-Замовник повинне виявити аналогічний підхід і до засобів вимірів міжгалузевого призначення

МЕТРОЛОГІЧНА АТЕСТАЦІЯ НЕСТАНДАРТИЗОВАНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРУ

Розробка, виготовлення й введення в експлуатацію нестандартизованих засобів вимірів на підприємстві засновані на розв'язку великого комплексу складних організаційно-методичних і науково-технічних завдань. Заключним етапом цієї роботи є метрологічна атестація засобів вимірів, що визначає їхні фактичні метрологічні властивості. По її результатах судять про якість розробки, виготовлення й придатності цих засобів вимірів для використання по призначенню.

Практично, поняття метрологічної атестації не є чимсь принципово новим стосовно іспитових або перевірочних операціям, покликаним засвідчити передбачувані характеристики засобів вимірів. Нерідко, за обсягом або складності виконання операції метрологічної атестації для одних засобів вимірів значно перевищують відповідні розділи випробувань яких-небудь інших засобів.

У той же час, трудомісткість перевірки складних сучасних засобів вимірів може бути незмірно вище тру доемкості метрологічної атестації більш простих •средств вимірів. Ціль таких процесів, як державні випробування загальнопромислових засобів вимірів (або їх етапів, що передбачають експериментальне підтвердження заданих метрологічних властивостей) або метрологічна атестація **нестандартизованих** засобів вимірів, або перевірка взагалі будь-яких засобів вимірів зводиться до встановлення досвідченим шляхом придатності засобів вимірів для використання по призначенню в нормованих умовах. Однак ці трудові процеси зручно йменувати по-різному, залежно від загального виду

засобів вимірів, характеру їх розробки й виготовлення. Так, для **нестандартизованих** засобів вимірів метрологічна атестація може розглядатися як заключний етап випробувань, що передбачає у випадку одержання позитивних результатів видачу свідчення встановленої форми. Необхідність чіткого регламентування порядку проведення метрологічної атестації (так само як і інших видів технічного огляду) в основному викликається складністю конструкції й технології виготовлення засобів вимірів, практикою створення багатьох типорозмірів засобів на межі існуючих науково-технічних можливостей.

Крім того, часто не виправдано спрощене відношення працівників підприємств до засобів вимірів не дозволяє вчасно й ретельно розробити технічні завдання, конструкторську й технологічну документацію на ці засоби, що негативно впливає не тільки на рівень техніко-економічних показників самих **нестандартизованих** засобів вимірів, але й тієї продукції, яку з їхньою допомогою контролюють.

Під метрологічною атестацією будь-якого засобу виміру розуміють дослідження засобу виміру, обране метрологічним органом для визначення його метрологічних властивостей.

Метрологічна атестація **нестандартизованих** засобів вимірів, по суті, полягає в проведенні організаційно-методичних і науково-технічних заходів щодо огляду засобу виміру з метою встановлення можливості його застосування відповідно до вимог технічного завдання, конструкторської й технологічної документації.

Ці заходи включають:

перевірку обсягів конструкторської й технологічної документації по затвердженому перелікові, а також факту проведення метрологічної експертизи;

вивчення результатів випробувань засобу виміру, передбачених конструкторською документацією перевірку наявності документів про приймальний контроль ОТК засобу виміру, виготовленого відповідно до затвердженої конструкторської й технологічної документації;

виконання експериментальних операцій для визначення всіх експлуатаційних, у тому числі метрологічних властивостей засобів вимірів, апробація методів і засобів перевірки;

виконання розрахунково-обчислювальних операцій для встановлення фактичних значень експлуатаційних властивостей засобів вимірів;

оформлення науково-технічного звіту або протоколу про проведення метрологічної атестації засобів вимірів і свідчення (при позитивних результатах метрологічної атестації) або відповідної оцінки в паспорті.

Програму метрологічної атестації становлять або погоджують фахівці метрологічної служби. Вони ж розробляють методики виконання вимірів, необхідні для визначення метрологічних властивостей засобів вимірів відповідно до затвердженої програми, якщо такі методики відсутні.

Нестандартизовані засоби вимірів, що підлягають метрологічній атестації, як правило, уводять у дію й пред'являють для проведення атестації працівники, що займалися розробкою, налагодженням або випробуваннями цих засобів. Такий порядок підвищує відповідальність фахівців за пред'явлення до мет-

рологічної атестації свідомо придатних до роботи засобів вимірів. Ці фахівці присутні й при виконанні експериментальних операцій метрологічної атестації, якщо важливо в аттестуємих засобів вимірів установити такі параметри як міцність, теплотривкість, безпека елементів конструкції і т.д.

Піддані метрологічної атестації засобу вимірів міжгалузевого й загальногалузевого призначень пред'являють ОТК для остаточного визначення їх якості, оформлення експлуатаційних документів і видачі дозволу на їхню експлуатацію.

Засобу вимірів вузькогалузевого й спеціального призначень органі метрологічної служби передають замовникам безпосередньо після проведення їх метрологічної атестації, якщо її результати задовольняють технічним вимогам, пропонованим до засобів вимірів плив технічним завданням.

Засобу вимірів спеціального призначення можуть бути піддані 'Метрологічної атестації в процесі аттестації методик виконання вимірів, що конкретно визначається самою методикою виконання вимірів.

Метрологічну атестацію засобів вимірів міжгалузевого або загальногалузевого призначень проводять відомчі або міжвідомчі комісії, затверджені у встановленому порядку, а засобів вимірів вузькогалузевого й спеціального призначень — фахівці метрологічних служб підприємств. Вони ж здійснюють метрологічну атестацію засобів вимірів міжгалузевого й загальногалузевого призначень, раніше введених в експлуатацію на підприємстві якщо вони не були атестовані на підприємстві-виготовлювачі й ці підприємства не в змозі були їх атестувати.

ЛЕКЦІЯ № 6 Виміру при виготовленні, контролі якості й випробуваннях продукції

Студент повинен

мати вистава:

- про призначення й обладнання засобів вимірів, застосовуваних при виготовленні, контролі якості й випробуваннях продукції;
- про правила технічного обслуговування й експлуатації засобів вимірів;

знати:

- принципи вибору засобів вимірів для контролю стабільності процесів виготовлення продукції, контролю якості й випробувань продукції;
- значення й роль вимірів, що обумовлюють виготовлення високоякісної продукції;

уміти:

- вибирати засобу вимірів для контролю стабільності технологічного процесу виготовлення продукції, контролю її якості й випробувань;
- застосовувати засобу вимірів для контролю умов зберігання, транспортування й експлуатації продукції.

Призначення, обладнання, принципи дії, схеми вибору й правила технічного обслуговування й експлуатації засобів вимірів, використовуваних при виготовленні, контролі якості й випробуваннях продукції. Засоби вимірів для контролю лінійних розмірів, взаємного розташування поверхонь, точності виготовлення й інших вимірів. Засоби вимірів для контролю умов зберігання, транспортування й експлуатації продукції. Оформлення результатів вимірів.

ЛЕКЦІЯ № 7 Нормативна й еталонна база в області технічних вимірів

Студент повинен

-мати вистава:

- про основні положення Державної системи забезпечення єдності вимірів (ЗЄВ);

знати:

- категорії й види нормативних документів (НД) вимірів, що обумовлюють єдність;

- основні вимоги документів державної системи забезпечення єдності вимірів, що визначають нормативну основу метрологічного забезпечення;

- способи вибору еталонних засобів вимірів при перевірці й способи побудови перевірочних схем;

уміти:

- визначати й аналізувати нормативні документи на засоби вимірів, застосовувані при контролі якості й випробуваннях продукції.

Державна система забезпечення єдності вимірів (ЗЄВ). Категорії й види нормативних документів по забезпеченню єдності вимірів. Державні, міжнародні, регіональні, міждержавні (ДСТУ) і національні стандарти (ДСТУ) в області метрологічного забезпечення, застосовувані у встановленому порядку. Правила й рекомендації із забезпечення єдності вимірів. Галузеві стандарти й системи стандартів підприємства по метрологічному забезпеченню.

Добір і аналіз нормативних документів по певних напрямках метрологічної діяльності й метрологічного забезпечення.

Метрологічний ланцюг передачі розміру одиниць фізичних величин. Еталон як засіб відтворення й зберігання розміру одиниці фізичної величини. Класифікація, призначення й застосування еталонів: державних, первинних, вторинних, спеціальних. Класифікація вторинних еталонів: еталон-копія, еталон порівняння, робочий еталон.

Еталонний засіб вимірів. Зразкова речовина, стандартний зразок. Класифікація по точності й місцю в метрологічному ланцюзі. Еталонні засоби в організації метрологічного забезпечення.

Визначення, структура, види, порядок розробки й твердження перевірочних схем. Перевірочні схеми в організації перевірки засобів вимірів. Вибір еталонного засобу вимірів при перевірці

Система відтворення одиниць фізичних величин і передачі інформації про їхні розміри всім без винятку засобам вимірів у країні становить технічну базу забезпечення єдності вимірів України.

Відповідно до основного рівняння виміру вимірювальна процедура зводиться до порівняння невідомого розміру фізичної величини з відомим, у якості якого виступає розмір відповідної одиниці Міжнародної системи. Відтворення одиниці являє собою сукупність операцій по матеріалізації одиниці фізичної величини з найвищою в країні точністю за допомогою державного еталона або вихідного робочого еталона. Розрізняють відтворення основних і похідних одиниць. Розміри одиниць можуть відтворюватися там же, де виконуються виміри (децентралізований спосіб), або інформація про них повинна передаватися із централізованого місця їх зберігання или виробництва (централізований спосіб). Децентралізоване відтворюються одиниці багатьох похідних фізичних величин. Основні одиниці зараз відтворюються тільки централізовано. Централізоване відтворення одиниць здійснюється за допомогою спеціальних технічних засобів, названих еталонами. Засобу вимірів, призначені для відтворення й зберігання одиниць вимірів, перевірки й градуировки приладів, діляться на *еталони до робочі еталони*.

Еталон одиниці фізичної величини (Measurand! Managa) — засіб вимірів або комплекс засобів вимірів, призначених для відтворення й зберігання одиниці й передачі її розміру нижчестоящим за перевірочною схемою засобам вимірів, і затверджених у якості еталона у встановленому порядку. Еталон повинен мати трьома взаємозалежними властивостями: незмінністю, відтворюваністю й сличаємостью.

Незмінність — властивість еталона втримувати незмінним розмір відтвореної їм одиниці фізичної величини протягом тривалого інтервалу часу.

Відтворюваність — можливість відтворення одиниці фізичної величини з найменшою погрішністю для існуючого рівня розвитку вимірювальної техніки.

Сличаємость — можливість звірення з еталонами інших засобів вимірів, нижчестоящих за перевірочною схемою, у першу чергу вторинних еталонів, з найвищою точністю для існуючого рівня розвитку техніки вимірів.

Еталони класифікують залежно від призначення, яке припускає оснащення метрологічної служби первинними, спеціальними, державними, національними, міжнародними й вторинними еталонами. Є й інші позначення: груповий еталон, вихідний еталон, одиночний еталон.

Первинний еталон забезпечує відтворення одиниці фізичної величини з найвищою в країні точністю. Первинні еталони — унікальні засоби вимірів, що часто представляють собою найскладніші вимірювальні комплекси. Вони є технічною основою ЗЄВ й бувають спеціальними, національними (раніше — державні) і міжнародними.

Спеціальний еталон забезпечує відтворення одиниці в особливих умовах і може замінити первинний еталон. Він служить для відтворення одиниці фізичної величини в умовах, коли первинний еталон не можна використовувати, і пряма передача розміру одиниці від первинного еталона з необхідною точністю технічно нездійсненна (наприклад, на надвисоких частотах).

Первинні й спеціальні еталони є вихідними для країни, їх затверджують у якості національних.

Державний — первинний (або спеціальний) еталон, визнаний розв'язком уповноваженого Державного органа в якості вихідної на території держави. Державні еталони створюють, зберігають і застосовують центральні метрологічні наукові інститути країни. Державні еталони одиниць фізичних величин — національне надбання й тому повинні зберігатися в метрологічних інститутах у спеціальних еталонних приміщеннях, де підтримується строгий режим вологості, температури, тиску, вібрації й іншим параметрам.

Національний — еталон, визнаний офіційним розв'язком у якості вихідного для держави. В Україні національним еталоном є державний еталон. Для забезпечення єдності вимірів фізичних величин у міжнародному масштабі велике значення мають міжнародні звірення державних (національних) еталонів. Такі звірення допомагають виявити систематичні погрішності відтворення одиниці фізичної величини державними еталонами, установити, наскільки державні еталони відповідають міжнародному рівню, і намітити шляхи вдосконалювання державних ЕІШЮНОВ.

Міжнародний — еталон, прийнятий за міжнародною згодою в якості міжнародної основи для узгодження з ним розмірів одиниць величини, відтворених і збережених національними еталонами.

Вторинний еталон — еталон, значення якого встановлюють по первинному еталону. Вторинні еталони є частиною підлеглих засобів зберігання одиниць величин і передачі їх розмірів і створюються якщо необхідно організувати перевірочні роботи, а також забезпечити схоронність і найменше зношування державного еталона. По призначенню вторинні еталони ділять на еталони-свідки, еталони-копії, еталони порівняння й

робітники еталонів-еталон-свідок (*ОурИсШе зІансІагсІ*) служить для перевірки схоронності й незмінності державного еталона й заміни його у випадку псування або втрати. Відомо, що в цей час тільки еталон кілограма має еталон-свідок.

Еталон-Копія призначений для передачі розміру одиниці робочим еталонам. Його створюють якщо буде потреба проведення великої кількості перевірочних робіт з метою запобігання первинного або спеціального еталона від передчасного зношування. Еталон-Копія являє собою копію державного еталона тільки по метрологічному призначенню.

Еталон порівняння (*Тганх/ег \$ІансІагс*) застосовується для взаємного звірення еталонів, які по тем або іншим причинам не можна безпосередньо порівнювати один з одним (наприклад, міжнародні звірення еталонів).

Передача розміру одиниці являє собою приведення розміру одиниці фізичної величини, збереженої средством, що поверяємим, вимірів, до розміру одиниці, відтвореної або збереженої еталоном. Передача розміру здійснюється при звіренні цих одиниць. При передачі інформації про розмір одиниць великому парку засобів вимірів доводиться прибігати до багатоступінчастої процедури. У якості методів передачі інформації про розмір одиниць використовують методи безпосереднього звірення (тобто звірення заходу із заходом або показань двох приладів), а також звірення за допомогою компаратора. Безпосереднє звірення застосовують, як правило, для менш точних заходів. Безпосередньо звіряти можна тільки штрихові заходи довжини (ггачеика, брускопыс метри, рулсиш), заходу місткості (вимірювальні циліндри, піпетки, мірні колби та ін.). Для більш точної перевірки використовують прилади порівняння — компарирующие обладнання. Найбільше часто застосовують наступні компаратори: зразкові ваги різних розрядів (при перевірці гир), мости постійного й змінного струму (при звіренні заходів опору й ЭДС нормальних елементів).

Передача розмірів одиниць фізичних величин від еталонів робочим заходам і вимірювальним приладам здійснюється е допомогою робочих еталонів.

Робочий еталон (донедавна в Україні замість терміна «робочі еталони» використовували нерегламентоване поняття «зразкові засоби вимірів») — захід, измерителный прилад або перетворювач, затверджені в якості зразкових і службовці для перевірки по них інших засобів вимірів. Робочі еталони призначені для перевірки найбільш точних робочих засобів вимірів і їх застосовують у багатьох територіальних метрологічних центрах. Робочі еталони при необхідності ділять на 1-й, 2-й і наступні розряди, що визначають порядок їх супідрядності відповідно до перевірконої схеми. Різним видам вимірів, виходячи з вимог практики, установлюють різне число розрядів робочих еталонів, обумовлених відповідними стандартами на перевірконі схеми для даного виду вимірів.

На кожному щаблі передачі інформації про розмір одиниці точність губиться в 3-5 раз (іноді в 1,25-10 раз). Виходить, при багатоступінчастій передачі еталонна точність не доходить до споживача. Тому для високоточних засобів вимірів число щаблів може бути скорочене аж до передачі їм інформації безпосередньо від робочих еталонів 1-го розряду.

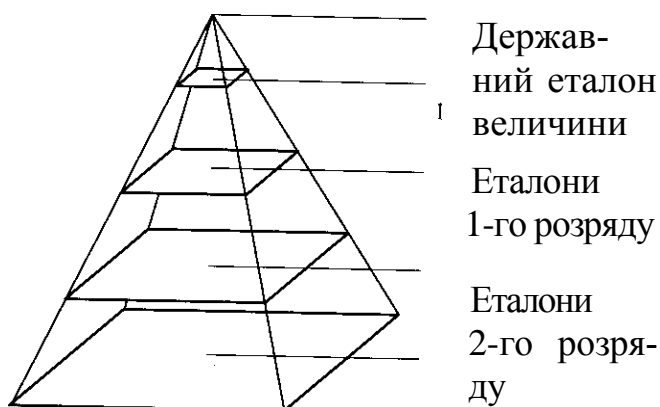
Перевірочна схема — затверджений у встановленому порядку документ, що встановлює засоби, методи й точність передачі розмірів одиниць від державного еталона робочим засобам вимірів. Перевірочні схеми ділять на державні й локальні.

Державні перевірконі схеми регламентуються національними стандартами й поширюються на всі засоби вимірів даного виду. На чолі цієї схеми перебуває державний еталон. Державні перевірконі схеми закладаються в основу національних стандартів.

Локальні перевірконі схеми призначені для метрологічних служб Державних органів керування і юридичних осіб. Усі локальні схеми повинні відповідати вимогам соподчи-ненности, яка визначена державною перевірконою схемою. Локальні перевірконі схеми поширюються на засоби вимірів, що підлягають перевіркам відповідній метрологічною службою.

Перевірочні схеми складаються із креслення й текстової частини. На кресленні вказують: найменування засобів вимірів, діапазони значень фізичних величин, позначення й значення погрішностей, найменування методів перевірки. Текстова частина складається із вступної частини й пояснень до елементів перевірочної схеми.

Структуру системи передачі розміру одиниці величини образно можна



представити у вигляді піраміди (мал.), у підставі якої перебуває сукупність робочих засобів вимірів; вершину займає державний еталон; на проміжних площинах — робочі еталони різних розрядів. Від підстави до вершини зменшується погрішність засобів вимірів, росте їхня вартість, знижується «тираж» виготовлення. Процес передачі розміру одиниць відбувається при перевірці й калібруванню засобу вимірів. Перевірка й калібрування являють собою набір операцій, виконуваних з метою визначення й підтвердження відповідності метрологічною службою встановленим технічним вимогам.

В Україні створена потужна еталонна база, що полягає на 2005 р. з 1176 державних первинних і спеціальних еталонів. Однак пряма передача розмірів одиниць величин від еталонів утруднена через їхню велику кількість засобів, що перебувають у роботі, вимірів. Тому на практиці використовують проміжні категорії засобів вимірів. Ними є робочі засоби виміру. *Робітниками* називають засобу вимірів, які застосовують для вимірів, не пов'язаних з передачею розміру одиниць. В ХХІ в. — столітті інформаційних технологій і вимірів, метрологія стала сферою не тільки наукової, організаційної й виробничої, але й масовою, побутовою, публічною діяльністю. І перед нею коштує грандіозне завдання підвищення загальної метрологічної культури суспільства. Російська Федерація може й повинна стати провідною країною в цій області.

ЛЕКЦІЯ № 8 Випробування й підтвердження відповідності засобів вимірів

Студент повинен
мати вистава:

- про завдання проведення державних випробувань засобів вимірів;
- про державний реєстр засобів вимірів;

знати:

- вимоги до іспитових центрів випробувань засобів вимірів;
- порядок проведення випробувань засобів вимірів;

уміти:

- підготовляти документи для проведення підтверджень відповідності засобів вимірів.

Основні положення системи випробувань і твердження типів засобів вимірів, що підлягають застосуванню в сферах поширення державного метрологічного контролю й нагляду (ДМКН). Вимоги до іспитових центрів випробувань засобів вимірів. Порядок проведення випробувань засобів вимірів і оформлення їх результатів. Державний реєстр засобів вимірів.

Ціль підтвердження відповідності засобів вимірів і її основні функції.

Система підтвердження відповідності засобів вимірів, що підлягають застосуванню поза поширенням сфери ДМКН, основні положення й порядок проведення робіт.

Державні випробування засобів вимірів

В області дії державного метрологічного контролю й нагляду засобу вимірів зазнають обов'язковим випробуванням з наступним твердженням типу засобів вимірів. *Твердження типу* засобу виміру — правовий акт ГМС, що полягає у визнанні типу засобу виміру придатним у країні для серійного випуску.

Розв'язок про твердження типу засобів вимірів ухвалюється агентством по технічному регулюванню й метрології й засвідчує сертифікатом про твердження типу засобів вимірів. Термін дії цього сертифіката встановлюється при його видачі агентством по технічному регулюванню й метрології. Затверджений тип засобів вимірів вноситься до Державного реєстру засобів вимірів, який веде агентство по технічному регулюванню й метрології.

Крім того, кожний екземпляр засобів вимірів даного типу при випуску з виробництва або ремонту, при ввозі по імпорту й експлуатації піддають перевірці (контролю метрологічних і інших характеристик) в органах Державної метрологічної служби. Продажі й видача напрокат таких засобів вимірів можуть здійснюватися тільки після їхньої перевірки метрологічними службами. Ці положення повністю ставляться до вимірювальних каналів систем, використовуваним у сферах поширення державного метрологічного контролю й нагляду. Будь-яка діяльність по виготовленню, ремонті, продажі й прокату засобів вимірів, застосовуваних у сферах поширення державного метрологічного контролю й нагляду, може здійснюватися лише при наявності відповідної ліцензії.

Випробування засобів вимірів для твердження їх типу проводяться Державними метрологічними центрами випробувань засобів вимірів (ГЦИ) агентства по технічному регулюванню й метрології, які акредитуються й реєструються в *Державному реєстрі засобів вимірів*. Правила проведення випробувань засобів вимірів з метою твердження типу встановлено в ПР 50.2.009-94

ЗЄВ. Порядок проведення випробувань і твердження типу засобів вимірів, МІ 2146-95 ЗЄВ. Порядок розробки й зміст програм випробувань засобів вимірів для цілей твердження їх типу, ПР 50.2.010-94 ЗЄВ. Вимоги до державних центрів випробувань і порядок їх акредитації, ПР 50.2.011-94 ЗЄВ. Порядок ведення Державного Реєстру засобів вимірів.

Державний метрологічний центр випробувань засобів вимірів має власну організаційну структуру, персонал, іспитове встаткування, засоби вимірів, приміщення, а також умови, що забезпечують проведення випробувань засобів вимірів. Для кожного співробітника засобів вимірів установлені вимоги до рівня утвору, професійній підготовці, технічним знанням і досвіду роботи в області випробувань засобів вимірів. Кожна одиниця іспитового встаткування й засобів вимірів реєструється в ГЦИ засобів вимірів. Іспитове встаткування, необхідне для проведення випробувань в акредитованій області, повинне бути атестоване й мати відповідний документ. Засоби вимірів, необхідні для проведення випробувань в акредитованій області, повинні мати свідчення про перевірку або сертифікат про калібрування, а стандартні зразки речовин і матеріалів — відповідати вимогам відповідних нормативних документів по забезпеченню якості вимірів.

Розв'язком агентства по технічному регулюванню й метрології в якості ГЦИ засобів вимірів можуть бути акредитовані й інші метрологічні організації.

Для проведення випробувань зразки засобів вимірів з відповідними нормативними й експлуатаційними документами повинні бути представлені у відповідні метрологічні організації у встановленому агентством по технічному регулюванню й метрології порядку.

Відповідності засобів вимірів затвердженому типу на території України контролюється органами Державної метрологічної служби по місці розташування виготовлювачів або користувачів.

На засіб вимірів затвердженого типу й на експлуатаційні документи, що супроводжують кожний екземпляр засобу виміру, наноситься знак твердження типу засобів вимірів установленої форми. Інформація про твердження типу засобів вимірів і розв'язок про його скасування публікується в офіційних виданнях агентства по технічному регулюванню й метрології.

Порядок проведення випробувань і розв'язок про твердження типу ухвалюється агентством по технічному регулюванню й метрології за результатами обов'язкових випробувань- і

включає:

- випробування для твердження типу;
- ухвалення рішення про твердження типу, його державну реєстрацію й видачу сертифіката про твердження типу;
- випробування на відповідність затвердженому типу при контролі відповідностей засобу вимірів затвердженому типу;
- визнання твердження типу або результатів випробувань типу засобу вимірів, проведених компетентними організаціями закордонних країн;
- інформаційне обслуговування споживачів вимірювальної техніки.

При випробуваннях перевіряється відповідність технічної документації й технічних характеристик засобів вимірів вимогам технічного завдання, технічних умов, що й поширюються на них нормативних і експлуатаційних документів, що включають методики перевірки засобів вимірів. При позитивних результатах випробувань агентство по технічному регулюванню й метрології затверджує тип засобу вимірів і видає сертифікат про твердження типу. Засоби вимірів, на які видані сертифікати про твердження типу, реєструють у Державному реєстрі.

Для випробування засобу виміри надаються:

- зразок (зразки) засобу виміру;
- програма випробувань типу зразка, затверджена ГЦИ засобів вимірів;
- технічні умови, якщо передбачена їхня розробка;
- експлуатаційні документи, а для засобів вимірів, увезених у Україну,

комплект документації фірми-виготовлювача російською мовою, прикладений до засобу, що поставляється, виміру;

- нормативний документ по перевірці при відсутності роздязнула «Методика перевірки» в експлуатаційній документації. Випробування проводять при:

- наявності інформації від споживачів про погіршення якості, що випускаються або імпортованих засобів вимірів;

- внесенні в конструкцію або технологію виготовлення засобів виміри змін, що впливають на їхні нормовані метрологічні характеристики;

- витіканні терміну дії сертифіката про твердження типу.

Для випробування на відповідність засобу виміру затвердженому типу надають наступні документи:

- копію сертифіката про твердження типу;

- копію акту випробувань засобу виміру для твердження їх типу й акт останніх випробувань на відповідність засобу виміру затвердженому типу, якщо вони проводилися;

- експлуатаційні документи;

- технічні умови.

У сферах дії державного метрологічного контролю й нагляду юридичні й фізичні особи, що роблять засоби вимірів або випускаючі після ремонту засоби, що ввозять, вимірів, що й використовують їх з метою експлуатації, прокату або продажу, зобов'язані вчасно представляти засоби вимірів на перевірку (нагадаємо, *що перевірка — це визначення спеціальним органом метрологічної служби метрологічних характеристик засобу виміру й установлення його придатності до застосування за результатами контролю їх відповідності пропонуваним вимогам*).

Аналіз сфер поширення державного метрологічного контролю й нагляду показує, що більш 50 % парку засобів вимірів повинні зазнати перевірки. Враховуючи, що на території України експлуатується близько 1,5 млрд. засобів вимірів, щорічна потреба в перевірці становить 750-1200 млн. одиниць засобів вимірів. Положення ускладнюється тим, що останнім часом цей парк інтенсив-

но поповнюється новими типам приладів, використовуваних у сфері державного метрологічного контролю й нагляду, — електричними й газовими лічильниками, побутовими лічильниками холодної й гарячої води, теплосчетчиками й т.п. Тому органі ГМС не в змозі забезпечити перевірку тільки самотужки.

Питання перевірки засобів вимірів одержали пояснення в ПР 50.2.006-94 ЗЄВ. Порядок проведення перевірки засобів вимірів, МІ 1837-93 ЗЄВ. Типове положення про контрольно-перевірочний пункт територіального органа агентства по технічному регулюванню й метрології, МІ 2284-94 ЗЄВ. Документація перевірочних лабораторій, ПР 50.2.007-94 ЗЄВ. Поверительные клейма, ПР 50.2.012-94 ЗЄВ. Порядок атестації поверителів засобів вимірів, МІ 2273-93 ЗЄВ. Області використання засобів вимірів, що підлягають перевірці, МІ 2322-95 ЗЄВ. Типові норми часу на перевірку засобів вимірів.

Перевірки засобів вимірів — дуже давній винахід. Із часів Київської Русі є свідчення про існування еталонів. Наприклад «золотий пояс» великого князя Святослава Ярославовича (1073-1076) рівнявся 108 див, причому про нього сказано: «Ре мераоснование». Метрологічний порядок був представлений в «Статуті про церковні суди й про людей і про мірила торговельних». Там відзначене, що передані на зберігання єпископові заходу належало «дотримувати без капості, ні умалювати, ні умножувати й на всякий рік взвешувати». Передбачалися досить серйозні покарання за псування засобів вимірів («стратити близько смерті», іноді з конфіскацією майна). Таким чином, уже в ті часи проводилася операція, яка пізніше стала називатися перевіркою.

З XVI в. до нас дійшли відомості про існування «казенних», «друкованих», «орлених» заходів, які розсилалися з Москви. Діяли «Номерні хати» — великі установи по перевірці. «По-мірний голова» посилав «Целовальников» (контролерів) по Москві й « по більших вулицях і по всіх слободах хресцом» для спостереження за правильністю заходів. Шинкарський голова давав зобов'язання: «Винних цебер і кухлів і чарок і напівкухлів не убавлювати і не перименювати». Покупцям надавалося право зважувати товар самостійно або за допомогою вибраної третьої особи: «А пу-довщиком і їх робятам у купця й у продавця їх товару не весити, а важать товар свій самі або кого собі третього излюбят».

Історія показує, що в Росії державна функція «забезпечення єдності вимірів» завжди виконувалася на високому рівні. Так, німець-опричник Г. Штаден у своїх «Записках» говорить про Івана Грозному: «Нинішній великий князь досягся того, що по всій Російській землі, по всій його державі одна віра, одна вага, один захід».

Порядок вистави засобів вимірів на перевірку встановлюється агентством по технічному регулюванню й метрології. Переліки груп засобів вимірів, що підлягають перевірці, затверджуються агентством по технічному регулюванню й метрології. Перевірки здійснюється згідно із правилами ПР 50.2.006-94 ЗЄВ. Порядок проведення перевірки засобів вимірів.

За рішенням агентства по технічному регулюванню й метрології право перевірки засобів вимірів може бути надане акредитованим метрологічним службам юридичних осіб, які функціонують відповідно до чинного законодав-

ства й нормативними документами по забезпеченню єдності вимірів. Порядок акредитації метрологічних служб визначається Урядом України. Перевірочна діяльність, здійснювана акредитованими метрологіческимислужбами юридичних осіб, контролюється органами ГМС по місці розташування юридичних осіб. Відповідальності за неналежне виконання перевірочних робіт і недотримання вимог нормативних документів несе орган ГМС або юридична особа, метрологічною службою якого виконані перевірочні роботи засобів вимірів.

Відзначимо, що перевірка засобів вимірів здійснюється фізичною особою, атестованим у якості довірителя органом ГМС відповідно до ПР 50.2.012-94. Поверитель (фізична особа) — співробітник органа ГМС або юридичної особи, акредитованого на право перевірки, що безпосередньо робить перевірку засобів вимірів і минуле атестацію у встановленому порядку.

Результат перевірки — підтвердження придатності засобів вимірів до застосування або визнання їх непридатними до застосування. У першому випадку на засіб виміру й (або) його технічну документацію наноситься відбиток поверительного клейма й (або) видається *Свідчення про перевірку*. У другому випадку відбиток поверительного клейма й (або) свідчення про перевірку анулюється й виписується *Свідчення про непридатність*. *Поверительное клеймо* — знак установленної форми, наносимий на засіб виміру, що й визнає його придатним до застосування. Правила використання поверительных клейм застережено в ПР 50.2.007-94 ЗЄВ. Поверительные клейма.

Поверительные клейма повинні містити наступну інформацію:

- знак агентства по технічному регулюванню й метрології (ще є клейма зі знаком ДСТУу Росії);
- УКРАЇНИ — агентства по технічному регулюванню й метрології України;
- умовний шифр органа ГМС;
- дві останні цифри, що відзначають рік застосування клейма;
- індивідуальний знак поверителя (одна з букв, узятих з російського, латинського або грецького алфавіту).

При виконанні перевірочних робіт на території окремого регіону з виїздом на місце експлуатації засобів вимірів орган виконавчої влади цього регіону зобов'язано виявляти поверителям сприяння, у тому числі:

- надавати їм відповідні приміщення;
- забезпечувати їхнім допоміжним персоналом і транспортом
- сповіщати всіх власників і користувачів засобів вимірів про час перевірки.

Основною метрологічною характеристикою, обумовленої при перевірці засобу виміру, є *погрішність*, яка перебуває на підставі порівняння показань, знятих із засобу виміру й робочого еталона, такими способами:

- зв'язкам (методами протиставлення або заміщення) з точним заходом за допомогою компарируюшого приладу; загальним для цих методів перевірки є вироблення сигналу про наявність різниці значень порівнюваних величин; якщо сигнал добром зразкового заходу буде зведений до нуля, то реалізується нульовий метод виміру;

- методом безпосереднього порівняння вимірюваних величин і величин, відтворених робочими еталонами необхідного розряду або класу точності; значення величин на виході заходів вибираються рівними відповідним до оцінок шкали приладу; найбільша різниця між результатом виміру й відповідним йому розміром еталона є в цьому випадку основною погрішністю приладу;

- калібруванням, при якому з більш точним заходом звіряє лише один захід з їхнього набору або одна з оцінок шкали багатозначного заходу, а дійсні розміри інших заходів визначаються шляхом їхнього взаємного порівняння в різних комбінаціях на приладах порівняння й при подальшій обробці результатів вимірів.

Засоби вимірів піддають первинної, періодичної, позачерговий, інспекційної, а також експертної перевіркам.

Первинна перевірка проводиться при випуску засобу виміру або після ремонту, а також при ввозі їх у Росію. Такій перевірці, як правило, зазнає кожний екземпляр засобів вимірів.

Періодичній перевірці підлягають засобу вимірів, що перебувають в експлуатації або на зберіганні, через певні інтервали часу. Таку перевірку повинен проходити кожний екземпляр засобу вимірів. Виключення можуть становити засоби вимірів, що перебувають на тривалому зберіганні. Перший межповерочний інтервал установлюють при твердженні типу засобу вимірів, а наступні визначають на основі статистики відмов і економічних показників.

Позачергову перевірку проводять при експлуатації й (або) зберіганні засобу виміру до настання строку його періодичної перевірки в случаях• ушкодження знака поверительного клейма або втрати Свідчення про перевірку;

- уведення засобу виміру в експлуатацію після тривалого зберігання (більше строку періодичної перевірки);
- проведення повторної юстировки або настроювання, відомому або передбачуваному ударному впливі на засіб виміру або незадовільній його роботі;
- відправлення споживачеві засобів вимірів, не реалізованих після закінчення строку, рівного половині строку між періодичними перевірками;
- застосування засобів вимірів у якості комплектуючих після закінчення строку, рівного половині строку між періодичними перевірками.

Інспекційну перевірку проводять із метою виявлення придатності до застосування засобу виміру при здійсненні державного метрологічного нагляду. Інспекційну перевірку можна проводити не в повному обсязі, передбаченому методикою перевірки. Результати перевірки відбиваються в акті.

Експертну перевірку проводять при виникненні спірних питань по метрологічних характеристиках, справності засобів вимірів і придатності їх до використання. Перевірки здійснюють органі ГМС на письмовому вимогу зацікавлених осіб.

При перевірці важливий вибір оптимального співвідношення між, що допускаються погрішностями еталонного засобу, що й поверяемого засобу виміру. Як правило, це співвідношення ухвалюється 1:3, коли при перевірці вводять виправлення на показання робочих засобів вимірів. Якщо виправлення не

вводять, то по погрішностях еталонні засоби вимірів вибираються зі співвідношення 1:5.

Для правильної передачі розмірів одиниць від еталонів до робочих засобів вимірів становлять *перевірочні схеми*, що встановлюють метрологічні супідрядності державного еталона, розрядних еталонів і робочих засобів вимірів. Державні перевірочні схеми поширюються на всі засоби вимірів.

Локальні перевірочні схеми призначені для метрологічних органів відомств, підлеглих їм підприємств і конкретних підприємств. Усі локальні перевірочні схеми повинні відповідати вимогам співвідпорядкованості, установленним державної перевірочною схемою.

ЛЕКЦІЯ № 9 Організація нагляду за метрологічним забезпеченням єдності вимірів

Студент повинен
мати вистава:

- про мети й завдання державного метрологічного нагляду;
- про сфери застосування державного й відомчого нагляду;
- про види державного нагляду;

знати:

- порядок проведення й оформлення державного нагляду.

Види державного метрологічного контролю й нагляду (ДМКН). Основні завдання ДМКН. Сфери поширення ДМКН. Державний нагляд за станом і застосуванням засобів вимірів, еталонами, атестованими методиками виконання вимірів і дотриманням метрологічних правил. Права державних інспекторів при виявленні порушень положень Закону України « Про забезпечення єдності вимірів» і порушень метрологічних норм і правил.

Об'єкти й форми метрологічного нагляду. Організація й порядок проведення метрологічного контролю й нагляду. Зміст нагляду. Нормативне забезпечення метрологічного нагляду. Оформлення й реалізація результатів метрологічного нагляду.

Неможливо представити сферу економіки, у якій не зустрічалися б терміни «контроль» і «нагляд» або у своєму первозданному виді, або з різними прикметниками: державний, інспекційний, інструментальний та ін. Не є виключенням і сфера метрології. У Законі України « Про забезпечення єдності вимірів» використовуються терміни: *метрологічний контроль, метрологічний нагляд, державний метрологічний контроль і державний метрологічний нагляд*. У законі не даються окремо їхні визначення, але до кожного терміна приписуються цілком певні дії, характеризуємі цим терміном.

По змісту контроль і нагляд ідентичні. Відмінність полягає в повноваженнях суб'єктів, їх здійснюючих. *Контроль* - порівняння фактичних (поточ-

них) значень характеристик контролюваного об'єкта з їхніми заданими значеннями. *Метрологічний контроль* — порівняння фактичних (поточних) значень метрологічних характеристик контролюваного об'єкта з їхніми заданими значеннями. *Нагляд* — спостереження за виконанням суб'єктом обов'язкових вимог (приписань). *Метрологічний нагляд* — спостереження за виконанням суб'єктом обов'язкових метрологічних вимог (приписань).

Здійснюють державний метрологічний контроль і нагляд суб'єкти метрології, до яких ставляться: Державна метрологічна служба України; метрологічні служби федеральних органів виконавчої влади і юридичних осіб; міжнародні метрологічні організації.

Загальні відомості

Державний метрологічний контроль і нагляд, здійснювані з метою перевірки дотримання метрологічних правил і норм, поширюються на життєво важливі для держави сфери діяльності, перераховані в Законі України «Про забезпечення єдності вимірів».

Існують різні шляхи здійснення метрологічного контролю й нагляду метрологічними службами юридичних осіб, наприклад такі, як:

- калібрування засобів вимірів
- нагляд за станом і застосуванням засобів вимірів, атестованими методиками виконання вимірів, еталонами одиниць величин, застосовуваними для калібрування засобів вимірів, дотриманням метрологічних правил і норм, нормативних документів по забезпеченню єдності вимірів;
- видача обов'язкових приписань, спрямованих на запобігання, припинення або усунення порушень метрологічних правил і норм;
- перевірка своєчасності вистави засобів вимірів на випробування з метою твердження типу засобів вимірів, а також на перевірку й калібрування.

Установлені законом «Про забезпечення єдності вимірів» перевірки проводяться на підприємствах, діяльність яких ставиться до сфер поширення державного метрологічного контролю й нагляду.

Основними завданнями перевірок є:

- визначення відповідності засобів, що випускаються, вимірів затвердженому типу;
- визначення стану й правильності застосування засобів вимірів, у тому числі еталонів, застосовуваних для перевірки засобів вимірів;
- визначення правильності використання атестованих МВВ;
- контроль дотримання метрологічних правил і норм.

Сфери поширення державного метрологічного контролю й нагляду

Державний метрологічний контроль і нагляд, здійснювані з метою перевірки дотримання метрологічних правил і норм, поширюється на строго обмежені сфери (їх 23), об'єднані в 10 напрямків:

- охорону здоров'я, ветеринарію, охорону навколишнього середовища, забезпечення безпеки праці;

- торговельні операції й взаємні розрахунки між покупцем і продавцем, у тому числі на операції із застосуванням ігрових автоматів і обладнань;
- державні облікові операції;
- забезпечення оборони держави;
- геодезичні й гідрометеорологічні роботи
- банківські, податкові, митні й поштові операції;
- виробництво продукції, що поставляється по контрактах для державних потреб відповідно до законодавства України;
- випробування й контроль якості продукції з метою визначення відповідності обов'язковим вимогам національних стандартів України;
- виміру, проведені з доручення органів судна, прокуратури, арбітражного суду, державних органів керування України;
- реєстрацію національних і міжнародних спортивних рекордів.

Аналізуючи зазначений перелік, слід зазначити що: перелік очолюється невиробничими сферами, невірогідність вимірів у цих сферах може мати дуже серйозні наслідки — погрозу безпеки (охорона здоров'я, охорона навколишнього середовища, забезпечення оборони держави, випробування й контроль при обов'язковій сертифікації продукції), а також більші фінансові втрати (торговельні, банківські операції) для населення й країни в цілому. Нормативними актами республік у складі України, автономних областей, автономних округів, країв, областей, міст Москви й Санкт-Петербурга державний метрологічний контроль і нагляд можуть бути поширені й на інші сфери діяльності.

Види державного метрологічного контролю й нагляду й сфери його поширення

1. Державний метрологічний контроль і нагляд здійснюються Державною метрологічною службою агентства по технічному регулюванню й метрології України.

Державний метрологічний контроль і нагляд містить у собі роботи зі створення й ефективної експлуатації технічних засобів вимірів і дотриманню метрологічних правил і норм, що поширюються на багато видів економічної діяльності. У рамках державного метрологічного контролю й нагляду засобу вимірів зазнають обов'язковим випробуванням з наступним твердженням їх типу

2. Основні принципи й правила забезпечення метрологічного контролю встановлюються міжнародним документом Міжнародної організації законодавчої метрології (МД №16 МОЗМ «Принципи забезпечення метрологічного контролю»). У відповідності ж зі ст. 12 закону України « Про забезпечення єдності вимірів» *державний метрологічний контроль включає:*

- твердження типу засобів вимірів;
- перевірку засобів вимірів, у тому числі еталонів;
- ліцензування діяльності юридичних і фізичних осіб по виготовленню, ремонті, продажі й прокату засобів вимірів.

Вибір стратегії в організації й проведенні метрологічного контролю й нагляду здійснюється посадовими особами метрологічних служб, які мають можливість при обмежених метрологічних ресурсах використовувати політику обмеженого втручання в процеси виготовлення й експлуатації. При цьому зако-

нодавча метрологія, забезпечуючи єдність вимірів, повинна основна увага приділяти питанням «дотримання регламентів», а не «наданню послуг».

В остаточному підсумку обсяг метрологічного контролю в кожному конкретному випадку порівнюється з вимогами чинного законодавства України при погрозі, що постійно зберігається, застосування юридичних санкцій посадовими особами, що здійснюють метрологічний нагляд.

3. Державний метрологічний нагляд здійснюється:

- за випуском, станом і застосуванням засобів вимірів, атестованими методиками виконання вимірів, еталонами одиниць фізичних величин, дотриманням метрологічних правил і норм на підприємствах, в організаціях і установах незалежно від їхньої підпорядкованості й форм власності у вигляді перевірок випуску, стану й застосування засобів вимірів, еталонів і дотримання інших метрологічних правил і норм;

- за кількістю товарів, відчужуваних при здійсненні різних торговельних операцій; даний вид метрологічного нагляду виконується з метою визначення маси, обсягу, витрати або інших величин, що характеризують кількість цих товарів; порядок проведення зазначеного виду державного метрологічного нагляду встановлюється агентством по технічному регулюванню й метрології відповідно до законодавства України;

- за кількістю фасованих товарів в упакуваннях будь-якого виду при їхній розфасовці й продажу. Нагляд здійснюється в тих випадках, коли вміст упакування не може бути змінене без її розкриття або деформації, а маса, обсяг, довжина, площа або інші величини, що вказують кількість товару, що втримується в упакуванні, позначені на впакуванні. Порядок проведення зазначеного виду державного метрологічного нагляду встановлюється агентством по технічному регулюванню й метрології відповідно до законодавства України.

Державний метрологічний нагляд за випуском, станом і застосуванням засобів вимірів,

атестованими методиками виконання вимірів, еталонами й дотриманням метрологічних правил і норм

Такий вид метрологічного нагляду проводиться відповідно до правил ПР 50.2.002-94 ЗЄВ. Порядок здійснення державного метрологічного нагляду за випуском, станом і застосуванням засобів вимірів, атестованими методиками виконання вимірів, еталонами й дотриманням метрологічних правил і норм. Державний метрологічний нагляд здійснюється на підприємствах, в організаціях і установах незалежно від їхньої підпорядкованості й форм власності у вигляді перевірок випуску, стану й застосування засобів вимірів, еталонів і дотримання інших метрологічних правил

Згідно з порядком, установленим агентством по технічному регулюванню й метрології, *державний метрологічний нагляд за випуском, станом і застосуванням засобів вимірів* включає наступні операції:

- перевірку дотримання основних правових і юридичних вимог при випуску засобів вимірів, наприклад, наявність атестатів акредитації на право проведення перевірок, наявність затвердженої у встановленому порядку конструкторської й технологічної документації й т.п.;

- перевірку відповідності засобів, що випускаються, затвердженому типу;
- перевірку дотримання метрологічних вимог до технічних засобів, використовуваних при випуску засобів вимірів
- перевірку дотримання метрологічних вимог до процедур випробувань засобів вимірів, у тому числі виконання вимог документів, що регламентують порядок випробувань засобів вимірів і їх перевірку;
- перевірку наявності еталонів, необхідних для первинної перевірки: засобів вимірів, вимог до процедури перевірки еталонів і т.д.

Державний метрологічний нагляд за атестованими методиками виконання вимірів роблять для забезпечення точно сти результатів вимірів і вірогідності результатів контролю й випробувань (відомість до раціонального мінімуму ймовірності помилкових розв'язків за результатами вимірів, контролю й випробувань).

Розглянутий метрологічний нагляд включає:

- контроль повноти відомостей про МВВ;
- перевірку виконання вимоги про обов'язкову атестацію;
- перевірку дотримання встановленого порядку й процедур атестації

МВВ.

До основних завданням державного метрологічного контролю й нагляду за дотриманням метрологічних правил і норм відносять:

- визначення відповідності засобів, що випускаються, вимірів затвердженому типу;
- визначення стану й правильності застосування засобів вимірів, у тому числі еталонів, застосовуваних для перевірки засобів вимірів;
- визначення правильності використання атестованих методик виконання вимірів;
- контроль дотримання метрологічних правил і норм.

Акредитація метрологічних служб юридичних осіб праворуч атестації методик виконання вимірів і проведення метрологічної експертизи документів здійснюється на підставі правил ПР 50.2.013-97 ЗЄВ. Порядок акредитації метрологічних служб юридичних осіб на право атестації методик виконання вимірів і проведення метрологічної експертизи документів допускається при наступних умовах:

- наявність атестованих метрологічною службою методик виконання вимірів, звітів дослідницьких робіт;
- наявність експертних висновків по документах категорій, зазначених у заявленій області акредитації;
- впровадження в практику метрологічної експертизи основних по ложений методичних документів агентства по технічному регулюванню й метрології;
- наявність устаткування, необхідного для проведення робіт з атестації методик виконання вимірів у заявленій області;

- наявність стандартів і інших нормативних документів Державної системи забезпечення єдності вимірів, інших нормативних документів в області діяльності аккредитованої організації й ін.

При виконанні державного метрологічного контролю й нагляду за дотриманням метрологічних правил і норм часто відбуваються помилки. Типові помилки в акредитованих іспитових лабораторіях — застосування неатестованого іспитового встаткування; проведення вимірів по неатестованих методиках виконання з невідомою точністю результатів вимірів; відсутність або недостатнє використання системи внутрілабораторного й межлабораторного контролю точності результатів вимірів; недотримання метрологічних правил і норм.

Державні інспектори по забезпеченню єдності вимірів

Державний метрологічний контроль і нагляд здійснюють посадові особи агентства по технічному регулюванню й метрології — *головні державні інспектори й державні інспектори по забезпеченню єдності вимірів* України, республік у складі України, автономних областей, автономних округів, країв, областей, міст Москви й Санкт-Петербурга (далі — *державні інспектори*). Безпосередньо державний контроль і нагляд здійснюють більш 700 державних інспекторів по нагляду за національними стандартами й забезпеченням єдності вимірів.

Здійснення державного метрологічного контролю й нагляду може бути покладене на державних інспекторів по нагляду за національними стандартами, що діють відповідно до законодавства України й минулих атестацію як державні інспекторів по забезпеченню єдності вимірів. Державні інспектори, що здійснюють перевірку засобів вимірів, підлягають атестації в якості *поверителів*. Державні інспектори, що здійснюють на відповідній території державний метрологічний контроль і нагляд, має право безперешкодно, при пред'явленні службового посвідчення :

- відвідувати об'єкти, де експлуатуються, проводяться, ремонтуються, продаються, утримуються або зберігаються засоби вимірів незалежно від підпорядкованості й форм власності цих об'єктів;
- перевіряти відповідність використовуваних одиниць величин допущеним до застосування;
- перевіряти засобу вимірів, перевіряти їхній стан і умови застосування, а також відповідність затвердженому типу засобів вимірів;
- перевіряти застосування атестованих методик виконання вимірів, стан еталонів, застосовуваних для перевірки засобів вимірів;
- перевіряти кількість товарів, відчужуваних при здійсненні торговельних операцій;
- відбирати зразки продукції й товарів, а також фасовані товари в упаковках будь-якого виду для здійснення нагляду;
- використовувати технічні засоби й залучати персонал об'єкта, що знає державному метрологічному контролю й нагляду.

При виявленні порушень метрологічних правил і норм державний інспектор має право:

- забороняти застосування й випуск засобів вимірів незатверджених типів або не відповідних до затвердженого типу, а також неповірників;
- гасити побсрительныс клейма або анулювати свідчення про перевірку у випадках, коли засіб вимірів дасть неправильні показання або прострочений межповерочный інтервал;
- представляти пропозиції по анулюванню ліцензій на виготовлення, ремонт, продаж і прокат засобів вимірів у випадках порушення вимог до цих видів діяльності;
- при необхідності вилучати засіб вимірів з експлуатації;
- давати обов'язкові приписання й установлювати строки усунення порушень метрологічних правил і норм; становити протоколи про порушення метрологічних правил і норм. Складені протоколи про порушення метрологічних правил і норм направляються в компетентні органи для вживання заходів відповідно до чинного законодавства.

Державні інспектори зобов'язані строго дотримувати законодавства України, а також положення нормативних документів по забезпеченню єдності вимірів і державного метрологічного контролю й нагляду. За невиконання або неналежне виконання посадових обов'язків, перевищення повноважень і за інші порушення, включаючи розголошення державної або комерційної таємниці, державні інспектори можуть бути притягнуті до відповідальності відповідно до законодавства України.

Скарги на дії державних інспекторів подаються в 20-денний строк від дня прийняття ними розв'язків у той орган ГМС, якому вони безпосередньо підлегли, або у вищий орган. Скарги розглядаються й розв'язки по них ухвалюються в місячний строк від дня подачі скарги. Дії державних інспекторів можуть також бути у встановленому порядку оскаржені до суду. Оскарження дій державних інспекторів не припиняє реалізацію їх приписань.

Юридичні й фізичні особи зобов'язано сприяти державному інспекторові у виконанні покладених на нього обов'язків. Особи, що перешкоджають здійсненню державного метрологічного контролю й нагляду, несуть відповідальність відповідно до законодавства України.

ЛЕКЦІЯ № 10 Відповідальність організацій і виконавців за порушення метрологічного забезпечення

Студент повинен
мати вистава:

- про правові питання в області забезпечення єдності вимірів;

знати:

- види відповідальності за порушення метрологічних норм і правил.

Карна, адміністративна, цивільно-правова відповідальність за порушення метрологічних правил і норм.

Нормативні акти, що регулюють майнову (матеріальну) відповідальність організацій. Види матеріальної відповідальності.

Система органів Держарбітражу. Економічні санкції і їх місце в системі правових засобів.

Дисциплінарна відповідальність виконавців і її види.

Дисциплінарна й матеріальна відповідальність виконавців за порушення законодавства про метрологічне забезпечення виробництва й випробувань продукції

Федеральний закон України «Про технічний регламентування» постатейний коментарий

Стаття 35. Відповідальність органів державного контролю (нагляду) і їх посадових осіб при здійсненні державного контролю (нагляду) за дотриманням вимог технічних регламентів

1. Органи державного контролю (нагляду) і їх посадові особи у випадку неналежного виконання своїх службових обов'язків при проведенні заходів щодо державного контролю (нагляду) за дотриманням вимог технічних регламентів і у випадку здійснення протиправних дій (бездіяльності) несуть відповідальність відповідно до законодавства України.

2. Про заходи, прийняті у відношенні винних у порушенні законодавства України посадових осіб органів державного контролю (нагляду), органи державного контролю (нагляду) протягом місяця зобов'язано повідомити юридичну особу й (або) індивідуальному підприємцеві, права й законні інтереси яких порушені.

1. Справжньою статтею закону введені положення про відповідальність посадових осіб органів державного контролю (нагляду) за неналежне виконання своїх службових обов'язків за дотриманням вимог технічних регламентів і у випадку здійснення протиправних дій (бездіяльності) несуть відповідальність.

2. Закон ставить за обов'язок органам державного контролю (нагляду) повідомляти осіб, права й законні інтереси яких були порушені в процесі проведення контролю, про заходи, прийняті відносно винних осіб. Це положення з урахуванням обов'язків заявника, перерахованих у ст. 28, на законодавчому рівні створює передумови для ділового співробітництва контролюючої й контролюваної сторін, захищає заявника від пред'явлення до нього завищених вимог.

Інформація про порушення вимог технічних регламентів і відкликання продукції

Стаття 36. Відповідальність за невідповідність продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації й утилізації вимогам технічних регламентів

1. За порушення вимог технічних регламентів виготовлювач (виконавець, продавець, особа, що виконує функції іноземного виготовлювача) несе відповідальність відповідно до законодавства України.

2. У випадку невиконання приписань і розв'язків органа державного контролю (нагляду) виготовлювач (виконавець, продавець, особа, що виконує функції іноземного виготовлювача) несе відповідальність відповідно до законодавства України

3. У випадку, якщо в результаті невідповідності продукції вимогам технічних регламентів, порушень вимог технічних регламентів при здійсненні процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації й утилізації заподіяна шкода життю або здоров'ю громадян, майну фізичних або юридичних осіб, державному або муніципальному майну, навколишньому середовищу, життю або здоров'ю тварин і рослин або виникла погроза заподіяння такої шкоди, виготовлювач (виконавець, продавець, особа, що виконує функції іноземного виготовлювача) зобов'язано відшкодувати заподіяний шкода й вжити заходів з метою недопущення заподіяння шкоди іншим особам, їх майну навколишньому середовищу відповідно до законодавства України.

4. Обов'язок відшкодувати шкода не може бути обмежена договором або заявою однієї зі сторін. Угоди або заяви про обмеження відповідальності незначні.

1. У даній статті відзначене, що виготовлювач (виконавець, продавець, особа, що виконує функції іноземного виготовлювача, далі в коментарях — виготовлювач) за порушення вимог технічних регламентів несе відповідальність відповідно до законодавства України.

2. Справжній Федеральний закон установлює, що при невиконанні приписань і розв'язків органа державного контролю (нагляду) виготовлювач несе відповідальність відповідно до законодавства України.

3. У статті конкретизуються порушення, що підпадають під дію законодавства України, які відбивають специфіку діяльності в області контролю виконання вимог технічних регламентів. До них ставляться:

- порушення вимог технічних регламентів;
- невиконання приписань і розв'язків органа державного контролю (нагляду);
- заподіяння шкоди життю й здоров'ю громадян, майну, навколишньому середовищу, життю й здоров'ю тварин і рослин у результаті порушення вимог технічних регламентів;
- погроза заподіяння такої шкоди

При цьому виготовлювач зобов'язано відшкодувати заподіяна шкода й вжити заходів з метою недопущення заподіяння шкоди іншим особам, їх майну, навколишньому середовищу.

4. Закон установлює, що обов'язок відшкодувати шкода не може бути обмежена договором або заявою однієї зі сторін і ніякі угоди або заяви потерпілих не можуть її скасувати.

Стаття 37. Інформація про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів

1. Виготовлювач (виконавець, продавець, особа, що виконує функції іноземного виготовлювача), якому стало відомо про невідповідність випущеної в обіг продукції вимогам технічних регламентів, зобов'язано сповістити про це в орган державного контролю (нагляду) відповідно до його компетенції протягом десяти днів з моменту одержання зазначеної інформації.

Продавець (виконавець, особа, що виконує функції іноземного виготовлювача), що одержав зазначену інформацію, протягом десяти днів зобов'язано довести її до виготовлювача.

2. Особа, яка не є виготовлювачем (виконавцем, продавцем, особою, що виконують функції іноземного виготовлювача) і якому стало відомо про невідповідність випущеної в обіг продукції вимогам технічних регламентів, має право направити інформацію про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів в орган державного контролю (нагляду). При одержанні такої інформації орган державного контролю (нагляду) протягом п'яти днів зобов'язано сповістити виготовлювача (продавця, особа, що виконує функції іноземного виготовлювача) про її вступ.

1. Особа, що має відношення до виготовлення й реалізації продукції — виконавець, продавець або іноземний виготовлювач, при одержанні інформації про невідповідність випущеної в обіг продукції вимогам технічних регламентів зобов'язане протягом десяти днів з моменту одержання зазначеної інформації сповістити про це в орган державного контролю (нагляду). Продавець (виконавець, особа, що виконує функції іноземного виготовлювача), що одержав зазначену інформацію, протягом десяти днів зобов'язано довести її до виготовлювача

2. Особа, що не має відносини до виготовлення (виконавець, продавець, особа, що виконує функції іноземного виготовлювача) і реалізації продукції, наприклад, набувач, суспільство по захисту прав споживача, якому стало відомо про невідповідність випущеної в обіг продукції вимогам технічних регламентів, має право доводити інформацію до відомості органа державного контролю (нагляду).

Право звертатися особисто, а також направляти індивідуальні й колективні звернення до державних органів громадяни мають відповідно до Конституції України.

Стаття 38. Обов'язки виготовлювача (продавця, особи, виконуючого функції іноземного виготовлювача) у випадку одержання інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів

1. Протягом десяти днів з моменту одержання інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів, якщо необхідність установлення більш тривалого строку не впливає з істоти проведених заходів,

виготовлювач зобов'язано провести перевірку вірогідності отриманої інформації. На вимогу органа державного контролю (нагляду) виготовлювач зобов'язано представити матеріали зазначеної перевірки в орган державного контролю (нагляду).

У випадку одержання інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів виготовлювач зобов'язано вжити необхідних заходів для того, щоб до завершення перевірки, передбаченої абзацом першим справжнього пункту, можлива шкода, пов'язаний з обігом даної продукції, не збільшився,

2. При підтвердженні вірогідності інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів виготовлювач протягом десяти днів з моменту підтвердження вірогідності такої інформації зобов'язано розробити програму заходів щодо запобігання заподіяння шкоди й погодити її з органом державного контролю (нагляду) відповідно до його компетенції.

Програма повинна містити в собі заходу щодо оповіщення набувачів про наявність погрози заподіяння шкоди й способах його запобігання, а також строки реалізації таких заходів. У випадку, якщо для запобігання заподіяння шкоди необхідно зробити додаткові витрати, виготовлювач зобов'язано здійснити всі заходи щодо запобігання заподіяння шкоди самотужки, а при неможливості їх здійснення оголосити про відкликання продукції й відшкодувати збитки, заподіяні набувачам у зв'язку з відкликанням продукції.

Усунення недоліків, а також доставка продукції до місця усунення недоліків і повернення її набувачам здійснюються виготовлювачем (продавцем, особою, що виконують функції іноземного виготовлювача) і за його рахунок.

3. У випадку, якщо погроза заподіяння шкоди не може бути усунута шляхом проведення заходів, зазначених у п. 2 справжньої статті, виготовлювач зобов'язаний негайно призупинити виробництво й реалізацію продукції, відкликати продукцію й відшкодувати набувачам збитки, що виникли у зв'язку з відкликанням продукції.

4. На весь період дії програми заходів щодо запобігання заподіяння шкоди виготовлювач за свій рахунок зобов'язано забезпечити набувачам можливість одержання оперативної інформації про необхідні дії.

1. Після одержання інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів виготовлювач (у тому числі іноземний) і продавець повинні провести:

- перевірку вірогідності отриманої інформації;
- представити матеріали зазначеної перевірки в орган державного контролю (нагляду);
- вжити заходів, які до завершення перевірки забезпечать не збільшення можливої шкоди, пов'язаного з обігом продукції, якщо вона дійсно не відповідає вимогам технічних регламентів.

Якщо інформація недостовірна, то в подальших діях немає необхідності.

2. Якщо вірогідність інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів не викликає сумнівів, то виготовлювач протягом десяти днів з моменту підтвердження вірогідності такої інформації зобов'язаний:

- розробити програму заходів щодо запобігання шкоди й погодити її з органом державного контролю (нагляду); програма повинна бути спрямована як на запобігання невідповідності продукції технічним регламентам шляхом доробки схемного й конструктивного розв'язку, складу й структури, технології виготовлення, тобто на забезпечення відповідності знову виготовленої продукції, так і на виправлення недоліків уже реалізованої продукції; програма може передбачати припинення виробництва;
- реалізувати програму.

Усунення будь-яких недоліків здійснюється виготовлювачем і за його рахунок.

3. Законом передбачений варіант, коли недоліки продукції настільки істотні, що не можуть бути усунуті шляхом реалізації програми. У цьому випадку виробництво й реалізація продукції повинні бути зупинені.

4. У період дії програми виготовлювачеві законом вменена обов'язок постачати набувача необхідною оперативною інформацією про те, як він повинен діяти у зв'язку з тим, що придбана їм продукція не відповідає вимогам технічних регламентів.

Стаття 39. Права органів державного контролю (нагляду) у випадку одержання інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів

1. Органи державного контролю (нагляду) у випадку одержання інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів у можливо короткий термін проводять перевірку вірогідності отриманої інформації.

У ході проведення перевірки органи державного контролю (нагляду) має право:

- вимагати від виготовлювача (продавця, особи іноземного виготовлювача, що виконує функції) матеріали перевірки вірогідності інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів;
- запитувати у виготовлювача (виконавця, продавця, особи іноземного виготовлювача, що виконує функції) і інших осіб додаткову інформацію про продукцію, процеси виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації й утилізації, у тому числі результати досліджень (випробувань) і вимірів, проведених при здійсненні обов'язкового підтвердження відповідності;
- направляти запити в інші федеральні органи виконавчої влади;
- при необхідності залучати фахівців для аналізу отриманих матеріалів.

2. При визнанні вірогідності інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів орган державного контролю (нагляду) відповідно до його компетенції протягом десяти днів видає приписання про розробку виготовлювачем (продавцем, особою, що виконують функції іноземного виготовлювача) програми заходів щодо запобігання заподіяння шкоди, сприяє в її ре-

алізації й здійснює контроль над її виконанням. Орган державного контролю (нагляду):

- сприяє поширенню інформації про строки й порядок проведення заходів щодо запобігання заподіяння шкоди;
- запитує у виготовлювача (продавця, особи іноземного виготовлювача, що виконує функції) і інших осіб документи, що підтверджують проведення заходів, зазначених у програмі заходів щодо запобігання заподіяння шкоди;
- перевіряє дотримання строків, зазначених у програмі заходів щодо запобігання заподіяння шкоди;
- ухвалює розв'язок про звернення до суду з позовом про примусове відкликання продукції.

1. Органі державного контролю (нагляду) при одержанні інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів координують свої дії з діями виготовлювача. При цьому орган державного контролю (нагляду) спочатку проводить свою перевірку вірогідності отриманої інформації, використовуючи при цьому матеріали перевірки, проведеної виготовлювачем. Крім матеріалів виготовлювача орган державного контролю (нагляду) має право одержувати додаткові матеріали в інших федеральних органах виконавчої влади й залучати фахівців для детального аналізу всіх отриманих матеріалів. Подібне детальне пророблення питання про дії органів державного контролю (нагляду) стосовно виготовлювача (продавцеві, особі, що виконує функції іноземного виготовлювача) при невідповідності продукції вимогам технічних регламентів ще раз свідчить про велике значення, що надається законом УКРАЇНИ «Про технічне регулювання» забезпеченню безпеки продукції.

2. При підтвердженні інформації про невідповідність продукції вимогам технічних регламентів виготовлювач зобов'язано розробити програму заходів щодо запобігання заподіяння шкоди, яка реалізується на основі приписання, видаваним органом державного контролю (нагляду).

Орган державного контролю (нагляду) здійснює ще ряд заходів, у тому числі: сприяє поширенню інформації про строки й порядок проведення заходів щодо запобігання шкоди, здійснює контроль над реалізацією програми цих заходів, а також ухвалює розв'язок про звернення до суду з позовом про примусове відкликання продукції.

Стаття 40. Примусове відкликання продукції

1. У випадку невиконання приписання, передбаченого п. 2 ст. 39 справжнього закону, або невиконання програми заходів щодо запобігання заподіяння шкоди орган державного контролю (нагляду) відповідно до його компетенції, а також інші особи, яким стало відомо про невиконання виготовлювачем (продавцем, особою, що виконують функції іноземного виготовлювача) програми заходів щодо запобігання заподіяння шкоди, має право звернутися до суду з позовом про примусове відкликання продукції.

2. У випадку задоволення позову про примусове відкликання продукції суд зобов'язує відповідача зробити певні дії, пов'язані з відкликанням продукції,

у встановлений судом строк, а також довести рішення суду не пізніше одного місяця від дня його набуття законної сили до відомості набувачів через засоби масової інформації або іншим способом.

У випадку, якщо відповідач не виконає рішення суду у встановлений строк, позивач праві зробити ці дії за рахунок відповідача зі стягненням з нього необхідних витрат

3. За порушення вимог справжнього закону про відкликання продукції можуть бути застосовані заходи карного й адміністративного впливу відповідно до законодавства України.

1. Органу державного контролю (нагляду) справжнім законом надане право звертатися до суду з позовом про примусове відкликання продукції, якщо виготовлювач не виконав приписання про розробку програми заходів щодо запобігання шкоди або цю програму не виконує, якщо вона розроблена. Таке ж право надається будь-яким особам, якщо їм стане відомий цей факт. Це право є конкретизацією положень цивільного законодавства про зобов'язання внаслідок заподіяння шкоди.

2. Закон гарантує виконання відповідачем розв'язку суди в тому або іншому виді, а також доведення рішення суду до відомості набувачів через засоби масової інформації. Якщо відповідач не виконає його фактично, здійснивши певні дії, то за законом він зобов'язано відшкодувати збитки, які понесе позивач, що має право зробити дії, пов'язані з відкликанням продукції за рахунок відповідача.

3. Порушення справжнього закону відносно відкликання продукції може викликати застосування карного й адміністративного впливу. Зокрема, у цьому випадку застосовна ст. 238 Кримінального кодексу України, що згадувався раніше в коментарях до ст. 34 справжнього закону.

Стаття 41. Відповідальність за порушення правил виконання робіт із сертифікації

Орган по сертифікації й посадова особа органа по сертифікації, що порушили правила виконання робіт із сертифікації, якщо таке порушення спричинило випуск в обіг продукції, не відповідної до вимог технічних регламентів, несуть відповідальність відповідно до законодавства України й договором про проведення робіт із сертифікації.

Дана стаття закону присвячена питанням відповідальності органа державного контролю (нагляду) як основного контролера за невідповідність продукції вимогам технічних регламентів і заходам, прийнятим у випадку виявлення таких невідповідностей. Однак найбільша роль у запобіганні виходу на ринок збуту продукції, не відповідної до технічних регламентів, належить органам по сертифікації й іспитовим лабораторіям (центрам).

Через порушення правил робіт але сертифікації органом по сертифікації й посадовою особою цього органа продукція, не відповідна до технічних регламентів, все-таки може одержати знак обігу на ринку й зробити на ринок.

Ці порушення можуть виражатися в тому, що сертифікат відповідності видається без проведення випробувань, або при негативних результатах випробувань, або при ігноруванні відомостей про неефективність системи якості на підприємстві, що випускає продукцію.

Справжній Федеральний закон даною статтею передбачає відповідальність органа по сертифікації й посадових осіб органа по сертифікації за ці й інші порушення правил робіт із сертифікації.

Стаття 42. Відповідальність акредитованої іспитової лабораторії (центру)

Акредитована іспитова лабораторія (центр), експерти відповідно до законодавства України й договором відповідають за невірогідність або необ'єктивність результатів досліджень (випробувань) і вимірів.

Необ'єктивність іспитової лабораторії (центру) можуть проявлятися у вигляді фальсифікації результатів досліджень (випробувань) і вимірів характеристик продукції. Порушення експертів, що здійснюють оцінку системи якості, можуть проявлятися у вигляді необ'єктивних висновків про її ефективність.

При виявленні таких порушень і акредитована іспитова лабораторія (центр) і експерти відповідно до законодавства України й договором відповідають за невірогідність або необ'єктивність результатів досліджень (випробувань) і вимірів

ЛЕКЦІЯ 12 ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЇ - НАУКИ ПРО ВИМІРЮВАННЯ

12.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИМІРЮВАННЯ

Автоматизація виробничих процесів у харчовій промисловості нерозривно зв'язана з вимірюванням різних фізичних величин та комплексних показників якості продукції. Для цієї мети використовуються різноманітні засоби вимірювань, правильність використання яких ґрунтується на положеннях метрології та вимірювальної техніки.

Метрологія в її сучасному розумінні - це галузь науки про вимірювання, методи та способи забезпечення єдності вимірювань і способи досягнення необхідної точності вимірювань.

Вимірювання - це процес знаходження (відображення) значення (розміру) фізичної величини в певних одиницях за допомогою спеціальних засобів вимірювання дослідним шляхом. Вимірювання полягає у порівнянні значення вимірюваної ФВ з іншою однорідною ФВ, умовно прийнятою за одиницю.

Фізична величина (далі ФВ) - це властивість, яка є спільною в якісному відношенні для багатьох матеріальних об'єктів, але є індивідуальною в кількісному відношенні для кожного з них. Наприклад, усі об'єкти мають масу і температуру, але для кожного об'єкта вони різні.

Для встановлення кількісного вмісту властивості, яка відображає певну ФВ, у метрології введені поняття:

- **розмір ФВ** – це кількісний уміст у даному об'єкті властивості, яка відповідає поняттю ФВ;

- **одиниця (U) ФВ** – це ФВ фіксованого розміру, якій умовно присвоєне значення одиниці й розмір якої встановлюється законодавчо метрологічними службами держави;

- **значення (Q) ФВ** – це оцінка розміру ФВ у вигляді деякого числа прийнятих для неї одиниць;

- **числове значення (n) ФВ** – це число, яке дорівнює відношенню значення ФВ до одиниці даної ФВ. Воно може бути цілим чи дробовим, але обов'язково абстрактним числом.

Значення ФВ отримують у результаті проведених вимірювань або обчислень у відповідності з основним рівнянням вимірювань:

$$Q = n * U, \quad (1.1)$$

де Q - вимірювана величина, U - одиниця фізичної величини, n - числове значення вимірюваної величини.

Права частина - називається **результатом вимірювань** і завжди має розмірність одиниці фізичної величини U , а число n показує скільки разів одиниця вимірювання вміщується у вимірюваній величині. Н., $I = 40 \text{ А}$.

У цьому випадку результати вимірювань називають іменованими. Неіменовані результати вимірювань надаються у відсотках.

Якщо при вимірюванні величини Q використати іншу одиницю, наприклад, U_1 , то рівняння (1.1) приймає вид: $Q = n_1 * U_1$. Розв'язуючи обидва рівняння спільно одержимо: $n * U = n_1 * U_1$, або $n_1 = n(U / U_1)$. Тобто, для переходу від результату вимірювання " n " в одиницях U до результату " n_1 ", вираженого в одиницях U_1 , необхідно " n " помножити на співвідношення прийнятих одиниць.

Необхідно чітко розрізняти два поняття: істинні значення ФВ та їхні емпіричні прояви - результати вимірювань.

Істинними $Q_{ист}$ - є значення фізичних величин, які ідеально відбивають (відображають) властивості об'єкта як у якісному, так і в кількісному відношеннях. Вони не залежать від способу нашого пізнання і являють собою абсолютну істину, до якої ми прагнемо, бажаючи виразити їхніми числовими значеннями.

На практиці це абстрактне поняття замінюють поняттям **дійсного значення ($Q_{дійс}$) вимірюваної ФВ**, під яким розуміється її значення, знайдене експериментально і настільки близьке до істинного, що для даної мети може використовуватися замість нього. За дійсні беруть значення які: розраховані за формулами, одержані за показами еталонів та більш точних засобів вимірювання.

Результати вимірювань (далі РВ) - це продукт нашого пізнання і вони становлять приблизну оцінку значення ФВ. РВ завжди залежать від використаного принципу чи методу вимірювань, а також від стану та класу точності засобу вимірювань, за допомогою якого їх здобувають, і від кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Єдність вимірювань - це стан вимірювань, коли результати вимірювань виражені в законодавчо прийнятих одиницях, а похибки вимірювань прийняті із заданою ймовірністю. Єдність вимірювань необхідна для порівняння результатів вимірювань фізичної величини, проведених у різних місцях, у різний час та з використанням різних методів і засобів вимірювання. Тобто, результати вимірювань ФВ повинні бути однаковими скрізь і не залежати від методу та засобу, яким було проведене вимірювання. Так, наприклад, маса в 1 кг чи довжина в 1 м повинні бути адекватними в різних

Усі вимірювані ФВ можна розділити на дві групи:

Першу групу - утворюють ФВ, що вимірюються безпосередньо. Вимірювання таких ФВ відбуваються без перетворення їхнього роду і вони в процесі вимірювання порівнюються з однорідною мірою, що відтворює необхідний розмір. Наприклад, вимірювання довжини об'єкта метром.

Другу - утворюють ФВ, що перетворюються із заданою точністю в безпосередньо вимірювані. ФВ, що перетворюються, не можуть вимірюватись у відповідних їм одиницях безпосередньо. До таких ФВ відносяться, наприклад, температура та густина. У цьому випадку значення вимірюваної ФВ знаходять після перетворення її роду або за відомою залежністю між нею та ФВ, що вимірюється безпосередньо і яка однозначно зв'язана з першою величиною, але зручніша для вимірювання. Такі перетворення здійснюються за допомогою операції вимірювального перетворення. Наприклад, вимірювання температури за допомогою термометра опору шляхом визначення його електричного опору або використання у вимірювальній техніці перетворювачів, коли вимірюється значення сигналу, а не значення вимірюваної величини.

Засіб вимірювання (далі ЗВ) - це сукупність спеціальних технічних засобів, яка використовується для визначення розміру ФВ при її вимірюванні і яка має нормовані метрологічні характеристики та проградуєвана в одиницях вимірюваної величини.

12.2. ПОНЯТТЯ СИСТЕМИ ФВ ТА ЇХНІХ ОДИНИЦЬ

Опис властивостей, які характеризують певну ФВ, здійснюється в певній **системі фізичних величин**, під якою розуміється сукупність ФВ, утворених у відповідності із прийнятими принципами, коли одні ФВ приймаються за незалежні, а інші є функціями основних.

Обгрунтовано, але в загальному довільно, вибирається декілька ФВ у системі за основні, а інші називаються похідними і визначаються через основні на базі відомих рівнянь зв'язку між ними. Прикладами основних ФВ є довжина, маса, час, а похідною є густина речовини, що визначається як маса речовини, що знаходиться в одиниці об'єму.

Відповідно кожна система ФВ має основні одиниці ФВ, які використовуються в ній для відтворення розміру основних ФВ, та похідні.

Похідна одиниця – це одиниця похідної ФВ системи, яка утворена у відповідності з рівнянням, яке зв'язує її з основними одиницями, або з основними одиницями та вже визначеними похідними одиницями. Наприклад, одиниця швидкості – є похідною і дорівнює – м/с.

У назвах систем ФВ використовують символи величин, які прийняті за основні. Діюча в теперішній час міжнародна система ФВ СІ (SI) повинна зображуватись символами LMTIQNJ, відповідно до символів її основних величин: довжині (L), масі (M), часу (T), силі електричного струму (I), температурі (Q), кількості речовини (N) та силі світла (J).

В Україні в якості основної системи ФВ використовується міжнародна і відповідно використовується міжнародна система одиниць СІ, у якій як одиниці основних ФВ прийняті: метр (м), кілограм (кг), секунда (с), ампер (А), одиниця термодинамічної температури Кельвін (К), моль – одиниця кількості речовини та кандела (кд) - одиниця сили світла.

12.3. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯКОСТІ ПРОВЕДЕНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Якість вимірювань характеризується : точністю, достовірністю, правильністю, збіжністю, відтворенням та розміром допустимих похибок.

Точність вимірювань – це характеристика якості вимірювань, що відображує близькість до нуля похибки його результату, або означає максимальну наближеність результату до істинного значення вимірюваної величини.

Достовірність вимірювань – визначається ступенем довіри до результатів вимірювань і характеризується ймовірністю того, що істинні значення вимірюваної величини знаходяться у вказаних межах. Така ймовірність називається довірчою.

Правильність вимірювань – це характеристика вимірювань, що відображає близькість до нуля систематичної похибки результатів вимірювання.

Збіжність результатів вимірювання – це характеристика якості вимірювань, що відображає близькість один до одного результатів вимірювання однієї й тієї ж фізичної величини, виконаних повторно одним і тим же методом та ЗВ, в одних і тих же умовах.

Відтворення результатів вимірювання – це характеристика якості вимірювань, що відображає близькість один до одного результатів вимірювання однієї й тієї ж фізичної величини, виконаних у різних місцях, різними методами та ЗВ, але в одних і тих же умовах.

Похибка вимірювань – це відхилення Δ результату вимірювання $X_{ВИМ}$ від істинного значення $Q_{ІСТ}$, яке визначається за формулою: $\Delta = X_{ВИМ} - Q_{ІСТ}$. (1.2)

Така похибка називається абсолютною і описує кількісну близькість вимірюваного значення ФВ до істинного (дійсного) її значення.

12.4. КЛАСИФІКАЦІЯ ВИМІРЮВАНЬ

Вимірювання класифікують за такими ознаками: 1) за характером зміни вимірюваної величини в часі, 2) за способом одержання результатів вимірювання, 3) за точністю вимірювання.

За характером зміни вимірюваної величини в часі вимірювання розділяють на статичні та динамічні.

Статичні вимірювання – це вимірювання, при яких протягом певного проміжку часу вимірювана величина майже не змінюється, або ж її величина змінюється поступово відповідно до процесу виробництва. Такі вимірювання характеризують стаціонарність в об'єкті, застосовуються в пасивних експериментах

для встановлення взаємозв'язку між фізичними величинами одного і того самого об'єкта дослідження. Їх також використовують при зніманні статичної характеристики перетворення засобу вимірювань. Вони забезпечують задовільний рівень точності за певний проміжок часу (н., годину, зміну).

Динамічні вимірювання - показують зміну вимірюваної величини в часі при різних збуреннях, що впливають на об'єкт або ж на засіб вимірювання. Вони дають змогу вивчити динамічні властивості об'єкта, його інерційність, а також динамічні властивості самого засобу вимірювання та його складових частин.

Для визначення динамічної характеристики ЗВ на його вхід подають стрибкоподібний сигнал **Хдійсн**. Як видно із графіку показання приладу **Хдин** досягають сталого значення **Хдійсн** лише через певний час і наближаються до нього поступово по експоненціального закону. Різниця між показаннями приладу **Хдин** і дійсним значенням **Хдійсн** вимірюваної величини називається динамічною похибкою:

$$\Delta d = \text{Хдійсн} - \text{Хдин}. \quad (1.3)$$

Спочатку, не дивлячись на стрибкоподібну зміну вимірюваної величини **Хдійсн** на вході приладу, сигнал на його виході **Хдин** почне змінюватись через певний проміжок часу, який називається - час початку реагування **Тпр**.

Далі, сигнал **Хдин** досягне величини 95% свого максимального значення **Хдійсн** через проміжок часу перехідного процесу **Тпп**.

Постійна часу **Т** - час, на протязі якого значення вимірюваної величини досягає $\approx 0,632$ від сталого її значення.

Час установа повного значення вимірюваної величини **Тпз** - час, протягом якого значення вимірюваної величини досягне свого сталого значення від початку зміни вхідної величини на вході приладу, а динамічна похибка не досягне нуля.

За способом одержання числового значення вимірюваної величини вимірювання розділяють на два види: **прямі та непрямі**.

Прямими називаються вимірювання, за якими значення вимірюваної **ФВ** знаходять без перетворення її роду і це значення визначається безпосередньо за експериментальними даними. При прямих вимірюваннях вимірювану **ФВ** визначають або порівнянням її розміру з розміром, що відтворюється мірою (наприклад, вимірювання довжини стола метром), або у вигляді показу **ЗВ**, що завчасно проградуїований в одиницях вимірюваної **ФВ**. При здійсненні прямих вимірювань, об'єкт дослідження приводять до взаємодії зі **ЗВ** і по показам останнього відраховують значення вимірюваної величини. До прямих належить більшість вимірювань, які використовуються у виробництві, а також вони є основою інших, більш складних, вимірювань.

Непрямими - є вимірювання, за якими значення вимірюваної **ФВ** величини визначається після перетворення її роду або визначається шляхом її обчислення за відомою залежністю між цією **ФВ** та іншими **ФВ**, які вимірюють прямо і з якими вона зв'язана відомими математичними (функціональними) залежностями. Будь-яке непряме вимірювання зв'язане з низкою прямих вимірювань.

Непрямі вимірювання в свою чергу ділять на: опосередковані, сукупні та сумісні.

Опосередковані - це вимірювання, за яких значення вимірюваної ФВ Q визначається шляхом її обчислення за відомою залежністю між цією ФВ та іншими ФВ – аргументами (Y, Z, G, \dots), які вимірюють прямо і з якими вона зв'язана відомими математичними залежностями. Опосередковані вимірювання найбільш розповсюджені серед непрямих вимірювань.

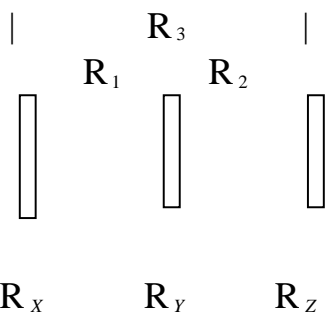
Функціональну залежність результату Q від аргументів Y, Z, G, \dots , загального виду: $Q = F(Y, Z, G, \dots)$, називають **формулою (рівнянням) зв'язку**. Приклади опосередкованих вимірювань: визначення об'єму V рідини у циліндричній посудині за висотою h та площею S : $V = S * h$; та густини ρ за масою m та її об'ємом V : $\rho = m / V$; вимірювання температури за допомогою термоперетворювача опору.

До опосередкованих відносяться тільки такі вимірювання, при яких розрахунок шуканої величини виконується вручну або автоматично, але тільки після отримання окремих результатів прямих вимірювань величин – аргументів.

У сучасних мікропроцесорних ЗВ часто обчислення шуканої вимірюваної величини виконується «в середині» ЗВ і результат отримують способом, характерним для прямих вимірювань. У таких ЗВ немає необхідності окремого врахування методичної похибки розрахунку, так як вона входить у самого ЗВ. Вимірювання, що проведені такими ЗВ, теж відносяться до прямих вимірювань.

Сукупними називаються вимірювання, що складаються з ряду (сукупності) прямих одночасних вимірювань однієї чи декількох величин - аргументів, виконаних при різних умовах, або при різній їх комбінації. При цьому числове значення вимірюваної величини отримують шляхом вирішення системи рівнянь.

Наприклад, вимірювання електричного опору заземлення. Пряме вимірювання такого опору неможливе, тому проводять прямі вимірювання попарно трьох заземлень: одного основного R_x та двох допоміжних R_y, R_z .



Фактично вимірюють прямо опори:

$$R_1 = R_x + R_y; \quad R_2 = R_y + R_z; \quad R_3 = R_x + R_z.$$

Розв'язуючи отриману систему рівнянь відносно R_x , знаходять його значення, а якщо необхідно і значення допоміжних заземлень.

Сумісні вимірювання - це одночасне вимірювання двох або декількох різноіменних величин із метою знаходження залежності між ними.

Як приклад, визначення температурних коефіцієнтів лінійного розширення опору провідника із платини від температури за рівнянням: $R_t = R_0 (1 + aT + bT^2)$. Для вирішення задачі проводять попарні вимірювання різноіменних величин (опору провідника і температури), складають систему рівнянь і після її вирішення одержують чисельні значення коефіцієнтів «а» та «b».

Сумісні вимірювання дістають широке розповсюдження при вимірюваннях якісних показників харчових продуктів, які є багатокомпонентними сумішами. Наприклад, одночасно можуть вимірюватись густина, в'язкість, показник рН і інші, які в комплексі дають показник якості продукту.

За точністю вимірювання поділяють на 3 групи:

1. Еталонні – це вимірювання з максимально можливою точністю відповідно до наявного технічного рівня. Це вимірювання за допомогою еталонів і спрямовані на відтворення встановлених одиниць фізичних величин або констант.

2. Контрольно-повірочні вимірювання, похибки яких не перевищують деяких наперед заданих значень. Це лабораторні вимірювання фізичних величин за допомогою зразкових і технічних засобів високих класів точності, н., у метрологічних лабораторіях ДСУ.

3. Технічні (технологічні) вимірювання - які проводяться в промисловості і визначаються класом точності використаного засобу вимірювань.

1.5. ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

В основі вимірювання використовується певний принцип, під яким розуміється фізичне явище або сукупність фізичних явищ використаних для одержання результату у вигляді вимірювальної інформації про значення вимірюваної фізичної величини. Наприклад, вимірювання температури за допомогою термоелектричного ефекту.

У той же час вимірювання можуть бути проведені з використанням різних методів, під якими розуміється сукупність прийомів використання різних принципів та засобів вимірювань для створення вимірювальної інформації. Метод, в перекладі із грецької, означає шлях досліджень, спосіб досягнення мети.

При технологічних вимірюваннях використовуються 2 основних методи вимірювань: безпосередньої оцінки та порівняння з мірою.

Метод безпосередньої оцінки полягає в тому, що значення вимірюваної величини знаходять за допомогою відповідного вимірювального засобу по його відліковому пристрою (шкалі). Метод характеризується прямим перетворенням значення вимірюваної величини у вихідну величину, яка показується або записується вимірювальним приладом, який у свою чергу від градуїований у відповідних одиницях. Метод має найширше використання в умовах виробництва.

Метод порівняння з мірою полягає в тому, що вимірювана величина порівнюється з однорідною величиною, значення (розмір) якої відтворюється мірою. Міра - це засіб вимірювання, який відтворює ФВ відомого розміру, наприклад, лінійка.

Варіантом методу порівняння з мірою в простому випадку є вимірювання довжини об'єкта лінійкою.

До більш складних різновидів методу порівняння з мірою належать:

- **Компенсаційний (нульовий) метод, або метод повного зрівноважування** - суть якого в тому, що на вимірювальний засіб одночасно подаються і порівнюються - вимірювана величина та однорідна зрівноважуюча величина від регульованої міри, значення якої відомо. Вихідна величина міри регулюється доти, поки

не буде досягнута повна рівновага, яка фіксується по нульовому результату ЗВ (нуль – приладу), а результат вимірювання дорівнює значенню регульованої міри.

Цей метод має високу точність вимірювання та незалежність результатів вимірювання від впливу зовнішніх умов і використовується, наприклад, в автоматичних мостах та потенціометрах.

- **Метод заміщення** полягає в тому, що вимірювана величина та вихідна величина регульованої міри діють на один відповідний ЗВ по чергово, поки не буде досягнуто повне зрівноважування, тобто, не буде досягнуто рівності показів ЗВ для обох випадків, що є результатом вимірювань;

- **Диференціальний метод** (різницевий або неповного зрівноважування) полягає в тому, що на вимірювальний засіб подається і вимірюється тільки різниця між шуканою вимірюваною величиною і величиною, яка відтворена мірою. Метод використовується у випадках, коли просто та точно реалізується операція віднімання величин та задання міри і коли вимірювана величина X , може бути надана залежністю:

$$X = X_0 \pm \Delta X, \quad (1.4)$$

де X_0 - номінальне значення вимірюваної величини, що задане мірою;
 $\pm \Delta X$ – можливе відхилення вимірюваної величини від номінального значення, яке, як правило, знаходяться в межах $\pm 10\%$ від X_0 .

1.6. СПОСОБИ ВИМІРЮВАНЬ

Залежно від форми вимірювальної інформації розрізняють два способи вимірювань – аналоговий та цифровий.

Інформація - категорія, яка дозволяє розпізнавати присутність чи відсутність відомостей, на основі яких приймається рішення. **Існує дві форми** для надання інформації про фізичні величини (ФВ) – це аналогова (або безперервна) та цифрова (або дискретна). Носієм інформації в обох формах - є сигнал.

Сигнал – це фізичний процес, властивості якого визначаються взаємодією між матеріальним об'єктом та засобами вимірювальної та обчислювальної техніки.

За аналогового вимірювання – використовується аналогова (безперервна) форма надання інформації і відповідно надання інформації про вимірювану ФВ здійснюється за допомогою одного сигналу (аналога), який є безперервною функцією вимірюваної ФВ і який подібний та пропорційний цій ФВ. Аналоговий сигнал відтворює всі миттєві значення ФВ і приймає будь-які значення в певних межах. Прикладом аналогового сигналу є довжина стовпчика ртуті в рідинному термометрі. Аналогова форма надання інформації використовується в первинних вимірювальних перетворювачах як вихідний сигнал про значення вимірюваної величини.

За цифрового вимірювання (при дискретній формі надання інформації) інформація про вимірювану величину надається за допомогою або одного дискретного сигналу, або здійснюється за допомогою послідовного ряду (набору) дискретних сигналів. На відміну від надання інформації аналоговою величиною, дискретна форма надання інформації у вигляді набору окремих біт - має кінцеву кількість значень. Один дискретний сигнал у мікропроцесорній техніці називається "біт" і є мінімальною одиницею цифрової інформації. Кожний дис-

кретний сигнал або біт приймає не всі можливі, а тільки два значення – біт увімкнений і має високий рівень сигналу (знаходиться в стані логічної 1), або біт вимкнений (знаходиться в стані логічного 0). Один дискретний сигнал використовується, наприклад, у системах автоматичного контролю, для фіксації моменту виходу вимірюваної величини за допустимі межі.

Візуальним цифровим сигналом – є сукупність біт, які відтворюють цифри на відліковому пристрої цифрового індикатора. При цьому набір декількох біт відповідає одній із цифр величини, яка надається в дискретній формі.

Контроль – це процедура встановлення відповідності між станом об'єкта та його нормою.

У сучасних засобах вимірювання одними з основних операцій є операції перетворення аналогової форми інформації в цифрову і навпаки. Як правило, аналогові сигнали від датчиків у сучасних ЗВ спочатку перетворюються за допомогою АЦП у цифрову форму. Сигнал у цифровій формі обробляється в мікропроцесорному пристрої і при необхідності проводиться його цифрова корекція. Далі цифровий сигнал за допомогою ЦАП знову перетворюється в аналоговий, але вже уніфікований сигнал, який і подається в канали зв'язку.

[1, с.: 20...65; 3, с.: 28...32]

Контрольні запитання до розділу 1

1. Дати визначення поняттю метрологія та всім його складовим.
2. Які знаєте якісні показники вимірювань?
3. Привести класифікацію вимірювань.
4. Які знаєте види опосередкованих вимірювань ?
5. Які знаєте способи вимірювань?
6. Що таке принцип та метод вимірювань?
7. Пояснити диференціальний метод вимірювань.

ЛЕКЦІЯ № 13. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ.

13.1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ

Будь-які вимірювання фізичних величин виконуються певним методом, який реалізується у відповідному засобі вимірювань (ЗВ).

ЗВ – це узагальнене поняття конструктивно закінчених пристроїв, які мають **один із трьох при знаків**: **1)** виробляють сигнал, який несе інформацію про розмір (значення) вимірюваної фізичної величини (ФВ), наприклад, покази термометру; **2)** відтворюють ФВ заданого розміру; **3)** мають нормовані метрологічні характеристики (**НМХ**).

Вимірювана ФВ завдяки ЗВ перетворюється на відповідний сигнал вимірювальної інформації, який спостерігач сприймає або безпосередньо на шкалі ЗВ, або який, після перетворення та обробки, передається через канали зв'язку на інші ЗВ у вигляді сигналу зовсім іншої ФВ.

Відповідно до цього будь-який ЗВ можна уявити у вигляді ланцюга, тої чи іншої структури, який складається з ряду функціональних елементів (перетворювачів), об'єднаних у єдиний схемно-конструктивний пристрій.

Складність такого ЗВ визначається в першу чергу фізичною природою вимірюваної величини, швидкістю її зміни в часі, допустимою похибкою її вимірювання, типом прийнятого приладу для відліку.

Елемент ЗВ – це простіший у функціональному відношенні пристрій (схема), який призначений для виконання тільки однієї із послідовних операцій по перетворенню сигналу вимірювальної інформації.

До таких основних операцій відносяться операції перетворення:

- вимірюваної величини в сигнал, що однозначно зв'язаний з інформацією про вимірювану величину;
- сигналу одного виду енергії в сигнал іншого виду енергії (наприклад, неелектричний в електричний і навпаки);
- сигналу по величині енергії (підсилення);
- аналогового сигналу в дискретний і навпаки;
- сигналу постійного струму в змінний і навпаки (модуляція і демодуляція).
- функціональне перетворення сигналу (лінеаризація, кусково-лінійна апроксимація);
- порівняння сигналів та утворення керуючого сигналу (функція контролю);
- виконання логічних операцій із сигналами та їхнє зберігання.

13.2. ОСНОВНІ МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВ

До основних метрологічних характеристик ЗВ, які визначаються при проведенні метрологічних досліджень (метрологічна атестація або перевірка), відносяться: 1) похибка вимірювань; 2) характеристика перетворення; 3) діапазон вимірювання; 4) варіація; 5) чутливість та поріг чутливості; 6) клас точності; 7) швидкодія.

До загальних метрологічних характеристик засобів вимірювання відносяться також їхні: 8) точність; 9) правильність; 10) збіжність; 11) стабільність.

Завдяки цим метрологічним характеристикам оцінюється технічний рівень та якість засобів вимірювання. Вони також дозволяють оцінити наперед очікувані результати вимірювань вибраним ЗВ.

Похибка вимірювань ЗВ – це відхилення результату вимірювання фізичної величини даним ЗВ від її істинного значення.

Характеристика перетворення ЗВ - відтворює функціональну залежність між вхідною вимірюваною величиною та вихідним сигналом ЗВ.

Діапазон вимірювання - це інтервал вимірюваної величини, у межах якого похибки ЗВ нормовані.

Варіація ЗВ - це найбільша різниця між двома показами ЗВ, коли одне і теж саме значення вимірюваної величини досягається внаслідок її збільшення та зменшення.

Чутливість ЗВ (S) - це відношення зміни вихідної величини ЗВ до зміни вхідної вимірюваної, яка спричинила цю зміну:

$$S = \Delta L / \Delta X \quad \text{або} \quad S = \Delta \varphi / \Delta X,$$

де ΔL та $\Delta \varphi$ зміни відповідних лінійної чи кутової вихідної величини ЗВ у мм, поділках та градусах повороту, а ΔX – зміна вхідної вимірюваної величини у відповідних одиницях.

Чутливість – це іменована величина з різними видами одиниць, які залежать від природи вхідної вимірюваної величини й вихідної ЗВ.

Наприклад, для реостатного перетворювача (реохорда) – це Ом/мм; для термопари – мВ/К; для двигуна – об/с*В.

Якщо ЗВ складається з ланцюга перетворювачів, то його чутливість дорівнює добутку чутливості усіх перетворювачів у ланцюгу.

Поріг чутливості ЗВ - це найменше значення вимірюваної величини, яке може бути виявлене ЗВ.

Клас точності ЗВ - визначає гарантовані межі значень основної та додаткових похибок ЗВ.

Швидкодія - показує час реагування ЗВ на зміну вхідної вимірюваної величини.

Точність ЗВ -- показує на близькість до нуля похибки ЗВ.

Правильність ЗВ - показує на близькість до нуля систематичної похибки ЗВ.

Збіжність ЗВ - це близькість результатів вимірювання однієї і тієї ж величини ЗВ у однакових умовах.

Стабільність ЗВ - показує незмінність у часі його метрологічних характеристик.

2.3. ОСНОВНІ ВИДИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

Основними видами засобів вимірювання є еталони, міри, вимірювальні перетворювачі, вимірювальні прилади, вимірювальні установки та вимірювальні системи (інформаційно-вимірювальні системи ІВС).

1. Еталони – це ЗВ, за допомогою яких ведеться відтворення та зберігання одиниць фізичних величин, з метою передачі їхніх розмірів зразковим мірам.

2. Міра – це ЗВ, який призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру (н., ваги – міра маси 0,5 кг). Використовується для повірки ЗВ, що розташовані на технологічних лініях виробництв, а також при реалізації диференціального методу вимірювань.

3. Вимірювальні перетворювачі – це ЗВ, що призначені для формування сигналу вимірювальної інформації про значення вимірюваної величини у формі зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки та збереження, хоч безпосередньо він не сприймається спостерігачем.

Необхідно відрізнити вимірювальні перетворювачі від перетворюючих елементів складних вимірювальних приладів. Перші (вимірювальні перетворювачі) – це ЗВ із нормованими метрологічними характеристиками, а другі – не мають самостійного метрологічного значення і без того приладу, у який вони входять, не використовуються.

Вимірювальні перетворювачі розділяють на чотири групи:

А) Первинні вимірювальні перетворювачі (ПВП) - це технічні засоби, що побудовані з використанням певного фізичного принципу й виконуючі тільки одне вимірювальне перетворення, як правило, перетворення фізичної величини в електричні величини. **ПВП** - ще називають сенсорами або датчиками (чутливими елементами). Вони безпосередньо знаходяться під дією вимірюваної величини, і формують сигнал вимірювальної інформації (здебільшого - аналоговий або частотний). ПВП зображуються на схемах автоматизації як ХЕ, де замість символу

X ставляться символи: L(рівень), Q(концентрація) і т.д., наприклад, FE (первинний вимірювальний перетворювач витрати).

Робота ПВП протікає в складних умовах, так як на об'єкт вимірювання, як правило, являє собою складний, багатогранний процес, що характеризується великою кількістю параметрів (тиск, температура, вологість, в'язкість і т. п.), кожний з яких діє на ПВП разом з іншими. ПВП проектується для вимірювання тільки одного конкретного параметру, який називається вимірюваною величиною, він виконує тільки одне вимірювальне перетворення, а усі інші параметри процесу, для даного ПВП, називаються факторами збурення.

У кожного ПВП є характеристика перетворення або функція перетворення – це залежність між вимірюваною величиною, яка краще всього сприймається ПВП на фоні факторів збурення, та його вихідним сигналом. Характеристика перетворення описується аналітичним виразом або графіком.

Б) Передавальні вимірювальні перетворювачі (ПП) – це комплекс технічних засобів, які зв'язані між собою лінією зв'язку і які забезпечують передачу вимірювальної інформації від місця її отримання до вторинного вимірювального засобу, що встановлений на деякій відстані. Такий комплекс ще називають системою дистанційної передачі (СДП). Передавальний перетворювач зображується на схемах автоматизації як ХТ, наприклад, FT (передавальний перетворювач витрати).

Система дистанційної передачі, як правило, складається із трьох основних елементів: 1) передавального перетворювача, який знаходиться у взаємодії є первинним вимірювальним перетворювачем; 2) лінії зв'язку по якій передається вимірювальна інформація; 3) вторинного вимірювального приладу, який призначений для відображення інформації у формі, зручній для сприйняття та для подальшого використання в системах контролю та керування.

У багатьох випадках передавальний перетворювач може одночасно виконувати функцію і первинного вимірювального перетворювача.

Вимірювання, перетворення, передача та відтворення інформації проходить за схемою:

ОБ'ЄКТ ⇒ **ПП** ⇒ **ЛІНІЯ ЗВ'ЯЗКУ** ⇒ **ВТОРИННИЙ** ⇒ **МП КОНТОЛЕР**
 (сенсор) (до 1000 м) **ПРИЛАД** **ЕОМ**

Системи дистанційної передачі у свою чергу розподіляються на дві великі групи:

А) - з уніфікованими сигналами, тобто, сигналами приведеними до виду і рівня, що відповідають вимогам стандарту ДСП;

Б) - з не уніфікованими (природними) сигналами, які додатково не змінюються, з метою приведення до стандартного вигляду, і передаються у вигляді, виробленому сенсором.

Тип передавального перетворювача вибирається в залежності від сигналу, який виробляє ПВП, та сигналу, який необхідно передавати по лінії зв'язку (струм, напруга, стиснене повітря).

В) Нормувальні перетворювачі – призначені для перетворення вихідних сигналів ПВП в уніфікований сигнал, як правило, по струму постійного в межах: 0 – 5 мА, 0 – 20 мА та 4 – 20 мА або по напрузі постійного струму 0 – 10 В.

Ланцюг: **ПВП** \Rightarrow **Нормувальний перетворювач** \Rightarrow **МП контролер** найбільш поширений в сучасних розподілених мікропроцесорних АСУ ТП та ІВС, оскільки мікропроцесорні системи працюють тільки з уніфікованими сигналами.

Г) Міжгілкові перетворювачі – це перетворювачі, що забезпечують зв'язок між гілками ДСП (пнемоелектричні, електропневматичні), а також перетворювачі, які призначені для приведення природних неуніфікованих сигналів до уніфікованого виду.

3. Вимірювальні прилади – це ЗВ, які призначені для формування вимірювальної інформації і формі доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем. За формою видачі інформації прилади поділяють на аналогові (покази є непереривною функцією вимірюваної величини), та цифрові, покази яких є дискретні, а інформація надається в цифровій формі.

Прилади розрізняють по функціями: показуючі, самописні, сигнальні, регулювальні, з лічильниками, з нормувальними перетворювачами, а також з іншими функціями.

Однією з основних частин вимірювальних приладів є шкала. Необхідно розрізняти такі терміни:

- початок шкали – це мітка, яка відповідає найменшому значенню вимірюваної приладом величини (нижня межа вимірювань приладу);
- кінець шкали – відповідно мітка найбільшого значення вимірюваної величини (верхня межа, границя вимірювань);
- нуль шкали – мітка, яка відповідає нульовому значенню вимірюваної величини;
- однобічна шкала – шкала, у якій нульова мітка співпадає з початком шкали;
- двобічна шкала – шкала, у якій нульова мітка не співпадає з початком шкали (мілівольтметр зі шкалою вимірювання в діапазоні від -50 до + 50 мВ);
- без нульова шкала, яка не має нульової мітки (медичний термометр).

4. Вимірювальна установка – сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних приладів, перетворювачів та інших допоміжних пристроїв, розміщених в одному місці і пов'язаних єдністю конструктивного виконання, і яка призначена для формування сигналів вимірювальної інформації у формі, доступній для сприйняття спостерігачем. Наприклад, установка для визначення якості хліба, виноматеріалів і інші.

5. Вимірювальна система (ІВС) – сукупність ЗВ (мір, вимірювальних перетворювачів та приладів) і допоміжних пристроїв, з'єднаних між собою каналами зв'язку, і яка призначена для формування сигналів вимірювальної інформації у формі, доступній для автоматичного опрацювання, передачі і використання в АСУ ТП.

2.4. СТРУКТУРНІ СХЕМИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

Аналіз принципів дії різних ЗВ по їхнім структурним особливостям, дозволяє розділити їх на дві групи із суттєво різними вимірювальними ланцюгами.

1) **Перша група – це ЗВ із розімкненою структурою.** Структура утворюється ланцюгом із послідовно з'єднаних ланок перетворювачів.

Простішим прикладом ЗВ із розімкненою структурою є комплект для вимірювання температури за допомогою термопари та мілівольтметра (приладу електромеханічної системи). Структурну схему такого комплексу можна надати ланцюгом із послідовно з'єднаних термопари та перетворювачів П1 та П2, які складають прилад електромеханічної системи:

$$\text{Термопара } (U_{TEPC}) \Rightarrow \text{П1 } (I_T) \Rightarrow \text{П2 } [M = f(I) = \alpha].$$

На виході термопари одержують напругу термоелектрорушійної сили, яка пропорційна вимірюваній в об'єкті температурі і яка надходить на вхід першого перетворювача П1 вторинного приладу. П1 – це вхідна схема, яка перетворює вхідну напругу U_{TEPC} у проміжну величину (вихідний струм I_T) і яка використовується для подальшого перетворення у вимірювальному механізмі П2 в механічний момент M . Далі момент M перетворюється в кут відхилення α повертаючої частини вимірювального механізму приладу, який в свою чергу проградуєований в одиницях вимірюваної температури.

Це структура ЗВ, яка реалізує метод вимірювання - безпосередньої оцінки.

Змінюючи ПВП (датчик), можна за такою структурою отримати вимірювальні пристрої для оцінки різних фізичних величин.

2) Друга група - це ЗВ із замкнутою структурою і являють собою слідкуючі системи автоматичного регулювання з від'ємним зворотним зв'язком, за наявності якого в цих ЗВ автоматично виконується порівняння його вихідної величини $X_{вих}$ із вхідною вимірюваною величиною $X_{вх}$.

Замкнута структура утворюється також із ланцюга з послідовно з'єднаних перетворювачів із передавальними функціями, але має у своєму складі ще елемент порівняння ЕП та ланцюг від'ємного зворотного зв'язку, у якому розміщена ланка, наприклад, з коефіцієнтом передачі, що = -1 (замкнута структура з одиночним від'ємним зворотним зв'язком). Ланка змінює знак вихідної величини $X_{вих}$, що надходить на елемент порівняння (рис. 2.1). Різниця сигналів на виході елемента порівняння $\Delta X = X_{вих} - X_{вх}$ є розузгодження, яке, після підсилення в послідовному ланцюгу перетворювачів, діє на систему таким чином, що система спрямовується прийняти новий стан, в якому різниця (розузгодження) наближається до нуля.

Замкнута структура може бути статичною та астатичною.

Якщо в складі замкнутої структури немає інтегруючої ланки, то вона є статичною:

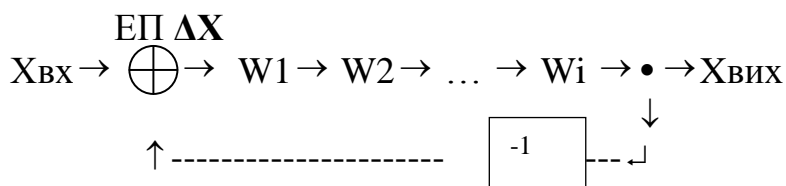


Рис.2.1 . Статична замкнута структура ЗВ.

В астатичній вимірювальній системі (рис.2.2) в складі структури може бути ввімкнута одна або декілька інтегруючих ланок, які роблять систему з астатизмом певного порядку. Структура астатичної системи першого порядку:

ЕП ΔX

]

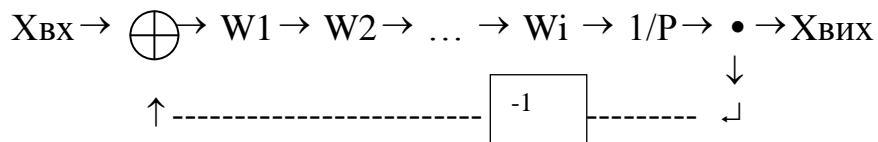


Рис.2.2. Астатична замкнута структура ЗВ першого порядку.

Прикладами астатичної вимірювальної системи (рис.2.2) є схеми автоматичних мостів та потенціометрів. Астатичні вимірювальні системи характеризуються високою швидкістю та малою чутливістю до змін зовнішніх впливаючих факторів, а основний недолік статичних – наявність статичної похибки недокомпенсації (в них різниця ΔX не може дорівнювати нулю).

2.5. ДЕРЖАВНА СИСТЕМА ПРИБАДІВ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

ДСП – це експлуатаційно, інформаційно, енергетично, метрологічно та конструктивно організовану сукупність ЗВ, засобів автоматизації та засобів керуючої техніки для побудови різноманітних АСУТП.

Основне призначення ДСП - комплексне забезпечення технічними засобами вимірювання, контролю та керування технологічних процесів у промисловості.

При створенні та розвитку ДСП використовуються такі **основні схемо-технічні признаки**: 1) агрегування; 2) уніфікація; 3) мінімізація номенклатури; 4) формування гнучких перебудовуємих компонентів системи; 5) реалізація в засобах та пристроях раціональних естетичних та ергономічних вимог.

Принцип агрегування проявляється в тому, що нарощування та зміна виду функцій приладів і засобів здійснюється в результаті з'єднання уніфікованих блоків (модулів), без додаткових змін цих виробів.

Уніфікація – забезпечує комплексну сумісність виробів по їх інформаційним сигналам, інтеграції, елементній базі, конструкції, блокам живлення і іншим показникам.

Мінімізація номенклатури – реалізується, на базі розробки та випуску агрегатних комплексів, технічних засобів та уніфікованих комплексів пристроїв одного функціонального призначення.

Реалізація раціональних вимог технічної естетики та ергономіки – забезпечує утворення технічних засобів ДСП, які відповідають єдиному стилю.

Формування гнучких перебудовуємих компонентів системи – забезпечується наявністю в складі ДСП пристроїв та блоків, що забезпечують утворення перебудовуємих гнучких систем, які дозволяють у процесі експлуатації АСУТП змінювати її функції.

За родом енергії живлення та носія сигналу вироби ДСП поділяються на електричні, пневматичні, гідравлічні, комбіновані та без використання зовнішньої енергії.

Електрична гілка ДСП – це ряд приладів та засобів автоматизації, у яких у якості живлення використовується електрична енергія, а носієм інформації є постійний струм. У свою чергу їх розділяють на аналогові та дискретні (цифрові), з відповідними стандартними уніфікованими сигналами.

Найширше використовуються технічні засоби ДСП зі струмовими аналоговими інформаційними сигналами: (0 – 5) мА, (0 – 20) мА та (4 – 20) мА, та сигналом по напрузі (0 – 10) В.

Пневматична гілка ДСП - це ряд приладів та засобів автоматизації, у яких для живлення використовується стиснуте повітря в 140 кПа, а енергетичним носієм інформації є стандартний пневматичний сигнал (20 – 100) кПа.

Гідравлічна гілка ДСП - це ряд приладів та засобів автоматизації, у яких джерелом зовнішньої енергії є стиснута рідина (вода, трансформаторне або турбінне мастило) від 0,16 до 6,4 МПа. Носій інформації – гідравлічний сигнал.

Комбінована гілка ДСП – це низка ЗВ та засобів автоматизації, об'єднаних за допомогою міжгілкових перетворювачів. Найчастіше використовуються пневматичні сенсори і виконуючі механізми з електричними приладами та мікропроцесорними системами. Функціонування такої комбінації технічних засобів забезпечується за допомогою пневмо-електричних та електропневматичних перетворювачів, у яких уніфікованими, як правило, є сигнали (20 – 100) кПа по тиску та (0 – 5) мА по струму.

У гілці приладів і засобів автоматизації, що працюють **без стороннього джерела енергії**, використовується енергія середовища, параметри якого вимірюються та регулюються.

2.6. АГРЕГАТНІ КОМПЛЕКСИ

ДСП розвивається в напрямках: 1) - створення уніфікованих комплексів засобів різного функціонального призначення та 2) - створення параметричних рядів технічних засобів у межах одного функціонального призначення.

На базі параметричних рядів обох напрямків, утворюються агрегатні комплекси (АК) технічних засобів ДСП.

АК – це сукупність технічних засобів вимірювання, контролю та керування, які характеризуються метрологічною, інформаційною, конструктивною та експлуатаційною сумісністю.

Для утворення виробу в межах агрегатного комплексу використовуються типові блоки, модулі та уніфікована елементна база.

Переваги агрегатного комплексу в тому, що створення технічних засобів у його межах здійснюється за раціонального мінімуму конструктивних елементів, що спрощує та зменшує витрати на їх обслуговування.

Суттєві можливості агрегування в тому, функціонально складні пристрої та системи утворюються з обмеженого складу простих уніфікованих виробів, шляхом їхнього з'єднання на базі інформаційної та конструктивної єдності.

У складі ДСП випускається понад 20 АК.

Наприклад, АК **вторинних приладів КС та КП** – це комплекс автоматичних компенсаторів (струму та напруги), потенціометрів та мостів, який дозволяє виконувати вимірювання та реєстрацію сигналів від різноманітних первинних вимірювальних перетворювачів.

АК «АСК» - це комплекс аналогових пристроїв сигналізації, який має у своєму складі малогабаритні одно- та багатоканальні (багато точкові) прилади, які монтуються на щитах керування. Вони працюють із вимірювальними

перетворювачами сили стуму, напруги, термоелектричними перетворювачами та термоперетворювачами опору.

АК «Старт» та «Старт 2» - це комплекс засобів централізованого контролю і регулювання, які побудовані на базі елементів промислової пневмоавтоматики. В їх складі: показуючі та самописні пневматичні прилади, а також функціональні блоки та регулятори.

АК «АСАТ» - це комплекс засобів аналітичної техніки, який має декілька параметричних рядів по виду вимірювань: фотометричний «АСАТ- Ф»); кондуктометричний «АСАТ - К»); потенціометричний «АСТ – П».

АК «АСИМ» - це комплекс засобів вимірювання та дозування маси.

2.7. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПОВІРКА ЗВ

Метрологічне забезпечення вимірювань - це встановлення і застосування метрологічних норм та правил, а також розроблення, виготовлення і застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності та заданої точності вимірювань. Розрізняють наступні основи метрологічного забезпечення:

Організаційні основи метрологічного забезпечення, куди входять:

1. Метрологічні служби центральних органів виконавчої влади.
2. Метрологічні служби підприємств та організацій.

Технічні основи метрологічного забезпечення, куди входять:

1. Система державних одиниць ФВ.
2. Система - передачі розмірів цих одиниць від еталонів до всіх ЗВ.
3. Система стандартних довідкових даних про фізичні константи, зразки складу та властивостей речовин і матеріалів.
4. Система - розробки, постановки на виробництво та випуск в обіг робочих ЗВ необхідної точності для промисловості.
5. Система обов'язкових державних та відомчих повірок і метрологічної атестації ЗВ.

Результати вимірювань у більшості залежать від ЗВ (їхнього стану та класу точності), а також від кваліфікації обслуговуючого персоналу. Висока точність вимірювань може бути досягнута тільки в такому стані ЗВ, коли вони проградуєвані в прийнятих одиницях, а їхні метрологічні характеристики відповідають нормам. ЗВ повинні бути завчасно відремонтовані, повірені в метрологічних установах, ще й мати належне обслуговування.

Важливою формою державного нагляду за засобами вимірювальної техніки є державна та відомча повірка. **Повірка** – це операція, суть якої полягає в установленні придатності ЗВ до використання вже виготовленого ЗВ, на основі проведення досліджень по визначенні його метрологічних характеристик і їхній відповідності нормам.

Повірку ЗВ проводять органи державної метрологічної служби, які атестовані на право її проведення, а також організації та відомства, яким це право надано в установленому порядку.

Повірку проводять у відповідності з нормативно-технічною документацією (НТД) по повірці, яка розробляється у відповідності зі стандартами метрології.

У відповідності з ДСТУом ЗВ підлягають:

- **первинній повірці**, яка проводиться після виготовлення ЗВ, або після його ремонту;

- **періодичній повірці**, що проводиться при експлуатації або зберіганні ЗВ через певні інтервали між повірками, які встановлені розрахунками забезпечення метрологічної відповідності ЗВ на період між повірками;

- **позачергова повірка**, що проводиться при експлуатації або зберіганні ЗВ, якщо необхідно впевнитись в придатності до використання ЗВ;

- **інспекційна повірка**, що проводиться для виявлення придатності ЗВ до використання органами держнагляду або відомчого контролю, при виконанні ними своїх службових обов'язків по контролю за станом та використанням ЗВ;

- **експертна повірка**, що проводиться при виникненні сумнівних питань по метрологічним характеристикам ЗВ та можливості його використання.

Позитивні результати повірки закріплюються повірочним тавро, або ж виданням свідоцтва про повірку, чи метрологічну атестацію.

Ще одною формою державного нагляду за ЗВ - є **держані випробовування**, що виконуються державною метрологічною службою для дослідження зразків або партій ЗВ, які призначені для серійного виробництва, на їхню відповідність вимогам НТД.

Головна мета держвипробовувань – забезпечення високого технічного рівня приладобудування, відповідність технічних та метрологічних характеристик ЗВ вимогам народного господарства та світовому ринку.

У відповідності із Законом «Про метрологію і метрологічну діяльність» держвипробовування ділять на приймальні та контрольні.

Приймальні держвипробовування – мають на меті визначення, по метрологічним характеристикам ЗВ, доцільність їхнього виготовлення серійно або по поставок із-за кордону, з подальшим затвердженням їх типів.

Державні контрольні випробовування проводяться для серійно виготовлених ЗВ, з метою підтвердження їхньої відповідності встановленим вимогам та метрологічним нормам, доцільності подальшого виготовлення.

[1, с.: 254...323; 4, с.: 27...28]

Контрольні запитання до розділу 2

1. Дати визначення засобу вимірювань (ЗВ), структурні схеми ЗВ.
2. Привести класифікацію ЗВ.
3. Привести класифікацію вимірювальних перетворювачів.
4. Призначення державної системи приладів та засобів автоматизації.
5. Які знаєте способи вимірювань?
6. Що таке метрологічне забезпечення вимірювань і його види?
7. Призначення та види агрегатних комплексів.

ЛЕКЦІЯ № 14

ПОХИБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

14.1. РОЗПОДІЛ ТА ПРИНЦИПИ ОЦІНЮВАННЯ ПОХИБОК

Результати вимірювання (далі **РВ**) будь-якої фізичної величини за допомогою засобів вимірювання являють собою приблизну оцінку її значення, так як результат вимірювань у загальному залежить від використаного методу та засобу вимірювань, від самої фізичної величини та експериментатора.

Якість РВ та якість засобів вимірювання (ЗВ) прийнято характеризувати показом їхніх похибок. **У загальному, похибка вимірювань – це критерій якості проведених вимірювань** і, являє собою відхилення результату вимірювання фізичної величини від її істинного значення. Поняття похибки використовується для оцінки характеристик як ЗВ так і РВ.

Основні причини виникнення похибок: недосконалість методів та засобів вимірювання, зміна умов проведення експерименту, яка може впливати на саму фізичну величину та засоби вимірювання і самого експериментатора. Кожна з наведених причин виникнення похибок зумовлена впливом багатьох чинників, які формують основні складові загальної похибки вимірювання.

Різноманітним є також і характер прояву похибок. Похибки розподіляють на види і їх існує біля 30. Персонал, що зв'язаний із вимірюваннями, повинен чітко засвоїти їхню термінологію.

У першу чергу, потрібно відрізнити **похибку засобу вимірювання та похибку результату вимірювань**. Ці поняття не ідентичні.

Похибка результату вимірювань $\Delta_{РВ}$ - це число, яке показує можливі межі невизначеності значення вимірюваної фізичної величини (ФВ), тобто, $\Delta_{РВ}$ оцінює відхилення результату $X_{ВИМ}$ вимірювання ФВ певним ЗВ від її істинного Q_{ICT} (чи дійсного $Q_{дійс}$) значення в об'єкті.

Похибка засобу вимірювання $\Delta_{ЗВ}$ - це властивість ЗВ, вимірювати ФВ з наперед заданою межею невизначеності, і для визначення цієї властивості у ЗВ необхідно попередньо провести його метрологічні дослідження, використовуючи відповідні правила метрологічної атестації або перевірки.

Історично частина назва виду похибок закріпилась за засобами вимірювань, друга частина - за похибками результатів вимірювань, а деякі використовуються по відношенню як перших, так і других. Тому, розглядаючи в подальшому ці терміни, будемо звертати увагу на межі їхніх використання.

РОЗПОДІЛ ПОХИБОК ЗА СПОСОБОМ ЧИСЛОВОГО ВИРАЖЕННЯ.

За способом числового вираження розрізняють два види похибок: **абсолютні та відносні**, а також різновид відносних - **приведені**.

Абсолютною похибкою вимірювання ΔX називається різниця між результатом вимірювання (показом приладу) $X_{ВИМ}$ та істинним (дійсним) значенням Q_{ICT} вимірюваної величини («виміряне мінус істинне») і надається в одиницях вимірюваної величини:

$$\Delta X = X_{ВИМ} - Q_{ICT} = X_{ВИМ} - Q_{дійс}. \quad (3.1)$$

Так як істинне значення Q_{ICT} вимірюваної величини не відоме, то не відома й похибка вимірювання. Тому для одержання, хоча б приблизних відомостей про неї у формулу (3.1) підставляють $Q_{дійс}$ вимірюваної величини.

Абсолютна похибка не може в повній мірі використовуватись як показник точності проведених вимірювань, так як одне й теж її значення, наприклад, $\Delta X = 0.05\text{мм}$ при $Q_{\text{дійс}} = 100\text{мм}$ – відповідає відносно високій точності вимірювань, а в другому випадку при $Q_{\text{дійс}} = 1\text{мм}$ – низькій. Тому, для більш наглядної оцінки точності проведених вимірювань, введено поняття відносної похибки.

Відотною похибкою вимірювання γ_s називається похибка, яка визначається як відношення абсолютної похибки вимірювань до істинного $Q_{\text{іст}}$ чи дійсного $Q_{\text{дійс}}$ значення вимірюваної величини у відповідній точці і подається в долях одиниці або у відсотках (%):

$$\begin{aligned} \gamma_s &= (\Delta / Q_{\text{дійс}}) * 100\% = [(X_{\text{вим}} - Q_{\text{іст}}) / Q_{\text{іст}}] * 100\% = \\ &= [(X_{\text{вим}} - Q_{\text{дійс}}) / Q_{\text{дійс}}] * 100\%. \end{aligned} \quad (3.2)$$

При використуванні поняття γ_s для розглянутого вище випадку, високій точності вимірювань відповідає мале значення відносної похибки:

$$\gamma_s = (0,05/100) * 100\% = 0,05\%, \text{ а низькій – велике: } \gamma_s = (0,05/1) * 100\% = 5\%.$$

Але і така наглядна характеристика точності РВ не завжди придатна, наприклад, для нормування похибок ЗВ, так як дійсне значення вимірюваної величини по діапазону його вимірювання (в цьому випадку це значення міри, що приведенне до взаємодії з ЗВ), може дорівнювати нулю. У цьому випадку характер зміни відносної похибки ЗВ по його діапазону вимірювання має вигляд гіперболи:

відносна похибка приймає значення безмежності на початку діапазону ЗВ, а найменше значення має в його кінці. У зв'язку із цим, для показу й нормування похибок ЗВ, використовується різновид відносної похибки – приведена похибка.

Приведеною похибкою (вона відноситься тільки до ЗВ) $\gamma_{\text{пр}}$ називається відношення абсолютної похибки до розмаху N шкали ЗВ (або до його діапазону D), виражене відсотках (може бути виражене і в долях одиниці):

$$\gamma_{\text{пр}} = (\Delta X / N) * 100\% = (\Delta X / D) * 100\%. \quad (3.3)$$

При постійній абсолютній похибці по діапазону вимірювання, приведена похибка теж постійна й дорівнює відносній похибці в кінці діапазону.

ПРИНЦИПИ ОЦІНЮВАННЯ ПОХИБОК.

Оцінювання похибок проводиться з метою отримання об'єктивних даних про точність результату вимірювання. Оцінюють похибку приблизно з точністю, яка відповідає меті вимірювання. Реальні значення похибки РВ повинні бути і не завищені, і не занижені. Надмірна точність веде до недоцільної витрати коштів на точні ЗВ та часу на вимірювання, а недостатня – може привести до хибного рішення, наприклад, визнанню придатним до використання практично не придатного для цього продукту, або виробу, або ЗВ.

Оцінювання похибки може бути апіорне та апостеріорне.

Апіорна оцінки похибки – це перевірка можливості забезпечення необхідної точності до проведення вимірювань, які будуть проводитись в певних умовах вибраним методом та за допомогою конкретного ЗВ. Вона проводиться у випадках:

- вибору ЗВ для вирішення конкретної вимірювальної задачі;
- при нормуванні метрологічних характеристик ЗВ;

- при виборі методик проведення вимірювань.

Апостеріорна оцінка похибки (після вимірювань) – проводиться у випадках:

- метрологічної атестації ЗВ або його повірці;

- коли апріорна оцінка незадовільна із-за неврахування індивідуальних властивостей використаного ЗВ.

Її необхідно розглядати як корекцію апріорної оцінки похибки.

Похибка вимірювань описується певною математичною моделлю. Вибір моделі опису ґрунтується на отриманих апріорних відомостях про джерела похибок, а також даних, що отримані при проведенні вимірювань.

У загальному випадку за багаторазових вимірювань математичну модель абсолютної похибки Δ вимірювань надають у вигляді декількох складових, а в мінімумі як суму двох складових, **які розрізняються за закономірностями прояву:**

$$\Delta = \Delta_c + \Delta_v, \quad (3.4)$$

де Δ_c та Δ_v систематична (ССП) та випадкова (ВСП) складові похибки. Кожна із цих складових обумовлена дією різних чинників і може складатись у свою чергу ще з декількох складових. При такому додаванні ВСП повинна бути визначена як довірча межа інтервалу невизначеності і відповідати певній довірчій ймовірності.

3.2. КЛАСИФІКАЦІЯ СКЛАДОВИХ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ

1. Класифікація складових похибки за закономірностями прояву.

А) Випадкова складова похибки (ВСП) Δ_v - це складова похибки вимірювань, яка змінюється за повторних вимірювань однієї і тієї ж величини ФВ випадковим чином, і в появі різних значень якої не вдається визначити будь-яку закономірність. ВСП - це похибка, яка непередбачувана ні по знаку, ні по розміру, або недостатньо вивчена. ВСП визначаються сукупністю причин, які важко проаналізувати. Чинники, які визивають ВСП, з'являються нерегулярно і зникають несподівано, або проявляються з непередбачуваною інтенсивністю. Присутність випадкової похибки легко визначається при повторних вимірах незмінної ФВ і проявляється у вигляді деякого розкиду результатів вимірювань.

Головна особливість ВСП при вимірюванні є її непередбачуваність від одного вимірювання до іншого і не завжди можна встановити причину її виникнення. Тому величину ВСП характеризують показом закону розподілу її ймовірності, або показом параметрів цього закону, розроблених в теоріях ймовірності та математичної статистики.

Б) Однією із різновидностей ВСП є промах – надмірна ВСП. Промах, або груба похибка – це похибка окремого результату вимірювань (РВ), яке входить в ряд вимірювань, що за даних умов різко відрізняється від інших РВ цього ряду. Основне джерело їх виникнення – це різкі зміни умов проведення вимірювань або похибка оператора (різка зміна напруги живлення мережі, неправильний відлік по шкалі приладу або його запис). При одноразових вимірюваннях визначити промах неможливо. Для зменшення його появи проводять 2-х – 3-х разові вимірювання, а за результат приймають середнє значення. При багаторазових вимірюваннях для визначення промахів використовуються статистичні критерії. Промахи не враховуються при обробці результатів вимірювань.

В) Під систематичною складовою похибки (ССП) Δ_c розуміється складова загальної похибки, яка залишається постійною або закономірно змінюється при повторних вимірах однієї і тієї ж фізичної величини.

До чинників першого виду, які обумовлюють появу систематичних похибок належать: 1) неправильне градування ЗВ; 2) зміщення нуля ЗВ (приладу). Коли налаштовують ЗВ, то кажуть, що його "налаштували на нуль". У процесі роботи ЗВ це налаштування поступово збивається, тобто, з'являється похибка, яка закономірно змінюється в часі і яку часто називають ще функціональною, так як її зміну в часі можна записати у вигляді математичної функції.

Прикладом систематичної похибки є похибка термоелектричного термометра, що закономірно змінюється внаслідок зміни температури вільних кінців термопари. Прикладом другого виду систематичних похибок – є більшість додаткових похибок, які є незмінними в часі функціями різних факторів (температури навколишнього середовища, напруги живлення, вологості і т. п.).

У процесі вимірювання значення фізичної величини, з урахуванням дії багатьох чинників проявляються одночасно обидві складові абсолютної похибки Δ вимірювання: як випадкова ВСП (Δ_v) так і систематична ССП (Δ_c). Випадкова похибка характеризує відхилення окремого результату вимірювання від певного центра її групування, а систематична – характеризує зміщення цього центру відносно істинного значення вимірюваної величини.

У загальному випадку абсолютна похибка Δ вимірювань – є випадковою функцією часу і не можна сказати, яке значення вона матиме в певний момент часу. Можна лише говорити про ймовірність появи її значення в тому чи іншому інтервалі.

Г) По закономірності прояву розрізняють також прогресуючі (дрейфові) похибки - це складові похибки, які повільно (поступово) змінюються в часі і визиваються як правило старінням деталей ЗВ. Особливість - вони можуть бути скориговані введенням поправки, але тільки на деякий час, а потім вони знову монотонно зростають. Чим менше необхідне значення прогресуючої похибки, тим частіше необхідно проводити її корекцію.

2. За місцем виникнення похибки вимірювань поділяють на методичні та інструментальні.

Методичні похибки - складові похибки вимірювання, які виникають через недосконалість методу вимірювання та граничними межами точності значень використаних фізичних констант і припущень в розрахункових формулах.

Інструментальні похибки - це складові похибки вимірювання фізичної величини, які залежать від похибки використаних засобів вимірювання.

Вони визначаються конструктивними, технологічними або схемними недоліками ЗВ. Інструментальні систематичні похибки виявляють шляхом повірки засобу вимірювання по зразковому ЗВ більш високої точності.

3. За наявністю бо відсутністю функціонального між похибкою вимірювання та значенням вимірюваної величини розрізняють адитивну та мультиплікативну складові похибок вимірювання. Ці терміни служать опису смуги похибок ЗВ.

Адитивна (від лат. *additivus* – додавання) – це похибка, значення якої не залежить від вимірюваної величини (похибка додавання до нуля). Адитивна похибка має сталі значення по всій характеристиці перетворення ЗВ або по всій шкалі приладу. Це поняття однаково використовується як для випадкових, так і для систематичних похибок.

Прикладом систематичної адитивної похибки є неточність налаштування приладу на нуль, тобто, похибка зміщення нуля приладу, яка приводить до того, що реальна статична характеристика приладу зміщується по відношенню до його номінальної характеристики на величину систематичної адитивної похибки Δ_{ca} . Ще приклад – наявність постійної додаткової ваги на чашках ваговимірювального пристрою. Для усунення таких похибок в багатьох ЗВ, передбачений механічний або електричний пристрій для встановлення нуля (коректор нуля).

Прикладом випадкових адитивних похибок – похибка наведення змінної Е.Р.С. на вхід приладу, похибка теплового шуму чи ненадійного контакту при вимірюванні опору. Граничні межі такої похибки утворюють на характеристиці перетворення приладу смугу постійної ширини, величиною в граничне значення випадкової адитивної похибки $\Delta_{ва}$.

У разі суто адитивної смуги похибок абсолютна похибка вимірювань Δ по діапазону вимірювання приладу залишається незмінною для будь-яких значень вимірюваної фізичної величини.

Мультиплікативна (від лат. *multiplicatio* – множення) – це похибка, яка прямо пропорційно залежить від значення вимірюваної величини (її ще називають похибкою чутливості і вона теж може бути випадковою або систематичною).

Причини виникнення – зміна чутливості ЗВ, що зв'язана зі зміною, наприклад, коефіцієнта підсилення підсилювача, або зі зміною жорсткості мембрани чутливого елемента манометра, або протидіючої пружини електромеханічного приладу.

Оскільки в разі суто мультиплікативної смуги похибок абсолютна похибка Δ вимірювань збільшується пропорційно поточному значенню X вимірюваної ФВ, то відносна похибка $\gamma_s = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\%$ є постійною за будь-якого значення X вимірюваної величини.

3.3. ПОХИБКИ ЗВ ТА ЇХНІ НОРМОВАНІ ЗНАЧЕННЯ. КЛАС ТОЧНОСТІ ЗВ

Різні ЗВ (вимірювальні прилади і перетворювачі, датчики, канали ІВС) мають похибки, характер прояву яких може бути суттєво різним:

по-перше, у одних ЗВ похибка може бути практично адитивна, у других присутні і адитивні, і мультиплікативні складові, у третіх залежність похибки від вимірюваної величини може бути ще складнішою;

по-друге, кожний конкретний ЗВ має як випадкову так і систематичну складові похибки, причому їх співвідношення може бути різним;

по-третє, умови роботи однотипних ЗВ можуть також суттєво відрізнятись.

Для того щоб орієнтуватись у метрологічних характеристиках конкретного ЗВ, щоб завчасно оцінити похибку, яку внесе даний ЗВ в кінцевий результат використовують так звані нормовані значення похибки ЗВ.

Під нормованим значенням похибки розуміється граничне значення похибки для даного ЗВ у відповідності з його класом точності.

При цьому похибки, наприклад, окремих екземплярів ЗВ одного і того ж типу, що відносяться до ДСП, можуть відрізнятися по ВСП чи ССП, але в цілому для даного типу ЗВ похибки не перевищують гарантованого значення.

Нормуються основна та додаткові похибки ЗВ. Тільки границі (межі) основної похибки, а також коефіцієнти впливу додаткових похибок і заносяться в паспорт кожного ЗВ. Правила, у відповідності з якими назначаються ці межі, або кажуть процедура нормування похибки ЗВ, ґрунтується на системі стандартів, які забезпечують єдність вимірювань.

Основна похибка ЗВ – це похибка ЗВ при нормальних умовах його використання. Вона визначається в наслідок проведення метрологічних випробувань ЗВ: або метрологічної повірки ЗВ, якщо ЗВ виготовляються серійно; або метрологічної атестації, якщо ЗВ відноситься до нестандартних ЗВ, що виготовляються невеликими партіями.

Під нормальними умовами експлуатації ЗВ розуміється умови, що окремо можуть бути указані в паспорті ЗВ, або загально прийняті наступні:

- напруга мережі живлення - $\approx (220_{-33}^{+22})$ В;
- температура навколишнього середовища – $(20 \pm 2)^\circ$ С;
- відносна вологість – від 30 до 80 відсотків;
- тиск – (760 ± 25) мм рт. ст. (101325 Па);
- відсутність зовнішніх електричного та магнітного полів, крім земного.

Основна похибка ЗВ може надаватись як абсолютною Δ_o , так і приведеною γ_{np} . **Основна приведена похибка ЗВ визначає його клас точності.**

Додаткові похибки – це похибки, які виникають при відхиленні умов використання ЗВ від нормальних і нормуються, показуванням впливу зміни окремого фактору на зміну показів ЗВ, у вигляді певного коефіцієнта або відсотка від основної похибки. Наприклад, при зміні при зміні напруги живлення в межах +10 та -15 відсотків від номінального значення ≈ 220 В, додаткова похибка не повинна перевищувати $0,15$ основної приведеної γ_{np} похибки.

Клас точності ЗВ – це його загальна характеристика, яка визначає гарантовані межі значення основної та додаткової похибок ЗВ, а також інші властивості ЗВ, які впливають на його точність.

Виражене в процентах значення основної приведеної похибки ЗВ, яке визначене при проведенні метрологічних досліджень ЗВ та відповідним чином округлене, визначає клас точності ЗВ. Клас точності визначають числа, які отримані при атестації ЗВ, і вибрані із ряду 6-4-2,5-1,5-1,0-0,5-0,2-0,1-0,05-0,02-0,01-0,005-0,002-0,001 і т.д. Значення класу точності наносять на шкалу приладу.

Відповідність похибки ЗВ, присвоєному йому класу точності за час експлуатації, перевіряється при періодичних повірках.

Основні способи встановлення граничних значень допустимих похибок і позначення класів точності ЗВ регламентується відповідним стандартом .

Експлуатаційна похибка ЗВ – це похибка в реальних умовах використання ЗВ і складається із його основної похибки та всіх додаткових похибок. Вона може бути набагато більшою за основну похибку, так як додаткові похибки відповідним чином додаються до основної. Всі складові експлуатаційної похибки оговорюються в технічній документації на ЗВ і визначаються при метрологічних випробовуваннях, у відповідності з розробленими по стандарту методиками.

В техніці вимірювань використовують **поняття допустимої основної похибки ЗВ**, яка дозволяє проводити вимірювання за допомогою конкретного ЗВ з наперед заданою точністю. Допустима основна похибка ЗВ - це найбільша похибка результатів вимірювання даним ЗВ, яка допустима стандартом для його класу точності.

3.4. МЕТОДИ НОРМУВАННЯ ПОХИБОК ЗВ ТА ПРАВИЛА ЇХНІХ ОКРУГЛЕНЬ

1). Одним із способів нормування основної похибки - це спосіб метрологічної атестації ЗВ, у відповідності з програмою та методикою її проведення, а також методикою статистичної обробки результатів. Результат атестації – є визначення максимальної основної абсолютної похибки ЗВ в діапазоні **D** його вимірювання, яку для всіх точок діапазону, при відсутності варіації, вираховують за формулою:

$$\Delta_{\text{осн}} = |\Delta_{\text{с}}| + 2\sigma_x \quad (3.5)$$

та розрахунку приведеної похибки в діапазоні вимірювання **D**, яка визначає клас точності ЗВ:

$$\gamma_{\text{пр}} = (\Delta_{\text{оснmax}} / D) * 100\%,$$

де $\Delta_{\text{оснmax}}$ - найбільше значення $\Delta_{\text{осн}}$ в діапазоні **D**.

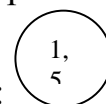
Крім цього, основна похибка ЗВ, які виготовляються великими партіями, наприклад, прилади для вимірювання напруги, струму, опору, нормуються ще декількома способами.

2). При чисто мультиплікативній смузі похибок, абсолютна похибка ЗВ $\Delta(x)$ по діапазону зростає пропорційно плинному значенню **X** вимірюваної величини, але відносна похибка Δ_s є постійною при будь-якому значенні **X**. Тому відносну похибку γ_s використовують для нормування похибок такого ЗВ і для вказування його класу точності. Таким способом нормуються: подільники напруги, шунти, вимірювальні трансформатори. Крім цього, для ЗВ, які нормуються похибкою чутливості γ_s , завжди показують межі робочого діапазону, в яких ця оцінка залишається справедливою, а абсолютну похибку результату вимірювань при відомій γ_s , розраховують за формулою:

$$\Delta_{\text{осн}} = \gamma_s * X \quad (3.6)$$

Якщо клас точності приладу встановлений по значенню похибки чутливості γ_s , тобто, форма смуги похибки прийнята мультиплікативною, зображення на шкалі значення класу точності обводять кружком. Наприклад,

зображення визначає, що відносна похибка $\gamma_s = 1,5\%$ ($\gamma_s = \frac{\Delta_{\text{осн}}}{x} * 100\%$):



3). При часто адитивній смузі похибок, залишається незмінною границя абсолютної похибки $\Delta(x)$ по всьому діапазоні $\Delta(x) = \Delta_0 = \text{const}$. У цьому випадку нормують не абсолютне значення Δ_0 , а приведенне значення цієї похибки:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta_0}{X_N} 100\%, \quad (3.7)$$

де X_N - так зване нормоване значення цієї вимірюваної величини.

У відповідності з ГОСТ нормоване значення X_N для приладів з рівномірною шкалою, якщо нульова відмітка знаходиться на краю шкали або поза нею, дорівнює верхній границі діапазону вимірювання. Якщо ж нульова відмітка знаходиться посередині шкали, то X_N дорівнює, наприклад, діапазону від (-30 А) до (+30 А). Якщо смуга похибок прийнята адитивною і прилад нормується приведеною похибкою нуля γ_0 (таких приладів більшість), то клас показується без будь-яких підкреслень. Наприклад, просто 1,5.

4). При одночасній присутності як адитивної так і мультиплікативної складових похибок смуга похибок має трапецієвидну форму, а плинне значення абсолютної похибки $\Delta(x)$ в функції вимірюваної величини x описується співвід-

$$\Delta(x) = \Delta_0 + \gamma_s * x, \quad (3.8)$$

де Δ_0 - адитивна складова; γ_s - відносна похибка чутливості;

$\gamma_s * x$ - мультиплікативна складова загальної абсолютної похибки.

Визначимо загальну приведену похибку $\gamma_{np}(x)$ для цього випадку.

Розділимо складові рівняння (3.8) на межу вимірювання X_K (кінцеве значення діапазону):

$$\frac{\Delta(x)}{X_K} = \frac{\Delta_0}{X_K} + \frac{\gamma_s}{X_K} * x, \quad (3.9)$$

де $\gamma_H = \Delta_0 / X_K$ - називається приведенне значення похибки до початку діапазону.

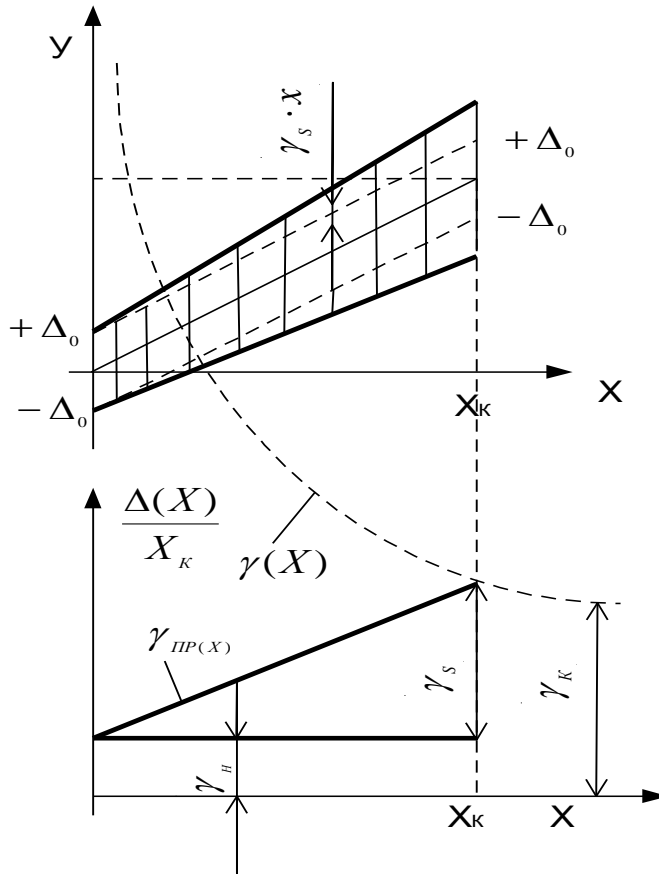


Рис. 3.1. Графіки зміни похибок по діапазону вимірювання

Як бачимо, загальна приведена похибка $\gamma_{np}(x)$ лінійно зростає по діапазону вимірювання від значення γ_H (приведеної похибки до початку) при $x=0$, до значення $\gamma_{np}(x) = \gamma_H + \gamma_S$ в кінці діапазону при $x = X_K$.

Тепер визначимо відносну похибку $\gamma_S(x)$ в цьому випадку:

$$\gamma_S(x) = \frac{\Delta(x)}{x} = \frac{\Delta_0 + \gamma_S * x}{x} = \frac{\Delta_0}{x} + \gamma_S. \quad (3.10)$$

Підставимо замість Δ_0 її значення через приведену похибку до початку діапазону $\Delta_0 = \gamma_H * X_K$ і дістаємо: $\gamma_S(x) = \frac{\gamma_H * X_K}{x} + \gamma_S. \quad (3.11)$

При значеннях $x = X_K$, відносна похибка $\gamma_S(x) = \gamma_H + \gamma_S$, а при зменшенні x зростає нелінійно і в межі досягає безконечності при наближенні x до нуля.

На рис. 3.1. приведені графіки зміни перерахованих похибок.

Формальною відмінністю для ЗВ, які мають обидві складові похибки, є те, що у відповідності з ГОСТ 8.401-80 їх клас точності позначається не одним, а двома числами, які записуються через косу лінію, тобто, у вигляді умовного дробового числа γ_K/γ_H значення, в чисельнику якого показується в % приведена похибка в кінці діапазону вимірювання, а в знаменнику – приведена похибка в нулі (на початку) діапазону. Наприклад, позначення класу точності у вигляді 0,02/0,01 показує, що похибка приладу нормована по двоскладовій формулі з $\gamma_H = 0,01\%$ і $\gamma_K = 0,02\%$ (похибка в кінці шкали).

5). На прикладах із різко нерівною шкалою (логарифмічною, гіперболічна або інші), клас приладу показується в долях від довжини шкали і показується числом, наприклад, 1,5, під яким розміщений символ у вигляді мітки «V» (галочки). Для таких ЗВ, а так нормуються похибки, наприклад, омметрів, абсолютна похибка розраховується за формулою:

$$\Delta_{R_{\max}} = \frac{K * L}{100S_x}, \quad (3.12)$$

де L - довжина шкали, мм; $S_x = \frac{L_x}{R_x}$ - чутливість в точці відліку; L_x - відстань між поділками в точці відліку, мм; R_x - різниця відліків за цими поділками.

Таким чином, позначення класу точності приладу дає достатньо повну інформацію для розрахунку приблизної оцінки похибок результатів вимірювання даним приладом.

Крім перерахованих різновидностей нормування похибок ЗВ шляхом показів класу точності: у вигляді нормованої приведенної похибки чутливості γ_s , у вигляді нормованої приведенної похибки γ_0 , та нормованої дробової похибки γ_K/γ_H , можуть використовуватися і спеціальні формули нормування похибок ЗВ, які мають більш складні види смуг похибок. У цьому випадку похибка результатів вимірювання описується формулою із трьох складових.

ПРАВИЛА ОКРУГЛЕННЯ ЗНАЧЕНЬ ПОХИБОК

Похибки вимірювань показують також, які цифри в одержаному результаті вимірювання є сумнівними, тому немає сенсу в запису похибки з великим числом знаків. За звичаєм обмежуються одною значущою цифрою і тільки при особливо точних вимірюваннях похибка записується двома або трьома цифрами.

Використовують 3 правила округлення розрахованого значення похибки і отриманого експериментального результату вимірювання:

1. Похибка результату вимірювання показується двома значущими цифрами, якщо перша з них є **1 чи 2**, і одною – якщо перша цифра є **3** і більше.
2. Результат вимірювання округлюється до того ж десяткового розряду, яким закінчується округлення значення абсолютної похибки.
3. Округлення проводиться тільки в кінцевій відповіді, а всі попередні розрахунки проводять з один – двома лишніми знаками.

У відповідності з правилом 1 встановлені і нормовані значення похибок ЗВ : у числах 1,5% або 2,5% показуються два знаки, але в числах 0,5 %; 4 %; 6 %; показується тільки один знак.

При округленні результатів вимірювання використовують ще такі правила:

- 1) лишні цифри у цілих чисел замінюють нулями, а у дробових десяткових відкидають; н., $732 \approx 700$.
- 2) якщо перша із замінюємих нулями чи відкидаємих цифр <5 , то цифри, які залишились не змінюються; якщо ж вона >5 , то остання із залишених цифр збільшується на 1;
- 3) якщо відкидаємо цифра = 5 з наступними нулями, то округлення проводиться до ближнього парного числа.

У метрології за звичаєм використовують наступне правило : похибка, яка отримується в результаті обчислень, повинна бути на порядок менше **сумарної** похибки вимірювання, тобто, необхідне число знаків в результаті обчислення повинно бути жорстко зв'язано з реальною точністю вимірювань.

При виконанні обчислень декількох складових похибки з **n** вірними знаками, необхідно взяти найбільшу складову з **(n+1)** знаком, інші складові округлити до розрядності цієї найбільшої складової і виконати обчислення. Після виконання обчислень округлити результат до необхідної кількості значущих цифр.

3.5. ПОХИБКИ ПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ

Результат вимірювання має цінність тільки тоді, коли можна оцінити його інтервал невизначеності та степінь довіри до нього. У відповідності з ГОСТ будь-який результат вимірювання обов'язково повинен приводитися з показом його похибок. Похибка результату прямого одноразового вимірювання залежить від багатьох факторів, але в першу чергу вона визначається похибкою ЗВ, який використаний для вимірювання. Тому в першому наближенні похибку результатів вимірювання можна прийняти рівною похибці, якою в даній точці діапазону вимірювання характеризується використаний ЗВ.

Так як похибка ЗВ може змінюватись по діапазону, то повинна розраховуватися як абсолютна похибка, яка необхідна для округлення результату та його правильного запису, так і відносна похибка, яка необхідна для однозначної порівняльної характеристики точності результату вимірювань.

1. Клас приладу показаний у вигляді одного числа в колі. Тоді відносна похибка результату вимірювання в % $\gamma_{(x)} = \gamma_S$ постійна в усьому діапазоні приладу і дорівнює числу, показаному в колі, а абсолютна дорівнює:

$$\Delta x = \frac{\gamma_x \cdot x}{100} \quad \text{в колі} \quad \gamma_S$$

2. Клас приладу показаний у вигляді одного числа γ_0 без кола. Тоді абсолютна похибка РВ $\Delta x = \frac{\gamma_0 \cdot x_K}{100}$, де x_K – границя діапазону вимірювання.

Відносна похибка вимірювань (%) знаходиться за формулою:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta x}{x} = \frac{\gamma_0 \cdot x_K}{x}, \text{ де } x - \text{результат вимірювання. Тобто, в цьому випадку,}$$

крім відліку вимірюваної величини x , обов'язково повинен бути зафіксованим і діапазон вимірювання (граничне значення діапазону x_K). В іншому випадку буде неможливим визначення похибки РВ.

3. Клас приладу показаний двома числами γ_K/γ_H . У цьому випадку краще раніше вирахувати відносну похибку РВ за формулою:

$$\gamma_0 = \gamma_K + \frac{\gamma_H \cdot x_K}{x} \quad (3.13)$$

Ця формула є дещо іншим записом двочленної формули, коли плінне значення відносної похибки $\gamma_{(x)}$ виражають не через значення адитивної γ_H та мультиплікативної γ_S складових границь похибок:

$$\gamma_0 = \gamma_S + \frac{\gamma_H \cdot x_K}{x},$$

а через вказані в класі точності приведені похибки γ_H в початку і γ_K в кінці діапазону вимірювань. При цьому враховується, що $\gamma_K = \gamma_H + \gamma_S$.

Далі обчислюють абсолютну похибку як: $\Delta(x) = \gamma_{\infty} \frac{x}{100}$.

При використанні цих формул треба пам'ятати, що в формули для визначення $\gamma(x)$ значення γ_S , γ_0 , γ_H та γ_K , підставляють у %, тому і відносну похибку одержують у %. При обчисленні абсолютної похибки $\Delta(x)$ в одиницях значення вимірюваної величини x значення $\gamma(x)$ (%) приведеної похибки потрібно не забувати розділити на 100 %.

ПОХИБКИ НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ.

Для посередніх вимірювань вихідними даними є формула зв'язку та результати прямих вимірювань величин – аргументів.

Якщо посередньо вимірювана величина Y зв'язана з величинами – аргументами $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n$ деякою функціональною залежністю F , то, в загальному, можна записати:

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n). \quad (3.14)$$

Похибка непрямого вимірювання визначається похибками результатів вимірювання кожного виконаного прямого вимірювання.

Тому із урахуванням результатів проведених прямих вимірювань ввеличин-аргументів в певній точці характеристики перетворення, загальний результат $U_{\text{вим}}$ опосередкованого вимірювання має вигляд:

$$U_{\text{вим}} = F(X_1 + \Delta X_1, X_2 + \Delta X_2, \dots, X_n + \Delta X_n), \quad (3.15)$$

де X_1, X_2, \dots, X_n – істинні значення аргументів;

ΔX_i – абсолютні похибки вимірювань цих аргументів.

Абсолютна похибка ΔY опосередкованого вимірювання дорівнює різниці:

$$\Delta Y = F(X_1 + \Delta X_1, X_2 + \Delta X_2, \dots, X_i + \Delta X_i, \dots, X_n + \Delta X_n) - F(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n).$$

Але така формула непридатна для практичного використання.

Ураховуючи те, що значення похибки вимірювання завжди суттєво менше самої вимірюваної величини, функція F по залежності (1) може бути із високою точністю надана, в межах точки із координатами істинних значень аргументів, розкладом у ряд Тейлора, в якому враховані тільки складові першої степені:

$$Y \cong F(X_1, X_2, \dots, X_n) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial F}{\partial X_i} \Delta X_i, \quad (3.16)$$

де $\sum_{i=1}^n \frac{\partial F}{\partial X_i} \Delta X_i \cong \Delta Y$ – абсолютна похибка загального результату вимірювання;

$\frac{\partial F}{\partial X_i}$ – перша частинна похідна від функції F по X_i -тому аргументу;

ΔX_i – відхилення результату вимірювання i -того аргументу від істинного його значення, тобто, абсолютна похибка вимірювання i -того аргументу.

У реальних умовах ця формула дає дещо завищене значення похибки ΔY , так як при додаванні складових похибок можлива їхня часткова взаємна компенсація. Кращі результати дає середньоквадратичне підсумовування похибок:

$$\Delta Y \cong \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial X_i} \Delta X_i\right)^2}, \quad (3.17)$$

де $\frac{\partial F}{\partial X_i} \Delta X_i$ - часткова похибка результату опосередкованого вимірювання.

Відносна похибка опосередкованого вимірювання:

$$\gamma_s = \frac{\Delta Y}{Y} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial X_i} \Delta X_i\right)^2}}{F(X_1 + X_2 + \dots + X_n)}. \quad (3.18)$$

Якщо формула зв'язку є функцією одної змінної $Y = f(X)$, то абсолютна похибка $\Delta Y = \left| \frac{\partial f}{\partial X} \right| \Delta X$. Приклади таких функцій:

1. Якщо формула зв'язку має вигляд: $Y = X^A$, то $\Delta Y \cong A * X^{A-1} * \Delta X$, а відносна похибка $\gamma_s = \Delta Y / Y = \frac{A * X^{A-1} \Delta X}{X^A} = A \frac{\Delta X}{X}$.

2. Якщо формула зв'язку має вигляд: $Y = \sqrt[B]{X} = X^{\frac{1}{B}}$, то $\Delta Y \cong \frac{1}{B} X^{\frac{1}{B}-1} \Delta X$, а відносна похибка $\gamma_s = \Delta Y / Y = \frac{\frac{1}{B} X^{\frac{1}{B}-1} \Delta X}{X^{\frac{1}{B}}} = \frac{1}{B} \frac{\Delta X}{X}$.

Якщо формула зв'язку є функцією алгебраїчної суми двох змінних X_1 та X_2 з коефіцієнтами a та b : $Y = aX_1 + bX_2$, то абсолютна похибка через середньоквадратичні підсумовування дорівнює: $\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial X_1} \Delta X_1\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial X_2} \Delta X_2\right)^2} = \sqrt{(a \Delta X_1)^2 + (b \Delta X_2)^2}$.

Якщо формула зв'язку є функцією добутку змінних X_1 та X_2 з коефіцієнтом K та показниками степені a та b (будь-які цілі або дробові, додатні або від'ємні числа): $Y = K X_1^a X_2^b$, то відносна похибка

$$\gamma_s = \Delta Y / Y = \sqrt{\left(\frac{\Delta X_1}{X_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X_2}{X_2}\right)^2}.$$

Якщо в результатах прямих вимірювань аргументів були використані надійні межі загальних похибок, то похибки опосередкованих вимірювань також відображають надійні межі загальних похибок цих результатів.

При багаторазових прямих вимірюваннях за найбільш ймовірне (істинне, дійсне) значення вимірюваної фізичної величини необхідно **приймати середнє арифметичне результатів ряду вимірювань**.

Відповідно при багаторазових непрямих (опосередкованих) вимірюваннях, найбільш достовірний результат можна отримати, якщо у формулу зв'язку, будуть підставлені середні арифметичні значення цих аргументів.

У межах точки із координатами $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n$, достовірний результат вимірювання дорівнює:

$$Y_{\text{вим}} \cong F(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial F}{\partial X_i} \Delta X_i, \quad (3.19)$$

\bar{X}_i - середнє арифметичне (дійсне) значення величин – аргументів в даній точці характеристики перетворення, що вимірюються прямо.

ΔX_i - відхилення результату вимірювання i -того аргументу від середнього його значення \bar{X}_i , яке приймається за дійсне (істинне).

Отримання робочої формули для похибки непрямих вимірювань іноді пов'язане з громіздкими перетвореннями, які можна суттєво спростити в тих випадках, коли функцію зв'язку можна прологарифмувати.

Наприклад, достовірно визначити кількість тепла Q , що виділяється на опорі R при протіканні крізь нього струму I за час t . Із фізики знаємо формулу зв'язку:

$$Q = I^2 * R * t.$$

Логарифмуємо ліву та праву частини формули:

$$\ln Q = 2 \ln I + \ln R + \ln t .$$

Далі обчислюємо першу похідну і підставляємо у формулу замість диференціалів відповідні кінцеві значення приростів ΔQ , ΔI , ΔR , Δt та отримуємо абсолютну похибку: $\Delta Q = 2\Delta I + \Delta R + \Delta t$.

Відносна похибка:
$$\gamma_s = \frac{\Delta Q}{Q} = \frac{2\Delta I}{I} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta t}{t} .$$

Якщо функцію зв'язку неможливо прологарифмувати безпосередньо, то її необхідно або перетворити до виду, необхідному для логарифмування, або вивести формулу похибки диференціюванням.

3.6.СИСТЕМАТИЧНА СКЛАДОВА ПОХИБКИ ТА МЕТОДИ ЇЇ УСУНЕННЯ

ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМАТИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ПОХИБОКИ

1) Присутність деяких ССП (особливо при малих значеннях) важко визначити і вони довгий час можуть бути невиявленими. Такі похибки виявляють шляхом вимірювання величини декількома незалежними методами з використанням первинних вимірювальних перетворювачів, побудованих із використанням різних фізичних явищ;

2) ССП завжди мають знак: «+» чи «-».

3) Якщо закон зміни систематичної похибки відомий, то її вплив легко врахувати у вигляді поправок, або усунути одним із методів автоматичного коригування;

4) єдиний спосіб виявлення ССП полягає в повірці нуля та чутливості ЗВ шляхом повторної його атестації по зразковим мірам.

Систематичні похибки, які змінюються по певному закону, виявляють статистичними методами за допомогою спеціальних статистичних критеріїв.

У реальних умовах повністю усунути систематичну складову похибки (ССП) неможливо. Завжди залишаються не усунуті рештки, які треба враховувати, щоб оцінити їхні границі. Невиявлена ССП більш небезпечна, чим випадкова складова (ВСП). Якщо ВСП визиває розкид результатів вимірювань, який називають варіацією, то ССП визиває їх стійке спотворення, зміщення. У будь-якому випадку відсутність чи не значимість ССП, з метою нехтування, потрібно доказувати.

Так як причини, які приводять до появи ССП на протязі тривалого терміну часу змінюються за звичаєм по випадковому закону, то випадковою є також і систематична похибка. Тому, у загальному випадку, і систематична похибка описується з використанням теорії ймовірності та математичної статистики.

ВИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМАТИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ПОХИБКИ (ССП)

Для визначення складових похибки вимірювання, як для випадку вимірювання фізичної величини, так і для випадку повірки чи атестації засобів вимірювання, проводяться багаторазові (для першого випадку) вимірювання фізичної величини, випадку.

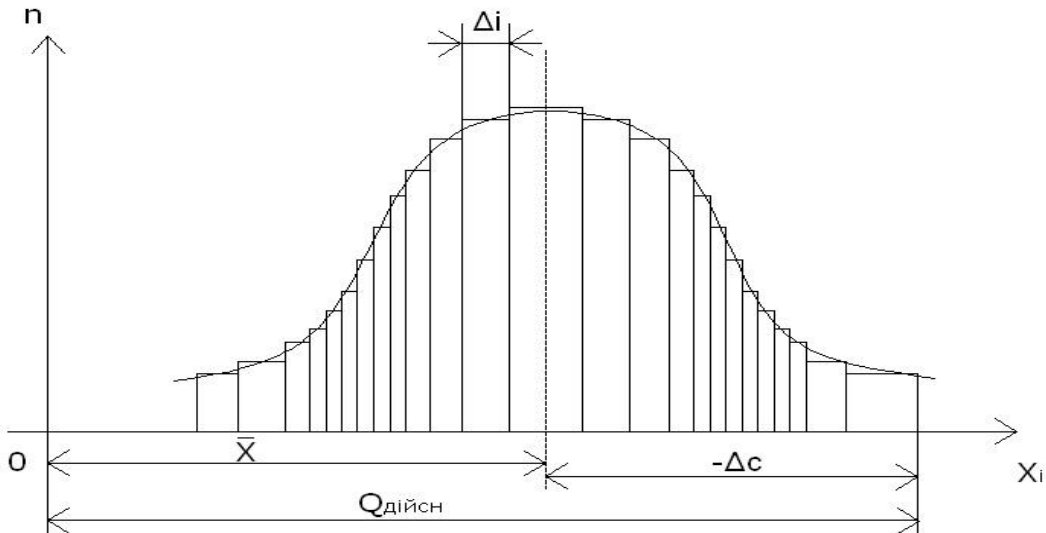


Рис. 3.2. Визначення систематичної складової похибки.

Отримавши ряд n результатів вимірювання $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ (загалом прийнято, щоб їх було не менше 20), для визначення систематичної складової похибки Δc , необхідно вирахувати середнє арифметичне $X_{\text{ср}}$ цього ряду результатів вимірювання за формулою:

$$X_{\text{ср}} = 1/n * (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (3.20)$$

Результати окремих вимірювань будуть згруповані біля $X_{\text{ср}}$ по ймовірносному закону, як показано на рис 3.2.

Різниця $X_{\text{ср}} - X_{0i} = \Delta c$, тобто, визначає ССП. Таким чином, відхилення середнього значення вимірюваної величини від її дійсного значення або зразкової міри, що подається на вхід ЗВ, характеризує ССП. Її ще інколи називають середньою арифметичною похибкою, або середнім арифметичним відхиленням. І, що дуже важливо, систематична похибка завжди має знак відхилення "+" чи "-".

МЕТОДИ УСУНЕННЯ СИСТЕМАТИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ПОХИБКИ

Для усунення ССП використовуються наступні методи:

Метод поправок - базується на результатах попередніх експериментальних випробувань, де досліджується дія зовнішніх впливаючих факторів (температури, тиску, зміни напруги живлення і ін..) на засіб вимірювання. По їхнім результатам знаходять різні поправочні формули або таблиці поправок, які використовують потім при експлуатації ЗВ.

Внесення поправок в результат вимірювання - є найбільш поширеним

способом виключення ССП. Поправка q чисельно дорівнює ССП, але має протилежний знак ССП ($q = \mp | \pm \Delta c |$).

Метод двохранового вимірювання – ґрунтується на проведенні такого досліду, при якому похибка від впливаючого фактору входить в результат вимірювання один раз зі знаком «+», а другим разом – зі знаком «-» Загальний результат вимірювання одержують як середнє із двох вимірювань.

Метод заміщення – ґрунтується на попередньому вимірюванні ФВ засобом вимірювання і отриманні результату у вигляді: $X_{зв} = X_{вим} \pm \Delta c$, де $X_{зв}$ – покази ЗВ; $X_{вим}$ – вимірювана ФВ, Δc - ССП.

Далі, нічого не змінюючи в ЗВ, до його входу відмикають замість вимірюємої ФВ $X_{вим}$ регульовану міру X_{oi} і підбирають її значення, за якого досягається попередній результат показу ЗВ:

$$X_{зв} = X_{oi} \pm \Delta c.$$

Порівнюючи обидва результати, отримуємо: $X_{вим} = X_{oi}$.

Якщо ССП визначена і усунена методом введення поправки, то отримують відкориговані результати вимірювань:

$$X_{кор} = X_{зв} + q.$$

При виключенні систематичної похибки, вимірювана величина A складається з коригованого значення результату вимірювань $X_{кор}$ та випадкової похибки Δv і стає випадковою величиною:

$$A = X_{кор} +/- \Delta v.$$

3.7. ВИПАДКОВА СКЛАДОВА ПОХИБКИ ТА ЇЇ ВИЗНАЧЕННЯ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ. ПОНЯТТЯ ЙМОВІРНОСТІ

Визначення **випадкової складової похибки** (у подальшому **ВСП**) дещо складніше. Для ВСП, як і для випадкової події, характерно те, що вона може з'явитись при проведенні певного вимірювання, тобто, випадкова подія може відбутися, а може і ні. У теорії ймовірності для цього використовують поняття "ймовірності" (P), яке використовується для числової характеристики ступені можливості появи події в тих чи інших умовах, при чому подія може повторитись необмежене число разів.

Завжди, коли приводять числове значення ВСП, то вказують її ймовірність. Ймовірність указує на деякий ризик, що, наприклад, в окремих випадках вимірювання похибка, що приведена в паспорті приладу, буде більшою. Так, якщо вказано, що абсолютна ВСП ЗВ вимірювання температури $\Delta v = \pm 0,5^\circ C$ із ймовірністю $P=0,95$, то в цьому випадку ризик дорівнює 0,05, тобто, із 100 вимірів може бути, а може і ні, що в 5-ти вимірах похибка буде більшою ніж $\pm 0,5^\circ C$.

Для вимірювань характерно те, що в загальному випадку значення ВСП теоретично може дорівнювати безмежності як зі знаком «+» так і «-» . Але така подія малоймовірна, тобто, практично не можлива, але теоретично може відбутись. Для розглянутої нами вище систематичної складової похибки (ССП) можна констатувати, що ймовірність її виникнення $P=1$, тобто, завжди, коли виконуються вимірювання, присутня ССП. Якщо ймовірність $P=0$, то подія практично не відбудеться ніколи. Таким чином, числова характеристика ступені

можливості появи події (ймовірність P) знаходиться в межах від 0 (подія практично неможлива) до 1 (подія достовірна). $0 \leq P \leq 1$.

У зв'язку з тим що ймовірність появи ВСП того чи іншого значення можуть змінюватись в широких межах, то для оцінювання ВСП у метрології з теорії ймовірності запозичено і використовується поняття **законів розподілу випадкових величин (ВВ)**. Під **законом розподілу ВВ** розуміється закон, який оцінює кількісно ймовірність частоти прояви ВВ у вигляді функції від можливого її значення (розміру). Якщо така функціональна залежність установлена, то говорять, що **ВВ** підпорядкована даному закону розподілу. В метрології **ВВ** - це випадкова складова похибка (**ВСП**). Розрізняють інтегральний та диференційний закони розподілу ВСП.

ІНТЕГРАЛЬНИЙ ЗАКОН РОЗПОДІЛУ

Інтегральним законом розподілу ВВ (ВСП) називають функцію ймовірності $F(x)$, значення якої для кожного значення x , вибраного на осі абсцис, визначається тим, що результат спостереження X в i -тому досліді приймає значення менші за x , що з точки зору теорії ймовірності записується так:

$$F(x) = P(X \leq x) = P(-\infty < X \leq x). \quad (3.21)$$

Ця функція розподілу $F(x)$ існує для всіх ВВ (ВСП), як дискретних так і безперервних і є універсальною характеристикою ВВ (ВСП).

Графік функції розподілу $F(x)$ у загальному випадку є графіком неспадаючої функції, значення якої починається від 0 на $-\infty$ та доходить до 1 на $+\infty$ і має S-подібну форму (рис.3.3).

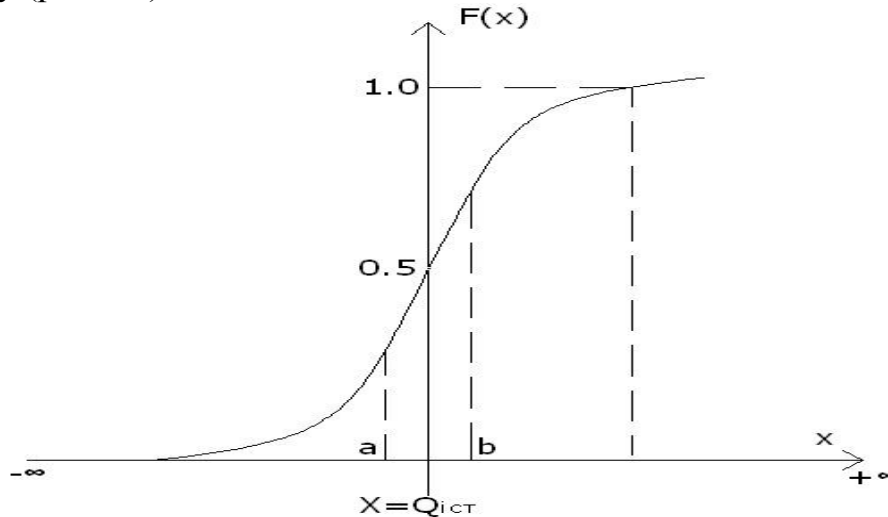


Рис.3.3. Графік функції розподілу $F(x)$ інтегрального закону.

Для випадку, коли ВВ $X=Q$, тобто, коли результати вимірювань розміщені із правого та лівого боків від Q , то центр перегину S-образної функції розподілу відповідає ймовірності на рівні 0,5. В цьому випадку розподіл результатів відносно істинного значення шуканої величини є симетричним.

Таким чином, інтегральна функція ймовірності $F(x)$ дає уявлення про розміщення кожного окремого результату вимірювання X_i відносно істинного значення вимірюваної величини.

Практично функція $F(x)$ використовується для розрахунку ймовірності того, що ВВ (ВСП) X прийме значення, яке розташоване в деяких межах, яке розташоване

від "а" (із ліва) до "в" (із права) і дорівнює:

$$P("a" \leq X < "в") = F("а") - F("в"). \quad (3.22)$$

Така ймовірність розташування випадкової величини на заданій ділянці дорівнює приросту функції розподілу $F(x)$ на цій ділянці:

ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ЗАКОН РОЗПОДІЛУ

Для більш наочного опису результатів вимірювання та випадкових похибок використовують, для безперервних випадкових величин, похідну від функції інтегрального розподілу $F(x)$.

Якщо є безперервна (3.22) випадкова величина X із функцією розподілу $F(x)$, то можемо вирахувати ймовірність P попадання цієї ВВ X на відрізьку від x до $x + \Delta x$:

$$P(x < X < x + \Delta x) = F(x + \Delta x) - F(x),$$

тобто, ймовірність дорівнює приросту функції розподілу $F(x)$ на цьому відрізьку.

Тепер розглянемо відношення цієї ймовірності до довжини відрізьку, тобто, розглянемо середню ймовірність, яка приходить на одиницю довжини цього відрізьку та будемо наближати Δx до 0. У крайній межі дістанемо похідну F' від функції інтегрального розподілу:

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \{ [F(x + \Delta x) - F(x)] / \Delta x \} = F'(x) = P(x). \quad (3.23)$$

Введене позначення **функції $P(x)$** – похідної від функції розподілу $F(x)$ характеризує густину, з якою розподіляється значення випадкової величини X в даній точці.

Функція $P(x)$ називається густиною розподілу, або по іншому: "густиною ймовірності" безперервної випадкової величини X , або диференціальною функцією розподілу, або диференціальним законом розподілу.

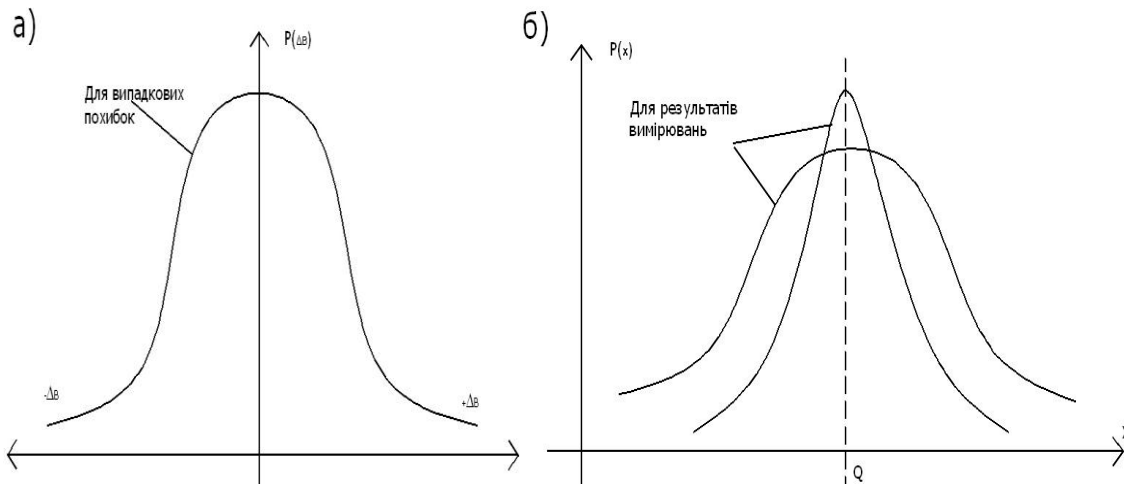


Рис.3.4. Крива розподілу $P(x)$ для ВСП - а) та РВ - б).

Густина розподілу $P(x)$, по аналогії з функцією розподілу $F(x)$, є ще одною із форм закону розподілу. У протилежність функції розподілу $F(x)$ ця форма $P(x)$ не є універсальною, так як існує тільки для безперервних випадкових величин.

Графік, який відтворює густину розподілу $P(x)$ випадкової величини, називається **кривою розподілу**, яка може бути як для випадкової складової похибки ВСП (рис. 3.4,а), так і для результатів вимірювання РВ (рис. 3.4,б). Криві розподілу мають різний вигляд (основні показані на рис. 3.5:

трикутний, трапецієвидний, рівномірний і інші), який залежить від кількості впливаючих на подію (щоб вона відбулася чи ні) факторів та від значення цих факторів.

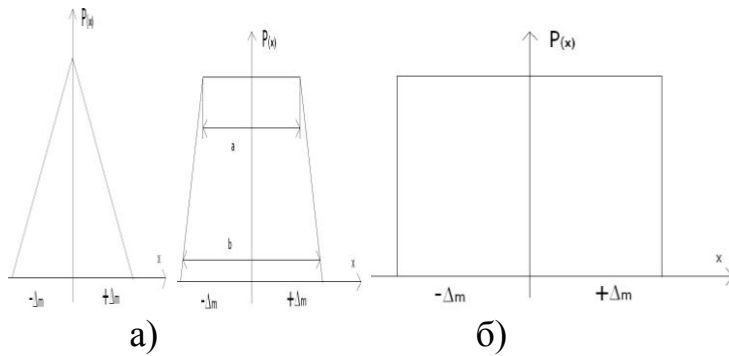


Рис. 3.5. Криві розподілу: трикутного - а), трапецієвидного - б) та рівномірного – в) законів.

У більшості криві розподілу мають форму, яка близька до дзвоноподібної (рис. 3.6) і відповідають нормальному закону розподілу.

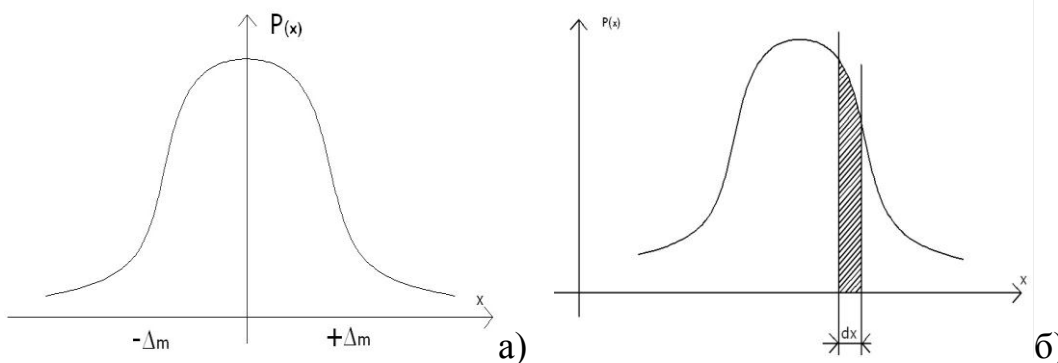


Рис. 3.6. Крива розподілу нормального закону (а) та елемент ймовірності (б).

Якщо розглянути безперервну випадкову величину X із густиною розподілення $P(x)$ та елементарний відрізок dx , який прилягає до точки x , то ймовірність попадання випадкової величини X на цю елементарну ділянку, з точністю до безмежних малих вищого порядку, дорівнює $P(x)dx$ і цю величину називають **елементом** ймовірності. Геометрично - це площа елементарного прямокутника, який опирається на відрізок dx (рис. 3.6,б).

Використовування елементів ймовірності дає можливість сказати про те, які інтервали значень випадкових похибок більш чи менш ймовірні. Наприклад, при дзвоноподібній кривій розподілу $P(x)$ для випадкових похибок Δv більш ймовірні малі значення похибок, які лежать навколо випадкової похибки із значенням $\Delta v = 0$. Можемо виразити ймовірність попадання випадкової величини X на відрізок від "а" до "в" через густину розподілу. Очевидно, що вона буде дорівнювати сумі елементів ймовірності на всьому відрізку, тобто,

інтегралу:

$$P("a" < X < "в") = \int_a^b P(x) dx. \quad (3.24)$$

Геометрична ймовірність попадання величини X дорівнює площині кривої розподілу, яка опирається на цей відрізок.

Ми можемо вирішити й обернену задачу - виразити функцію розподілу $F(x)$ через густину розподілу $P(x)$. Так як по визначенню $F(x) = P(X < x) = P(-\infty < X < x)$, то використовуючи інтегральну формулу визначення густини розподілу, отримуємо:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x P(x)dx.$$

Геометрично ймовірність $F(x)$ є, не що інше, як площа під кривою розподілу $P(x)$, яка лежить лівіше тачки x .

Розмірності основних характеристик випадкової величини:

1. Функція інтегрального розподілу $F(x)$, як усяка ймовірність є величиною без розміру.
2. Розмірність густини розподілу $P(x)$ - є обернена розмірності випадкової величини.

ПРИЗНАЧЕННЯ ЧИСЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗПОДІЛУ

І так, ми познайомились із двома законами розподілу, які надають повну характеристику випадкових величин (випадкових похибок): це функція розподілу $F(x)$ та густина розподілу $P(x)$. Вони описують повністю випадкову величину X із точки зору теорії ймовірності.

Але на практиці в багатьох випадках немає необхідності характеризувати випадкову величину повністю, вичерпуючим чином. Інколи достатньо привести тільки окремі числові характеристики розподілу, до яких відносяться їх два різновиди – це:

1) числові характеристики середніх, до яких відносяться: математичне сподівання, медіана та мода розподілу. Вони показують на деяке середнє, орієнтовне значення, біля якого групуються всі можливі значення випадкової величини (похибки);

2) моменти розподілу, які є параметрами законів розподілу і до яких відносяться початкові та центральні моменти s -ного порядку.

Ці різновиди числових характеристик найбільш компактно, у стислій формі, з використанням мінімального числа параметрів - виражають суттєві особливості розподілу і використовуються при оцінці випадкових похибок.

МАТЕМАТИЧНЕ СПОДІВАННЯ ТА ЙОГО СУТЬ

Математичне сподівання (його ще називають середнім значенням ВП) є основною числовою характеристикою, яка дає координату положення випадкової величини (похибки) на осі чисел, біля якої групуються всі можливі значення ВП (ВВ). Для безперервної величини X математичне сподівання $M[X]$

дорівнює:

$$M[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} xP(x)dx, \quad (3.25)$$

де $P(x)$ - густина розподілу величини X .

Математичним сподіванням випадкової величини (похибки) називається сума добутків усіх можливих значень ВВ (ВП) на ймовірності цих значень.

При дискретних відліках X_i , які мають місце за багаторазових вимірюваннях, обчислення інтегралу замінюється, при великій кількості n

реальних вимірювань, еквівалентним вирахуванням середнього арифметичного

$$\bar{X} \text{ (} X_{\text{ср}} \text{)} : \quad X_{\text{ср}} = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i.$$

Таким чином, можна записати, що при $n \rightarrow \infty$:

$$M[X] = m_x = \int_{-\infty}^{+\infty} xP(x)dx \approx \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (3.26)$$

Ця формула описує зв'язок між математичним сподіванням $M[X]$ випадкової величини та середнім арифметичним \bar{X} при великій кількості проведених дослідів (вимірювань) і стверджує: «при великій кількості дослідів, середнє арифметичне цих дослідів над ВВ (ВП) наближається, або кажуть сходиться по ймовірності, до математичного її сподівання». Тому при практичних вимірюваннях математичне сподівання $M[X]$ і замінюють на середнє арифметичне \bar{X} .

У механічній інтерпретація математичне сподівання $M[X]$ є не що інше, як **абсциса центру ваги** даної системи матеріальних точок, відносно якої, повертаючи момент = 0. Цю абсцису, як синонім, ще називають **центром розподілу** або **координатою центру розподілу**.

Суть математичного сподівання $M[X]$, тобто, суть пошуку середніх багаторазових вимірювань, у тому, що визначена середня оцінка координати їх центра розподілу має найменшу випадкову похибку, ніж окремі результати вимірювань, по яким вона визначається.

$M[X]$ - є основною числовою характеристикою, яка використовується при статистичному опрацюванні результатів вимірювань.

По-перше, m_x , при метрологічній атестації засобів вимірювання вказує на наявність чи ні систематичної складової похибки (ССП) та дає можливість зробити чіткіше визначення систематичної та випадкової (ВСП) складових похибок:

ССП - це різниця між математичним сподіванням результатів спостережень та істинним значенням вимірюваної величини:

$$\Delta_c = M[X] - Q_{\text{іст}}.$$

ВСП - це різниця між результатом одиночного спостереження і математичним сподіванням результатів спостережень:

$$\Delta_v = X_i - M[X].$$

По-друге, у теорії опрацювання результатів прямих вимірювань, коли необхідно отримати достовірну інформацію про значення вимірюваного параметру за допомогою певного засобу вимірювань, за найбільш ймовірне значення вимірюваної величини X_i необхідно прийняти математичне сподівання $M[X]$ із ряду вимірювань, при якому сума квадратів абсолютних похибок (мінімальна) найменша.

При дискретних відліках і при достатньо великому числі n вимірювань, до дійсного (істинного) значення вимірюваної величини наближається середнє арифметичне $\bar{X}_{n \rightarrow \infty}$. Виходячи із цього можна вивести, при відсутності в ЗВ систематичної складової похибки (або при нехтуванні нею, або при її врахуванні відповідною поправкою):

$$\bar{X}_{n \rightarrow \infty} = M[X] \approx Q_{\text{дійсн}} = Q_{\text{ICT}}.$$

З іншого боку, при кінцевому значенні числа n вимірювань і не скоригованій ССП:

$$Q_{\text{дійсн}} = M[X] \pm \Delta_c \pm \Delta_B.$$

МОМЕНТИ РОЗПОДІЛУ

Крім характеристик розподілу – середніх, які є типовими характеристиками випадкових величин, використовуються так звані моменти, які є параметрами законів розподілу. Розрізняють так звані: початкові моменти і центральні моменти S -ного порядку.

Під **початковим моментом S -ного порядку** для випадкової величини X називається інтеграл виду:

$$\alpha_S[X] = \int_{-\infty}^{\infty} X^S P(x) dx = M[X^S]. \quad (3.27)$$

Тобто, початковим моментом S -ного порядку випадкової величини X називається математичне очікування в S -ній степені цієї випадкової величини. При $S=1$, дістаємо $M[X]$, яке характеризує постійну складову розподілу.

Центральним моментом S -ного порядку для безперервної випадкової похибки є інтервал виду:

$$\mu_S = \int_{-\infty}^{\infty} (X - \bar{X})^S P(x) dx \quad (3.28)$$

Найбільше значення має другий центральний момент, який називається дисперсією випадкової похибки і який характеризує розсіювання окремих значень ВП відносно центру розподілу (математичного сподівання).

$$\mu_2 = Dx = \int_{-\infty}^{\infty} (X - \bar{X})^2 P(x) dx \quad (3.29)$$

Він являє собою, за аналогією в механіці, інтерпретацію відповідного моменту інерції заданого розподілу мас, відносно центру ваги ($M[X]$).

Дисперсія має розмірність квадрату випадкової величини (ВП) і виражає потужність розсіювання відносно постійної складової.

Для більш наглядної характеристики розсіювання використовують величину, розмірність якої співпадає з розмірністю випадкової похибки. Для цього з дисперсії добувають корінь квадратний і позитивне значення величини, яку дістають, називають **середнім квадратичним відхиленням (СКВ)** ВП і зображуєть як σ_X :

$$\sigma_X = +\sqrt{Dx} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (X - \bar{X})^2 P(x) dx} \quad (3.30)$$

Середнє квадратичне значення σ_X випадкової величини X - це її ефективне (дійсне) значення, подібно до діючого в енергетичному розумінні значенню струму або напруги в електричних лініях із складними формами кривої струму.

У загальному випадку, коли не викликає сумніву, до якої випадкової величини відносяться ці характеристики, інколи позначки x у σ_X та Dx не ставлять, а пишуть просто σ та D .

ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОГО КВАДРАТИЧНОГО ВІДХИЛЕННЯ

Для визначення оцінки дисперсії по результатам дослідних вимірювань замість інтегралу для μ_2 використовують співвідношення:

$$D_x = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1}, \text{ якщо } n < 20, \quad (3.31)$$

де X_i – значення окремих вимірювань, \bar{X} – координата центру розподілу; n – кількість вимірювань (об'єм вибірки).

Звідси оцінка С.К.В., тобто, розсіювання окремих результатів вимірювання X_i відносно середнього \bar{X} .

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (\text{при } n < 20) \quad (3.32)$$

Для визначення С.К.В. при кількості вимірювань $n \geq 20$ доцільно використовувати:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (\text{при } n \geq 20). \quad (3.33)$$

Основним призначенням та перевагою оцінки розсіювання (розкиду) ВП за середнім квадратичним значенням σ_x або дисперсією є можливість визначення дисперсії суми статистично незалежних величин як суми дисперсій складових, не дивлячись на можливі різні закони закону розподілу кожної із величин, що додаються, і не враховуючи можливу деформацію законів розподілу при утворенні композиції.

$$D_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n D_i.$$

Використання С.К.В. σ_x і його квадрату $\sigma_x^2 = D_x$, яке дорівнює дисперсії, дає можливість:

- Розрахунковим шляхом складати будь-яке число незалежних складових

похибки ЗВ і отримати сумарну похибку ЗВ. Для цього окремі складові похибки ЗВ потрібно попередньо надати своїми середніми квадратичними значеннями σ_x та провести геометричне додавання (геометричне додавання – це додавання через корінь квадратний із суми квадратів складових):

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} \quad (3.34)$$

- достатньо точно вирахувати похибку при проектуванні або ЗВ, або інформаційно-вимірювального каналу (ІВК) з наперед заданою сумарною похибкою, використовуючи значення нормованих похибок усіх пристроїв, які складають ЗВ або інформаційно-вимірювальний канал.

ОСНОВНИЙ ЗАКОН ТЕОРІЇ ПОХИБОК

Якщо в одній серії з n вимірювань \bar{X}_{cp} є лінійною функцією результатів окремих вимірювань X_1, X_2, \dots, X_i , і якщо провести нову серію із n вимірювань, то в наслідок впливу випадкових причин значення X_i будуть відрізнятися від отриманих в першій серії, тобто, нове значення \bar{X} буде іншим.

Таким чином, число \bar{X} , яке отримане в одній із серій вимірювань, є випад-

ковим приближенням до істинного значення Q , необхідно знову ж таки визначити середнє квадратичне відхилення для \bar{X} .

Для оцінки можливих відхилень величини \bar{X} від істинного значення, визначають **дослідне середнє квадратичне відхилення або середнє квадратичне відхилення $\sigma_{\bar{X}}$ середнього арифметичного**. Значення дослідного СКВ $\sigma_{\bar{X}}$ зменшується, порівняно з СКВ вихідних результатів вимірювань σ_x , в \sqrt{n} раз і дорівнює:

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}. \quad (3.35)$$

Ця формула $\sigma_{\bar{X}} = \sigma_x / \sqrt{n}$ - відображає основний закон теорії похибок, суть якого в тому, що якщо потрібно підвищити точність результату вимірювання (при скоригованій систематичній складовій похибки) в n раз, то число вимірювань необхідно збільшити в n^2 раз. Наприклад, якщо потрібно збільшити точність в 3 рази, то число вимірювань n збільшують в 9 раз і т. д.

Таким чином, дослідне СКВ $\sigma_{\bar{X}}$ оцінює можливі відхилення середнього арифметичного \bar{X} результатів вимірювання від істинного (дійсного) значення і використовується для приведення кінцевого результату вимірювань ФВ.

Розподілення похибки статистично визначеного середнього результату багаторазових вимірювань має вигляд, що приведений на рис. 3.7. Якщо б шукане число X_i визначалося шляхом тільки одного вимірювання $n = 1$, то значення X_i випадковим чином може зайняти будь-яке положення в середині смуги похибок. При проведенні n вимірювань для кожного t_i самі результати по-старому будуть розміщуватись випадковим чином у середині тієї ж смуги, але лінія їхніх центрів буде тільки стійкою. Оцінки розсіювання σ_x та $\sigma_{\bar{X}}$ необхідно слід чітко відрізнити і пам'ятати, що вони характеризують тільки випадкову складову похибки.

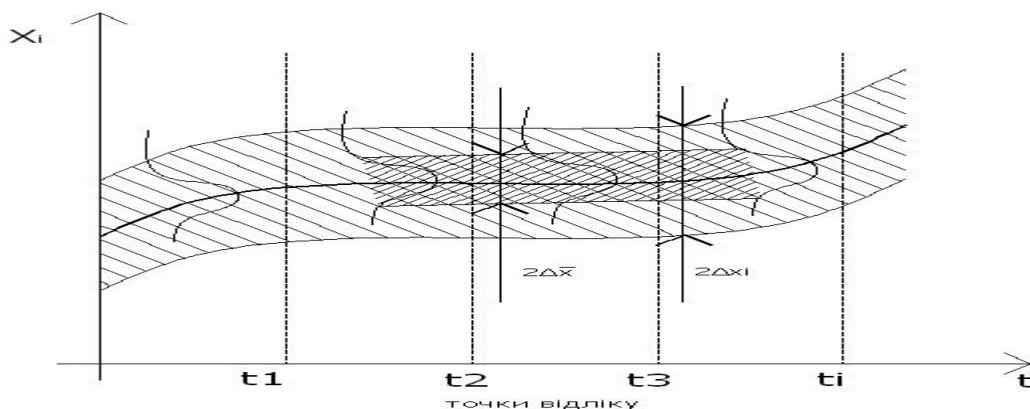


Рис.3.7. Розподілення похибки статистично визначеного середнього результату багаторазових вимірювань.

Оцінка σ_x середнього квадратичного відхилення (СКВ) характеризує ширину смуги невизначеності самих вихідних даних, яка на рис.3.7 зображена широкою смугою (межею) абсолютної похибки $2\Delta_{x_i}$. Оцінка ж $\sigma_{\bar{X}}$ (середнього квадратичного відхилення середнього арифметичного) характеризує в \sqrt{n} раз більш ву-

зку смугу невизначеності знайдених середніх значень, яка на рис.3.7 зображена вузькою смугою абсолютної похибки $2 \Delta_{\bar{x}}$. На рис.3.7 середня (жирна) лінія – це значення математичного сподівання $M[X]$ в точці відліку по характеристиці перетворення.

При великому числі n вимірювань систематична складова похибки Δ_c за лишається без зміни, а ширина розкиду випадкової складової похибки $t_p \sigma_{\bar{x}} = t_p (\sigma_x / \sqrt{n})$ зменшується в \sqrt{n} раз. Якщо n достатньо велике, то $t_p \sigma_{\bar{x}} \ll \Delta_c$ і результуюча похибка середнього результату визначається практично тільки його систематичною похибкою.

Стандарт по метрології регламентує, що у випадках, коли ССП $\Delta_c < 0,8 \sigma_{\bar{x}}$, то систематичною складовою похибки можна нехтувати і враховувати тільки випадкову похибку визначеного середнього результату в вигляді $t_p \sigma_{\bar{x}}$.

Якщо ж $\Delta_c > 0,8 \sigma_{\bar{x}}$, то навпаки, необхідно нехтувати випадковою складовою, а визначений середній результат характеризувати тільки його систематичною похибкою Δ_c .

Остання умова показує, що наявність невиявленої і не усуненої систематичної похибки робить практично безглуздим використання статистичного визначення середнього.

НОРМАЛЬНИЙ ЗАКОН РОЗПОДІЛУ

У практиці вимірювань використовуються різні закони розподілу випадкових похибок: трикутний, трапецієподібний, прямокутний (рівномірний), симетричний, нормальний, а також одно- та багатомодальні.

Проте найбільше значення має нормальний закон розподілу (закон Гаусса), так як він є **граничним** законом, до якого наближаються інші закони розподілу при типових для вимірювання умовах і при їхній кількості, яка наближається до безмежності $n \rightarrow \infty$.

Центральна гранична теорема стверджує, що розподіл випадкових похибок буде близьким до нормального закону кожного разу, коли результати спостережень формуються під впливом великої кількості незалежних чинників, кожен з яких справляє лише незначний вплив порівняно із сумарним впливом інших. Закон розподілу для середнього арифметичного \bar{x} при числі $n \geq 30$ наближається до нормального при будь-якому розподілі вихідних даних.

Крива розподілу при нормальному законі має дзвоноподібну симетричну форму. Диференціальна функція нормального закону описується рівнянням

$$P(\Delta_B) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta_B^2}{2\sigma^2}} \quad (3.36)$$

де $P(\Delta_B)$ - густина ймовірності для визначеного значення ВСП;

σ_x - середнє квадратичне ряду вимірювань: $\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}$;

n – число вимірювань, $n > 20 - 30$.

Максимальна величина густини ймовірностей дорівнює амплітуді $\frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}}$ і досягає в точці 0 (рис.3.8). Це означає, що найбільш ймовірні малі випадкові похибки. У міру віддалення від точки 0 вліво або вправо ймовірність $P(\Delta_B)$ виникнення малих похибок зменшується і асимптотично наближається до 0, а ймовірність великих ВСП зростає.

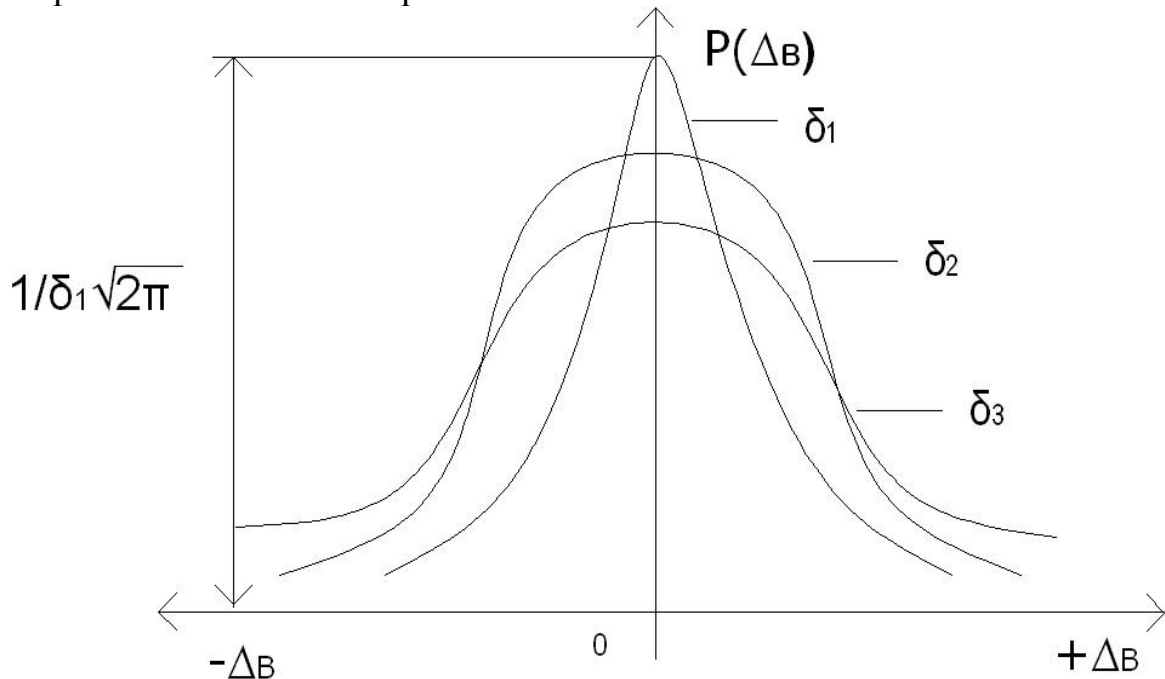


Рис.3.8. Вигляд кривої розподілу нормального закону при різних значеннях середньоквадратичного відхилення ($\delta_1 = \sigma_{x1} < \delta_2 = \sigma_{x2} < \delta_3 = \sigma_{x3}$).

При зменшенні середнього квадратичного відхилення $\sigma_{x1} < \sigma_{x2} < \sigma_{x3}$ (зменшенні розсіювання), межі розподілу результатів звужуються, а вершина дзвону піднімається вгору, зростає точність вимірювання. Чим точніше виконано вимірювання, тим вище підіймається крива розподілу випадкових похибок, і зменшується середньо квадратичне відхилення.

Часто для попередньої оцінки закону розподілу параметра використовують в якості критерію відносну величину С.К.В. – коефіцієнт варіації $v_x = \frac{\sigma_x}{m_x}$ або $v_x = \left(\frac{\sigma_x}{\bar{x}} \right)^2$. Якщо коефіцієнт варіації має значення $v_x \leq 0,33 \dots 0,35$, то можна рахувати, що розподіл ВСП підпорядкований нормальному закону.

КВАНТИЛЬНА ОЦІНКА ВИПАДКОВОЇ ПОХИБКИ

Площина, яка розміщена, під кривою густини розподілу випадкової величини (або похибки) $P(x)$, дорівнює 1, тобто, відтворює ймовірність усіх можливих подій. Цю площину розбивають на окремі частини за допомогою вертикальних ліній. Абсиси таких ліній називають **квантілі**. Так, наприклад, рис.3.9, можна

виділити 2,5%-ну квантіль. Це квантіль, для якої площа під кривою $P(x)$ зліва від x_2 складає 2,5% всієї площини, а справа – залишок, який дорівнює 97,5%.

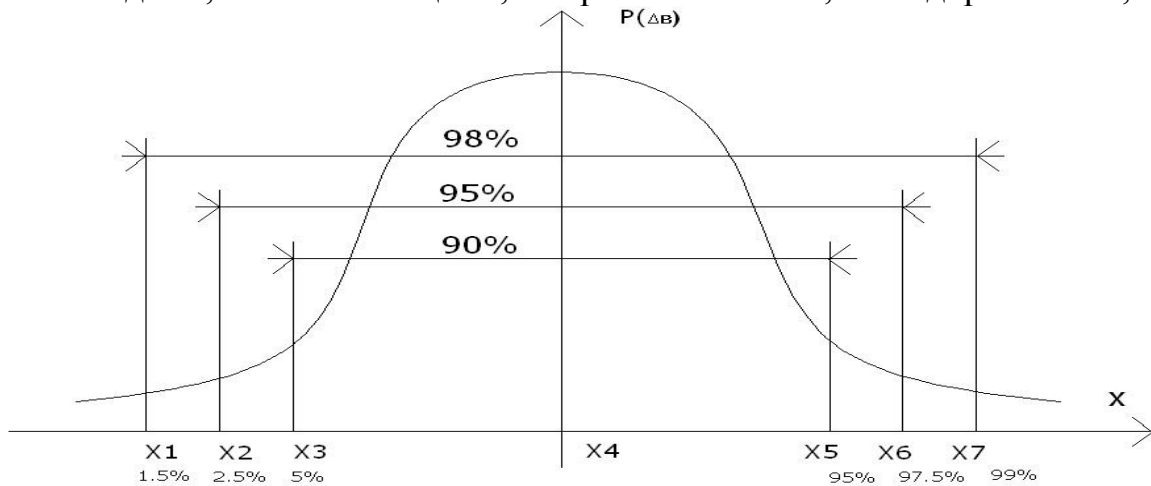


Рис. 3.9. Поняття квантільної оцінки похибки.

По аналогії x_6 , це 97,5% - на квантіль. Між x_2 і x_6 , тобто, між 2,5%-ною та 97,5%-ною квантілями зосереджено 95% всіх можливих значень похибки, а залишки (5%) – лежать поза її межами. Наприклад, медіана x_4 є 50%-на квантіль, так як ділить площину під $P(x)$ пополам.

Абсциса ($x=x_1$) – є 1.5%-на квантіль, так як площа під кривою зліва складає 1.5% всієї площини. Відповідно квантілі прийнято позначати:

як $x_{0,01}$ - однопроцентна; $x_{0,025}$ - 2,5%; $x_{0,05}$ - 5%; $x_{0,95}$ - 95%; $x_{0,975}$ - 97,5%.

Інтервал значень x між $x_3 = x_{0,05}$ і $x_5 = x_{0,95}$ охоплює 90% всіх можливих значень похибок і називається **інтерквантільним проміжком** d_p з 90%-ною ймовірністю $P_0=0,9$, де (~~$d_p = x_5 - x_3$~~) є його протяжність. Відповідно інтерквантільним проміжком: (~~$d_p = x_7 - x_1$~~): охоплює в собі 95% всіх можливих значень похибок (тобто, з ймовірністю $P_0=0,95$).

У даному випадку x це або випадкова похибка при атестації ЗВ або відхилення вимірюваної величини, від математичного сподівання при її вимірюванні певним ЗВ, тобто випадкова похибка результатів вимірювання.

На основі такого підходу вводиться поняття квантільних оцінок похибки. **Квантільна оцінка похибки** – це значення похибки Δ_p , як довірчої межі інтервалу невизначеності з заданою довірчою ймовірністю P_0 . **Довірча межа** – це верхня та нижня межі інтервалу, у які похибки попадають із заданою ймовірністю. Довірче значення $\pm \Delta_p$ випадкової похибки, або її квантільне значення – є її максимальне значення з вказаною довірчою ймовірністю P_0 і дорівнює половині інтерквантільного проміжку d_p , тобто $\pm \Delta_p = \frac{d_p}{2}$.

У той же час, це є і повідомлення, що частина реалізацій похибки з ймовірністю $(1 - P_0)$ може бути і більшою за указане значення похибки. Для позначення встановленого довірчого значення похибки, використовують при позначенні похибки $\Delta_{0,95}$ індекс (внизу), який чисельно рівний прийнятий довірчій ймовір-

ності. Тобто, замість Δ_p (для загального випадку), необхідно писати, наприклад, $\Delta_{0,95}$ (це похибка при довірчій ймовірності $P_0 = 0,95$).

Якщо $P_0 = \alpha$ є ймовірність α , яку вибирають в межах $\alpha = 0,0999$, того, що середнє арифметичне відхилення \bar{x} (математичне очікування m_x) результатів вимірювання відхиляється від істинного значення на величину не більше, ніж випадкова похибка Δ_B , яка дорівнює Δ_p або $\Delta_p = t_n \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$, то в цьому випадку P_0 називається довірчою ймовірністю, а інтервал від $(\bar{x} - \Delta_p)$ до $(\bar{x} + \Delta_p)$ називається довірчим інтервалом.

Так як квантілі, які обмежують довірчий інтервал похибки можуть бути вибрані різними, то при повідомленні довірчої мажі оцінки похибки повинно одночасно обов'язково показуватись значення прийнятої довірчої ймовірності P_0 . Тобто, для характеристики випадкової складової похибки необхідно задавати два числа :

1. величину самої похибки або довірчим інтервалом
2. довірчу ймовірність P_0 .

Для переходу при нормальному законі розподілу до квантільної довірчої оцінки похибки Δ_p з заданою довірчою ймовірністю, використовують визначене значення дослідного СКВ $\sigma_{\bar{x}}$ та формулу:

$$\Delta_p = t_n \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \quad (3.37)$$

де t_n - нормована квантіль (коефіцієнт) для заданої ймовірності P_0 .

Значення квантільного коефіцієнту для нормального закону розподілу:

| | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| P_0 | 0,8 | 0,9 | 0,95 | 0,98 | 0,99 | 0,995 | 0,998 |
| t_n | 1,28 | 1,64 | 1,96 | 2,83 | 2,58 | 2,81 | 3,09 |

Приведені значення P_0 і відповідні їм значення t_n нормованої квантілі коректні тільки при нормальному законі розподілу та великій кількості вимірювань n . Між значенням вибраної P_0 (довірчої ймовірності) і необхідною для цього кількістю дослідів (вимірювань) є залежність:

| | | | | | | | |
|-------|-----|-----|------|------|------|-------|-------|
| P_0 | 0,8 | 0,9 | 0,95 | 0,98 | 0,99 | 0,995 | 0,997 |
| N | 20 | 40 | 80 | 200 | 400 | 800 | 1333 |

Як бачимо по дослідним даним легко визначити значення Δ_p тільки з довірчою ймовірністю $P_0 = 0,95$ (до ≈ 80 вимірювань), а $\Delta_{0,99}$ та $\Delta_{0,997}$ практично не реалізуємі ($n > 400 \div 1333$).

РОЗПОДІЛ СТЬЮДЕНТА

При малому числі n вимірювань ($2 < n < 30$) використання формули для

оцінки $\Delta_p = t_p \cdot \sigma_x$ є некоректним. Це пов'язане з тим, що формально знайдена для цих випадків оцінка σ_x (вона позначається для цього випадку через S_x у відповідності із співвідношенням $S_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$) буде мати дуже великий розкид, а знайдена квантільна оцінка розкиду середнього може мати велику похибку. В 1908р. англієць Госсет вивів, і опублікував під псевдонімом „Студент”, залежність коефіцієнта t_p (Стюдента) від кількості вимірювань n та заданою ймовірністю для цих випадків.

Квантілі розподілу Стюдента для двохстороннього симетричного довірчого інтервалу для кількості вимірювань n та 2-х значень P_0 має вигляд:

| n | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 10 | 15 | 20 | 30 | ∞ |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| $t_{0,9}$ | 6,31 | 2,90 | 2,35 | 2,13 | 1,94 | 1,83 | 1,76 | 1,73 | 1,70 | 1,64 |
| $t_{0,95}$ | 12,7 | 4,30 | 3,18 | 2,78 | 2,45 | 2,26 | 2,14 | 2,09 | 2,04 | 1,96 |

Суть використання цих квантілів в тому, що при $n < 30$ довірче значення похибки оцінки відхилення \bar{x} (середнього арифметичного) знаходять як:

$$\Delta_{0,9} = t_{0,9} \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (3.38) \quad \text{або} \quad \Delta_{0,95} = t_{0,95} \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (3.39)$$

Тобто, при зменшенні об'єму даних (n), по якому знаходиться оцінка S_x для σ_x , значення t_p Стюдента різко зростають, але вже при $n \geq 8$ відмінності квантілів розподілу Стюдента від нормального розподілу ($n = \infty$) складають вже менше 20%.

КРИТЕРІЙ ОЦІНКИ ПРОМАХІВ.

Похибку, що відповідає довірчому інтервалу $\pm 3\sigma$ називають **межовою** і використовують при визначенні промахів в результатах вимірювань. У відповідності із правилом 3σ (або критерії Райта) похибки більші або рівні 3σ , можна виключати із ряду спостережень і вважати промахами, тобто сумнівний результат вимірювань x_i відкидається, якщо $|\bar{x} - x_i| > 3\sigma_x$. Величини \bar{x} і σ_x розраховуються без урахування x_i , що під сумнівом.

Цей критерій надійний при числі вимірювань $n \geq 20-50$. Якщо $n < 20$, доцільно використовувати критерій Романовського при якому вираховують відношення

$$\left| \frac{\bar{x} - x_i}{\sigma_x} \right| = \beta \quad \text{і зрівнюють } \beta \text{ з теоретичним } \beta_m, \text{ яке вибирають із таблиці}$$

(приведена нижче) в залежності від значення $P = 1 - P_0$. За звичаєм вибирають $P = 0,01 \div 0,05$ і, якщо $\beta \geq \beta_m$, то результат відкидають.

| P | n=4 | n=6 | n=8 | n=10 | n=12 | n=15 | n=20 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.01 | 1.73 | 2.16 | 2.43 | 2.62 | 2.75 | 2.9 | 3.08 |
| 0.02 | 1.72 | 2.13 | 2.37 | 2.54 | 2.66 | 2.8 | 2.96 |
| 0.05 | 1.71 | 2.10 | 2.27 | 2.41 | 2.52 | 2.64 | 2.78 |
| 0.10 | 1.69 | 2.00 | 2.17 | 2.29 | 2.39 | 2.49 | 2.62 |

3.8. ДОДАВАННЯ ПОХИБОК ТА ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНОЇ ПОХИБКИ ЗВ ТА ІВС

Задача визначення розрахунковим шляхом оцінки сумарної похибки по відомим оцінкам її складових називається **задачею додавання похибок** і виникає в багатьох випадках.

До основних випадків відносяться:

- визначення основної похибки окремого засобу вимірювання (ЗВ) при його метрологічній атестації, коли необхідно скласти систематичну та випадкові її складові;
- визначення експлуатаційної похибки ЗВ, коли необхідно скласти основну похибку та додаткові (від зміни температури, від зміни напруги живлення і впливу інших чинників).
- при утворенні інформаційно-вимірювальних каналів (ІВК) та інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) постає задача додавання похибок ряду вимірювальних перетворювачів, які утворюють даний вимірювальний канал;
- визначення похибки як прямих, так і непрямих (посередніх) вимірювань, коли до похибок використаних ЗВ, необхідно додати методичні похибки, а також похибки, які допускаються при відліку показів;
- інколи необхідно врахувати складний механізм трансформації похибок кожної із результатів прямих вимірювань у сумарну похибку результату посереднього вимірювання.

Головною проблемою, яка виникає при додаванні похибок є те, що всі складові повинні розглядатись як випадкові величини, кожна з яких, в відповідності з теорією ймовірності, може бути повно описана своїм законом розподілу. Тоді їх сумісні дії описуються відповідним багатомірним розподілом. Але така задача додавання практично не вирішуємо уже при декількох (3-4) складових, так як операції з такими багатомірними законами дуже складні.

ДОДАВАННЯ ВИПАДКОВИХ СКЛАДОВИХ ПОХИБКИ

Для додавання ВСП не можна використовувати довірче значення похибки Δ_p при довільно вибираємих значеннях довірчої ймовірності P_o , так як довірчий інтервал суми не дорівнює сумі довірчих інтервалів складових.

Для практичного вирішення задач додавання складових випадкових похибок і визначення відповідної числової оцінки сумарної похибки використовують їх середні квадратичні відхилення.

ВСП додаються геометрично, тобто, вираховується корінь квадратичний із суми квадратів середніх квадратичних відхилень (СКВ) всіх складових. Таким чином, сумарне СКВ випадкової похибки при незалежних складових дорівнює:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2} \quad (3.40)$$

Далі, для переходу до довірчої межі інтервалу невизначеності сумарної абсолютної випадкової складової похибки, використовується формула:

$$\dot{\Delta}_{\Sigma} = t_{P_{\Sigma}} \cdot \sigma_{\Sigma} \quad (3.41)$$

На рівні довірчої ймовірності $P_0 = 0,9 - 0,95$ коефіцієнт Стьюдента $t_{p_\Sigma} = 2$ (приймається рівним 2).

У випадках, коли вже відомі довірчі інтервали по кожній складовій випадкової похибки Δ_i , то сумарна випадкова похибка дорівнює:

$$\Delta_\Sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta_i)^2}. \quad (3.42)$$

ДОДАВАННЯ СИСТЕМАТИЧНИХ СКЛАДОВИХ ПОХИБОК

При оцінці результуючої систематичної похибки як абсолютні, так і відносні ССП додаються алгебраїчно, тобто, з урахуванням знаку:

$$\Delta_\Sigma = \sum_{i=1}^n \Delta_i \quad (3.43)$$

Як ми вже знаємо з Вами, особливість систематичної похибки в тому, що вона може бути усунена за допомогою поправки із зворотним знаком. Але перед усім вона повинна бути визначена. Якщо ми знаємо, що наш засіб, вимірювання має ССП, то її можна визначити шляхом вимірювання даної фізичної величини за допомогою зразкового приладу (ЗВ) більш високого класу точності.

Але точність і зразкового ЗВ має також кінцеве значення, яке визначається його класом. Тому поправки на систематичну складову похибки, визначені за його допомогою, у загальному випадку теж будуть мати якусь додаткову $\Delta_{нз}$ похибку, яка може мати любий знак з рівною ймовірністю. Таку додаткову похибку називають **неусуненим залишком** систематичної похибки. Для її урахування вона теж вводиться в квадраті в формулу під $\sqrt{\quad}$ із складових дисперсій.

У загальному випадку, рахуючи складові систематичної похибки взаємозалежними, використовують також для визначення сумарної систематичної похибки формулу геометричного складання. При цьому враховують також, що систематичні похибки в повній мірі визначаються випадковими причинами, і для їх урахування вводять поправочний коефіцієнт K_p , який залежить від довірчої ймовірності P_0 і декілька значень якого приведені у таблиці нижче. Формула геометричного складання має вигляд:

$$\Delta_\Sigma = K_p \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} \quad (3.44) \quad \text{або} \quad \gamma_{\text{ССП}} = K_p \sqrt{\sum_{i=1}^n \gamma_{\text{СВ}i}^2} \quad (3.45)$$

| | | | | |
|-------|------|------|------|------|
| P_0 | 0,9 | 0,95 | 0,98 | 0,99 |
| K_p | 0,95 | 1,1 | 1,3 | 1,4 |

МОЖЛИВІ СПРОЩЕННЯ ДОДАВАННЯ ПОХИБОК

Найбільш важливими моментами викладеної вище методики додавання похибок є знаходження СКВ всіх складових по відомим їхнім інтервальним оцінкам і визначення інтервальної оцінки сумарної похибки, по отриманому в результаті розрахунку її СКВ, так як перехід від інтервальної оцінки похибки до СКВ і навпаки вимагають знання форми закону розподілу.

Звідси шляхи можливого спрощення методики додавання похибок зводяться до використання спрощених методів таких переходів.

1. Один із можливих методів ми вже використовували і він базується на тому, що при додаванні великого числа складових, закон розподілу результуючої похибки наближається до нормального. Але таке припущення є ризиковане і використовується при невисоких технологічних вимогах до точності сумарної похибки. Перехід від σ_Σ до приведеної γ_Σ виконується за $\gamma_{\sigma_\Sigma} = t_n \cdot \sigma_\Sigma$ де t_n - квантільний множник, який визначається по таблицям квантилів нормального розподілу і довірчій ймовірності, або вибирається відповідне значення t_p квантільного множника Стюдента при малому числі вимірювань.

2. Другий шлях спрощення переходу від σ_Σ до γ_Σ при визначенні сумарної похибки ґрунтується на використанні значення довірчої ймовірності $P_\delta = 0,9$, при якій для більшої групи класів різних розподілів зберігається постійним

співвідношення $\frac{\Delta_{0,9}}{\sigma} = 1,6$. Результуючий розподіл теж належить до цієї ж групи класів і для нього справедливе це ж співвідношення.

Ця унікальна властивість похибки при $P_\delta = 0,9$ відкриває можливість різкого спрощення методу розрахункового додавання похибок. Так, якщо складові, що додаються, задані своїми значеннями $\Delta_{0,9i}$, то значення їхніх СКВ $\sigma_i = \frac{\Delta_{0,9i}}{1,6}$;

далі використовуємо $\sigma_\Sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}$, яку знову ж таки переводимо до інтервальної

оцінки $\Delta_{0,9\Sigma} = 1,6\sigma_\Sigma$. Або можемо просто записати: $\Delta_{0,9\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_{0,9i}^2}$.

3. Використовуючи довірчі межі $\pm \Delta_\delta$ (це або $\pm \Delta_{0,9}$, або $\pm \Delta_{0,95}$...), необхідно врахувати наступне: ці границі довірчої межі розміщуються симетрично тільки тоді, коли в ЗВ чи вимірювального каналу відсутня ССП Δ_c . Якщо $\Delta_c \neq 0$, то границі похибки є несиметричними. Наприклад, якщо приведена допустима похибка $\gamma_\delta = \pm 0,4\%$, а $\sigma_c = +0,1\%$ то межа одна (нижня) = $-0,4 + 0,1 = -0,3\%$, а друга (верхня) = $+0,4 + 0,1 = +0,5\%$. Знак похибки Δ_c частіше за все є невідомим і ввести поправку неможливо. Використовувати такі межі в подальших розрахунках дуже незручно.

Тому, на практиці замість використання несиметричних меж переходить до показу симетричних, рівних по модулю найбільшій межі із несиметричних, тобто, замість запису: „похибка знаходиться в межах від $-0,3\%$ до $+0,5\%$ ” переходять до запису „похибка знаходиться в межах $\pm 0,5\%$ ”. Імовірність виходу похибки за такі симетричні межі вже в 2 рази менше, так як такий вихід може відбутися практично тільки з однієї сторони, а не з обох. У результаті, якщо $\gamma_\delta = \pm 0,4\%$ була определена з $P_\delta = 0,9$, то результуюча $\gamma_\delta = \pm 0,5\%$ є похибкою з довірчою ймовірністю $P_\delta = 0,95$.

Таким чином, якщо $\Delta_c \neq 0$, або точніше $\Delta_c > 0,05\%$ то результуюча похибка $\Delta_{0,95}$ легко визначається через модуль ССП $|\Delta_c|$ та $\Delta_{0,9}$.



Однак подальше спрощення методики додавання похибок, як, наприклад, нехтуванням розділу похибок на сильно та слабо корельовані (в цьому випадку додаються складові, які в дійсності повинні відніматись, тобто, не виконується алгебраїчне додавання), або нехтуванням розділу похибок на адитивні та мультиплікативні, вже недопустимо і веде до великих помилкових результатів при визначення сумарної похибки інформаційно-вимірювальних систем.

4. Можна використовувати наступні співвідношення для переходу від СКВ до інтервальної оцінки для інших законів розподілу:

А. Рівномірний закон розподілу: коефіцієнт переходу $\frac{\Delta_m}{\sigma} = \sqrt{3} \approx 1,73$.

Б. Трикутний закон розподілу (а- основа, b - висота трикутника):

$$\frac{a}{b} = \frac{\Delta_m}{\sigma} = \sqrt{6} \approx 2,45$$

В. Трапецієвидний закон розподілу: коефіцієнт переходу залежить від співвідношення сторін трапеції (а- нижня, в – верхня):

$$\frac{a}{b} = 1/5, \frac{\Delta_m}{\sigma} = \sqrt{4,15} \approx 2,04$$

$$\frac{a}{b} = 1/3, \frac{\Delta_m}{\sigma} = \sqrt{4,8} \approx 2,19 ;$$

$$\frac{a}{b} = 1/2, \frac{\Delta_m}{\sigma} = \sqrt{5,2} \approx 2,28$$

Рівномірний закон розподілу мають:

1. похибки квантування в цифрових приладах;
2. похибки при округленні в розрахунках;
3. похибки при відліку показів аналогових приладів;
4. похибки від тертя в приладах з кріпленням рухомої частини на кернях або підп'ятниках;
5. автоматичні мости і потенціометри з слідою чим електромеханічним приводом;
6. похибка визначення моменту часу для кожного із кінців інтервалу часу в електронних вимірювачах частоти.

Коливання напруги живлення змінного струму в енергосистемі постачання підпорядковується приблизно трикутному розподілу. Тому якщо відомо, що напруга живлення приладу змінюється в межах $\pm 5\%$ від номінального 220В, то закон розподілу цієї зміни є трикутним з максимальним відхиленням $\pm 11В$.

ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНОЇ ПОХИБКИ ІВС

Результуючу похибку вимірювальної системи оцінюють двома методами.

За першим методом (його називають “згори”) – межі похибок вимірювальної системи оцінюють за межами допустимих основних і додаткових похибок ЗВ, які складають систему і які визначаються їхнім класом точності. У

практиці вимірювань частіше за межу допустиму похибку використовують основну допустиму похибку ЗВ або значення максимальної допустимої приведеної похибки, яка визначає його клас точності. Допустиму приведену похибку γ_0 системи оцінюють, як корінь квадратний із суми квадратів межових допустимих значень похибок всіх складових цієї системи :

$$\gamma_0 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \dots + \gamma_n^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \gamma_i^2}. \quad (3.46)$$

Цей метод використовується, коли межові похибки незалежні і відповідають одним довірчим ймовірностям P_0 при одних і тих же законах розподілу.

Другий метод визначення сумарної похибки вимірювальної системи ґрунтується на визначенні сумарної похибки через $\sqrt{\quad}$ із суму квадратів середніх квадратичних відхилень складових її елементів :

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}. \quad (3.47)$$

Для цього необхідно знайти середню квадратичну похибку всіх ЗВ, які складають інформаційно-вимірювальну систему. При цьому:

1. Спочатку визначають, виходячи із класів точності елементів системи, межу допустиму абсолютну похибку при заданій довірчій ймовірності, наприклад, $P_0 = 0,9$: $\Delta_{0,9} = \frac{\gamma \cdot N}{100}$ (одиниць вимірюваної величини);

2. Друге, використовуючи співвідношення для переходу від межової похибки $\Delta_{0,9}$ до СКВ (коефіцієнт Стьюдента, t_p або t_n при нормальному законі розподілу, або при рівномірному законі розподілу для ІВС: $t_p = \frac{\Delta_{0,9}}{\sigma}$;

враховується $\sigma = \Delta_{0,9} / \sqrt{3}$;

3. Визначити сумарну похибку $\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}$;

4. Визначити максимально допустиму межу абсолютну похибку системи, знову використавши співвідношення переходу: $\Delta_{0,9} = t_k \cdot \sigma_{\Sigma}$;

5. Далі визначається при відомому діапазоні N приведена допустима похибка системи: $\gamma_0 = \frac{\Delta_{0,9}}{N} \cdot 100$.

ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНОЇ ПОХИБКИ ЗВ

Результуюча абсолютна похибка Δ_{Σ} ЗВ дорівнює сумі $\Delta_{\Sigma} = \Delta_{c\Sigma} + \Delta_{v\Sigma}$, де $\Delta_{c\Sigma}$ та $\Delta_{v\Sigma}$ - згруповані суми відповідно систематичних та випадкових похибок. Механізм такого додавання виходить з того, що систематична похибка $\Delta_{c\Sigma}$ може складатись тільки з довірчим інтервальним значенням ВП $\Delta_{c\Sigma} = t_{p\Sigma} \cdot \sigma_{\bar{x}_{\Sigma}}$, де $t_{p\Sigma}$ та $\sigma_{\bar{x}_{\Sigma}}$ - відповідно коефіцієнт Стьюдента та СКВ сумарної випадкової похибки. Таким чином, загальна формула для сумарної похибки ЗВ, яка називається основною, має вигляд:



$$(3.48)$$

де $\Delta_{кнс}$ - нескориговані залишки ССП та похибка варіації.

Якщо варіація відсутня або нею можна нехтувати, а ССП усунута, то основна похибка Δ_0 ЗВ визначається:

- при малому числі n дослідів ($n < 20$)
$$\Delta = \Delta_0 + t_p \frac{S_x}{\sqrt{n}};$$

- при великому числі n дослідів ($n > 20$)
$$\Delta = \Delta_0 + t_p \frac{S_x}{\sqrt{n}};$$

де t_n - квантільний коефіцієнт для нормального закону розподілу;

t_p - коефіцієнт Стьюдента.

У загальному вигляді сумарна абсолютна похибка Δ_Σ засобу вимірювання з урахуванням впливаючих факторів :

$$\Delta_\Sigma = \Delta_0 + \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} \quad (3.49)$$

де Δ_0 - основна похибка при нормальних умовах ;

Δ_i - додаткові похибки, які визвані зміною i -го впливаючого фактору.

Якщо сумарна абсолютна похибка ЗВ має цілий ряд окремих складових то зменшувати всі їх значення, для підвищення точності вимірювань потрібно до тих пір, поки одна із складових не буде перевищувати інші складові, по крайній мірі, в 2 рази. Подальше зменшення інших складових не приведе до відчутного збільшення точності результату. Для цього необхідно тільки зменшувати домінуючу складову похибки. Тобто, похибка результату вимірювання за допомогою ЗВ, який складається із ланцюга окремих перетворювачів (окремих складових повної (загальної) похибки), визначається похибкою "найбільш грубої ланки".

ФОРМИ ЗАПИСУ КІНЦЕВОГО РЕЗУЛЬТАТУ ВИМІРЮВАНЬ

По означенням, у результаті статистичної обробки результатів вимірювання, математичному сподіванні m_x (або середньому арифметичному \bar{x}) та дослідному середньому квадратичному відхиленню $\sigma_{\bar{x}}$ може бути записаним і кінцевий результат вимірювань по формі, рекомендованій ГОСТ : $L; \Delta$; від $\Delta_{нж}$ до $\Delta_{вр}$; P_0

де L – результат вимірювання в одиницях вимірюваної величини X , який дорівнює $L = \bar{x} = m_x$;

$\Delta_{нж}$ та $\Delta_{вр}$ - похибки вимірювання з нижньої і верхньої її межі в тих же одиницях (тобто, границі довірчого інтервалу),

P_0 – установлена ймовірність, з якою похибка знаходиться в межах цих границь (довірча ймовірність):



Якщо нижня $\Delta_{ниж}$ та верхня $\Delta_{вр}$ межі довірчого інтервалу мають однакові (а це як правило), то значення симетричні $\Delta_{до} = \Delta_{ниж} = \Delta$, а значення Δ визначаються за формулою $\Delta = t_p \cdot \sigma_x / \sqrt{n}$, де t_p - коефіцієнт Стюдента.

Результат істинного значення вимірювання величини має вид :

$$\bar{Q} \pm t_p \cdot \sigma_x / \sqrt{n} \quad (3.50)$$

Така форма запису кінцевого результату використовується при будь-якому законі розподілу похибок.

Якщо закон розподілу випадкової похибки підпорядкований нормальному (а це як правило, і якщо кількість чинників, які впливають незалежно на випадкову похибку, більше чотирьох (>4), то як значення, замість значення межі довірчого інтервалу Δ , можна використовувати σ_x , тобто, СКВ вихідних даних.

У той же час це вже і визначає і довірчу ймовірність. Наприклад, при значенні $\Delta = \sigma_x$ значення $P_0 = 0,68$; при $\Delta = 2\sigma_x$ значення $P = 0,95$; при значенні $\Delta = 3\sigma_x$ значення $p = 0,997$. Тобто при нормальному законі розподілу в межах квантілі $\pm \sigma_x$ знаходиться 68 % похибок, в межах $\pm 2\sigma_x - 95\%$, а $\pm 3\sigma_x - 99\%$ всіх похибок. Або, по іншому, можна сказати, що при нормальному законі розподілу ВСП якщо необхідна $P_g = 0,9$, то випадкова похибка Δ повинна дорівнювати $\Delta = 1,6\sigma_x$. Якщо необхідна $P_g = 0,95$, то $\Delta = \pm 2\sigma_x$. Якщо $P_g = 0,997$ то необхідно $\Delta = \pm 3\sigma_x$. Таким чином, результат істинного значення вимірюваної величини при нормальному розподілу ВСП може бути записаний у вигляді : $Q = m \pm 2\sigma_x$ (при довірчій ймовірності $P_0 = 0,95$).

3.9. ОПТИМАЛЬНИЙ ВИБІР ТОЧНОСТІ ЗВ

Вибір ЗВ по його точності є одним із основних етапів розробки системи автоматизації об'єкта і в значній мірі визначає її ефективність. Вимірювання з похибкою, наприклад, 5 % можуть бути проведені з меншими витратами часу і коштів засобів, чим вимірювання з похибкою 0,01 %.

У той же час в останні роки дістали широке використання методи статичного визначення середнього випадкових похибок і автоматичного усунення систематичних похибок шляхом використання зразкових сигналів. Але введення поправок, таким чином, приводить до збільшення дисперсії в 2 рази, а інколи тестові методи можуть приводити до збільшення ВП в 20 раз і більше.

Для раціонального вибору класу ЗВ, тобто похибки ЗВ $\Delta_{ЗВ}$, яка в першому наближенні визначатиме похибку $\Delta_{РВ}$ результату вимірювання (РВ) на об'єкті необхідно враховувати ще і не відтворюваність РВ від досліду до досліду, яка визивається самим вимірювальним параметром об'єкта. Така не відтворюваність називається **дифузністю**. Наприклад, зріст людини змінюється з частотою дихання, а також в такт з биттям серця. Дифузність в метрології – це постійна змінна вимірюваного параметру в залежності від деяких чинників.

Тому, похибка РВ, яка отримана при вимірюванні параметру об'єкта, (позначається як $\Delta_{РВ}$) складається завжди як мінімум із двох складових: $\Delta_{ДФ}$ – похибки дифузності об'єкта вимірювання та $\Delta_{ЗВ}$ - похибки ЗВ.

Ці складові, як правило, можна рахувати некорельованими, тоді $\Delta_{РВ} = \sqrt{\Delta_{ДФ}^2 + \Delta_{ЗВ}^2}$.

При цьому можливі три випадки.

1. За звичаєм розробник АСУ ТП прагне використовувати найбільш точні ЗВ з $\Delta_{ЗВ} \ll \Delta_{ДФ}$. При цьому вихідний розкид даних визначається тільки дифузністю об'єкта $\Delta_{РВ} \approx \Delta_{ДФ}$. Добре це чи погано? Звичайно, погано. Для того щоб отримати середнє значення цього розкиду, необхідно: 1) провести велику кількість вимірювань, але і 2) більш точні прилади вимагають, як правило, більших витрат на їх придбання та обслуговування, а також витрати часу на кожне вимірювання.

Якщо при тих же умовах зменшувати точність ЗВ, то до тих пір, доки $\Delta_{ЗВ} \ll \Delta_{ДФ}/3$ похибка ЗВ не досягне третини складової дифузії, похибка $\Delta_{РВ}$ РВ буде залишатись практично незмінною, а витрати часу на вимірювання будуть суттєво менші. Меншою є і ціна (кошти) більш грубого приладу і вартість обслуговування, його обслуговує менш кваліфікований персонал. Таким чином, ефективність дослідів підвищується. **Висновок:** при $\Delta_{ЗВ} \ll \Delta_{ДФ}$ точність вимірювання не може бути суттєво підвищена за використання більш точних ЗВ. Єдиним шляхом підвищення точності залишається статистична обробка даних багаторазових вимірів. Підвищення ефективності по витратам коштів дослідів досягається за рахунок зниження точності ЗВ.

2. При $\Delta_{ЗВ} \approx \Delta_{ДФ}$ похибка $\Delta_{РВ} = \sqrt{\Delta_{ДФ}^2 + \Delta_{ЗВ}^2} \approx \sqrt{2} \Delta_{ДФ}$, тобто, похибка розкиду $\Delta_{РВ}$ зростає тільки на 40 % у порівнянні з тим, коли $\Delta_{ЗВ} \approx \Delta_{ДФ}$.

При проведенні багаторазових n вимірювань і визначенні їх середнього в \sqrt{n} зменшується як вплив $\Delta_{ДФ}$ дифузності об'єкта так і вплив ВСП ЗВ. У цьому випадку статичне опрацювання дуже ефективне.

Але значно збільшувати об'єм статистичних даних теж немає сенсу, так як систематична похибка вибраного ЗВ при визначенні середнього не зменшується.

3. При $\Delta_{ЗВ} \gg \Delta_{ДФ}$ похибка результатів вимірювання вихідних даних вимірювання повністю визначається похибкою ЗВ $\Delta_{РВ} = \Delta_{ЗВ}$. Якщо це значення $\Delta_{РВ}$ повністю влаштовує розробника, то не має потреби в організації багаторазових вимірювань і визначенні середнього.

Якщо ж виникає питання про необхідність зниження $\Delta_{РВ}$ в цьому випадку, то прийняття рішення про доцільність проведення багаторазових досліджень і розрахунку середнього, чи заміну ЗВ на більш точний, вимірюється шляхом спеціального дослідження.

Висновок. Порівнюючи всі три випадки можна зробити такий висновок:

для досягнення найбільшої ефективності вимірювання не має сенсу вибирати прилади (ЗВ) з випадковою похибкою меншою ніж третина складової похибки дифузності об'єкта ($\Delta_{ЗВ} \ll \Delta_{ДФ}/3$), а збільшувати об'єм даних для розраху-

нку середнього має сенс до тих пір, доки величина $\sqrt{\frac{\Delta_{\text{ИФ}}^2 + \Delta_{\text{ЗВ}}^2}{n}}$ не буде зрівнюватись (не досягне рівня) із значенням систематичної складової похибки ЗВ.
[1, с.: 105...220; 2, с.: 5...84; 5, с.: 4...5]

Контрольні запитання до розділу 3

1. Приведіть класифікацію похибок вимірювань.
2. Дайте визначення похибок результатів та засобів вимірювань.
3. Що таке нормоване значення похибки та його призначення?
4. Правила округлення результатів вимірювань.
5. Як визначається похибка результату одноразового непрямого вимірювання?
6. Як визначається похибка результату прямого одноразового вимірювання?
7. Як визначається похибка результатів багаторазових непрямих вимірювань?
8. Що таке систематична похибка і як вона визначається?
9. Що таке випадкова складова похибки вимірювань та її особливості?
11. Що таке інтегральний закон розподілу випадкових величин?
12. Що таке середньоквадратичне відхилення випадкової похибки?
13. В чому суть розподілу Стюдента?
14. Як розраховується похибка ІВС (ІВК) ?
15. Як розраховується похибка ЗВ?
16. Як здійснюється оптимальний вибір засобу вимірювань по точності?

ЛЕКЦІЯ № 15

ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

4.1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ. ТЕМПЕРАТУРНІ ШКАЛИ.

Температура – один із важких технологічних параметрів, який характеризує практично всі технологічні процеси в харчовій промисловості і призначені як для виготовлення готового (кінцевого продукту так і напівфабрикату). До них відноситься: нагрів, випічка, сушка, випарки, розварювання, охолодження та ін. Межі вимірювання температури складають від -90 до +1200°C і вище.

Температура відноситься до таких фізичних величин, які не піддаються безпосередньому (прямому) вимірюванню. Тому температуру завжди перетворюють в іншу фізичну величину, яка зв'язана з температурою відомою залежністю.

Для вимірювання температури використовується декілька шкал.

За стандартом передбачено використання двох температурних шкал: термодинамічної температурної шкали (ТТШ), як основної, та міжнародної практичної температурної шкали (МПТШ).

Принцип застосування **термодинамічної температурної шкали** ґрунтується на другому законі термодинаміки: температура тіла пропорційна кількості тепла, яке в ньому знаходиться. Температура, виміряна за цією шкалою, позначається літерою Т, а за одиницю прийнятий Кельвін (К).

За повної відсутності тепла в тілі, його температура $T=0$, що відповідає початковій точці термодинамічної температурної шкали (ТТШ) і називається аб-

солютним нулем. Кожна шкала температури має реперні точки. Реперна точка шкали – це значення температури на шкалі, яке відповідає певному стану абсолютно чистої речовини, або суміші речовин, при цій температурі.

Основною реперною точкою для ТТШ є потрійна точка води, яка відповідає 273,16 К. **Потрійна точка води** – є точкою рівноваги води в твердій (льод), рідкій та газоподібній (пара) фазах і може бути відтворена в спеціальних посудинах з похибкою не більше $\pm 0,0002$ °С.

Одиницею термодинамічної температури є Кельвін, який визначається як 1/273,16 частина температури потрійної точки води.

Для вимірювання по термодинамічній шкалі використовуються спеціальні газові термометри. Це досить точні прилади, але їх використання поки що пов'язане з труднощами, до яких відносяться: по-перше, складність у використуванні (поки що), та, по-друге, те, що в звичному нам діапазоні температур від 0...100 °С, шкала цього термометра дуже вузька, так як він вимірює температуру від 0 К (-273 °С) і цей нуль практично нами не використовується). Тому, для широкого кола вимірювань використовується **стоградусна шкала Цельсія** (1742 р.), або її розвиток **міжнародна практична температурна шкала (МПТШ)** (розрізняють МПТШ 68 та МПТШ МТШ 90).

В якості реперних точок по шкалам МПТШ вибрані:

1) точка таяння льоду, яка може бути відтворена з похибкою в межах $0,0002 \div 0,01$ °С і складає 0 °С або 277,15 К;

2) точка кипіння води, яка приймається як 100 °С і відтворюється з похибкою $\pm(0,002 \div 0,01)$ °С, та відповідає стану рівноваги між водою і водяною парою.

Температура в градусах Цельсія **t** визначається як $t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$. Одиницею температури в цьому випадку є градус Цельсія, який дорівнює по розмірності градусу Кельвіна.

На практиці використовуються і англо-американські температурні шкали:

Шкала Фаренгейта (°F): 0°F – температура суміші льоду та нашатирного спирту; 96°F – температура людського тіла, 32 °F - точка танення льоду; а точці кипіння води відповідає 212°F. Градус °F = 1/180 частину різниці (212-32)°F.

Співвідношення між шкалами МПТШ та Фаренгейта:

$$t(^{\circ}\text{F}) = (9/5) * t(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad \text{та} \quad t(^{\circ}\text{C}) = 5/9[t(^{\circ}\text{F}) - 32].$$

Шкала Реомюра °R: 0 °R – точка танення льоду, 80 °R – точка кипіння води. °R – це 1/80 частина цього інтервалу. **1 °R = 1,25 °C.**

Між термодинамічними шкалами ТТШ та МПТШ 68 (практичною) існує різниця. Обидві шкали збігаються в реперних точках, проте в інтервалах, де відбувається інтерполяція, між ними є розбіжність, яка залежить від температури (розбіжність не перевищує 0,04°С в діапазоні (-190...+120)°С, і досягає 0,5 °С при температурах 800 °С).

МПТШ 68 встановлена для температур від 13,81 до 6300 К. Переведення значення температури у °С в К виконується за рівнянням: $T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15$.

Введення нової МПТШ-90 розширило дію МТШ-90 в нижньому діапазоні від 0,65 К, та ще більше приблизило її до ТТШ при температурах вище 0°С за рахунок введення додаткових реперних точок (точки плавлення гелію, затвер-

діння індію, алюмінію).

4.2. КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

В промисловій термометрії використовується **2 основних методи вимірювання температури:**

- контактний, який реалізується первинним вимірювальним перетворювачем, який знаходиться в безпосередньому контакті з вимірювальним середовищем;
- та безконтактний, який реалізується в пірометрах, а температура визначається по тепловим електромагнітним випромінюванням нагрітих тіл.

У відповідності з основними методами вимірювання температури термометри класифікують наступним чином:

- контактні на:

1) **термометри розширення:** рідинні скляні (діапазон вимірювання від -200 до $+600^{\circ}\text{C}$) та дилатометричні і біметалеві (від -150 до $+700^{\circ}\text{C}$). Принцип їхньої дії базується на зміні об'єму рідини чи лінійних розмірів твердих тіл при зміні температури;

2) **манометричні термометри:** ($-200\dots+1000^{\circ}\text{C}$) – в термометрах використовується зміна тиску газу, рідини чи пари в замкнутому об'ємі при зміні температури;

3) **термометри опору**, які використовують залежність електричного опору провідників та напівпровідників від температури і які поділяються на:

а) металеві (від -260 до $+1100^{\circ}\text{C}$) та б) напівпровідникові ($-275\dots+600^{\circ}\text{C}$);

4) **термоелектричні термометри** (термопари), які використовуються в діапазоні температур ($-200\dots+2200^{\circ}\text{C}$), а принци дії ґрунтується на зміні термоелектрорушійної сили (ТЕРС) в ланцюгу при нагріванні спаю двох різнорідних металів.

Безконтактні (пірометри) на:

а) квазімонохроматичні ($700\dots10000^{\circ}\text{C}$);

б) спектрального відношення ($300\dots2800^{\circ}\text{C}$);

в) повного випромінювання ($-50\dots3500^{\circ}\text{C}$).

Принцип дії пірометрів базується на використуванні яскравості горіння чи сумарного теплового випромінювання при нагріванні тіла.

Вибір того чи іншого методу та ЗВ для вимірювання температури залежить від багатьох факторів, основними із яких є: а) межі випромінювання температури; б) точність випромінювання; в) склад і властивості вимірювального середовища.

4.3. ТЕРМОМЕТРИ ОПОРУ

Принцип дії термометрів опору ґрунтується на властивості провідників (металів) та напівпровідників змінювати свій електричний опір R в залежності від зміни їхньої температури t . В загального вигляді: $R = f(t)$.

Така властивість металів характеризується температурним коефіцієнтом α опору (ТКО), який визначається як відношення приросту опору провідника, що виготовлений із цього металу, до приросту температури, що привела до

його нагрівання та зміни електричного опору, та опору провідника R . В загальному вигляді ТКО при малих приростах температури визначається

$$\text{залежністю: } \alpha = \frac{dR}{Rdt} \left(\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right).$$

Для провідників (металів) - ТКО додатний і їхній опір зростає з зростанням температури, а перетворювачі, які виготовлені із металевого дроту називають (в загальному) терморезисторами. У напівпровідників навпаки – ТКО від’ємний і їхній опір електричному струму падає із ростом температури, а перетворювачі, що виготовлені із напівпровідникових матеріалів, називають термісторами.

В більшості провідникових і напівпровідникових тіл залежність опору R від температури можна узагальнити формулою:

$$R = C * e^{kT}, \quad (4.1)$$

де C та k – коефіцієнти, значення яких залежить від матеріалу, з якого виготовлений терморезистор; крім цього, C залежить від геометричних розмірів терморезистора, а k для напівпровідників - залежить і від температури; e – основа натуральних логарифмів; T – абсолютна температура, K .

На практиці, як правило, температуру вимірюють за шкалою Цельсія і, використовуючи співвідношення: $T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273.15$, приведена залежність активного опору від температури $t(^{\circ}\text{C})$ приймає вигляд:

$$R = C * e^{k(273.15 + t)} = C * e^{273.15k} * e^{kt}. \quad (4.2)$$

Значення виразу: $C * e^{273.15k} = R_0$ – приймається за початковий опір тіла при температурі 0°C . Відповідно:

$$R = R_0 * e^{kt}. \quad (4.3)$$

Так як для провідникових термометрів коефіцієнт k не залежить від температури, то формулу (3) можна переписати в іншому вигляді, розклавши її в ряд Макларена:

$$\begin{aligned} f(t) &= R_0 * e^{kt} = f(0) + \frac{t}{1!} f'(0) + \frac{t^2}{2!} f''(0) + \frac{t^3}{3!} f'''(0) + \dots = \\ &= R_0 \left(1 + \frac{k}{1!} t + \frac{k^2}{2!} t^2 + \frac{k^3}{3!} t^3 + \dots \right) = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3 + \dots), \quad (4.4) \end{aligned}$$

де $f'(0), f''(0), f'''(0), \dots$ – частинні похідні функції e^{kt} .

В ПВП температури може використовуватись будь-який терморезистор, але в якості засобів вимірювання температури з нормованими метрологічними характеристиками (НМХ) використовують термометри опору (ТО). **ТО це терморезистори з НМХ, які виготовлені із чистих металів** (міді, платини, нікелю, вольфраму або заліза) і які відповідають наступним вимогам:

- мають достатньо великий і незмінний в часі ТКО, який прийнято визначати для ТО в інтервалі температур від 0 до 100°C по залежності:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 * 100}, \quad \left[\text{для більшості чистих металів } \alpha \cong 4 * 10^{-3} \left(\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right) \right]$$

де R_0 та R_{100} - опір ТО при 0 та при 100°C , Ом;

- мають монотонну без гістерезису характеристику перетворення $R = f(t)$;

- мають високий питомий електричний опір, а метал ТО не вступає до взаємодії з вимірюваним середовищем.

Найбільше розпоширені провідникові ТО, які виготовляють із мідного дроту (використовуються для вимірювання температури від -50 до 180°C) або із платинового – для температур від 0 до 650°C .

ТО являє собою дріт певної довжини і діаметром $\cong 0,07\text{мм}$, що намотаний на стержень із ізоляційного матеріалу (наприклад, слюди). Чутливі елементи ТО розміщують (рис. 4.2) в корпус (кожух) із нержавіючої сталі, який має різьбове з'єднання для його кріплення до металевих стінок технологічного обладнання та головку, в якій розміщують клеми під'єднання зовнішніх проводів. Для вимірювання температури в системах вентиляції і в приміщеннях, виготовляють спеціальні ТО, оболонка яких пеУкраїніорується, для швидкого доступу повітря до чутливого елемента.

ТО мають при виготовленні нормоване (стандартизоване) значення R_0 при 0°C і зображуються як ТСМ для мідного дроту та ТСП – для платинового. Залежність опору ТО від температури називається градууювальною характеристикою. Для мідних ТО ця залежність має вигляд із двох членів формули (4):

$$R_m = R_{0m} * (1 + \alpha * t), \quad (4.5)$$

де $\alpha = 4,26 * 10^{-3} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$.

ТО із міді виготовляються із нормованим значенням опору R_{0m} при 0°C на $10, 50, \text{ та } 100 \text{ Ом}$ і їм присвоєні умовні позначення: $10\text{М}, 50\text{М}, 100\text{М}$.

Для платинових ТО залежність (4) опору від температури визначається трьома членами формули (4) для температур $\geq 0^{\circ}\text{C}$:

$$R_n = R_{0n} * (1 + \alpha * t + \beta * t^2), \quad (4.6)$$

де $\alpha = +3.968 * 10^{-3} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$; $\beta = -5.847 * 10^{-7} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$.

При вимірюванні температур $< 0^{\circ}\text{C}$ – градууювальна характеристика ТСП описується виразом із 4-х членів формули (4).

Платинові ТО теж мають нормовані значення R_{0n} при температурі 0°C і, по аналогії з мідними, в залежності від R_{0n} мають позначення: $1\text{П}, 5\text{П}, 10\text{П}, 50\text{П}, 100\text{П}, 500\text{П}$.

Всі типи ТО виготовляється як взаємозамінні і для цього їхні типи, основні параметри та розміри регламентуються відповідним стандартом. Основними параметрами для забезпечення взаємозамінності ТО є допуски на відхилення їхнього опору при температурі 0°C (R_0) від номінального значення, що відповідає приведенному ряду, та на коефіцієнт W_{100} , який визначається відношенням: R_{100} / R_0 , тобто, відношенням опору ТО при температурі 100°C до його опору при 0°C і який залежить від чистоти дроту, із якого виготовлений ТО. Наприклад, для ТСП 50 - $W_{100} = 1.385$; а для ТСМ 50 – $W_{100} = 1.391$.

Платинові ТО використовуються як зразкові, еталонні та технічні, а мідні – тільки як технічні термометри. ТО із міді випускається 2-го та 3-го класів з абсолютними похибками від $\pm 0.3 \dots 0.5^{\circ}\text{C}$ до $\pm 1 \dots 2^{\circ}\text{C}$.

Як вторинні вимірювальні прилади для роботи з ТО найбільше поширення набули зрівноважені та незрівноважені мости, а також логометри.

Принципову схему урівноваженого моста показано на рис. 4.1, а. Міст складається з постійних резисторів R_1 та R_3 , реохорда R_2 , термометра опору R_t та двох з'єднувальних дротів R_{np} , за допомогою яких ТО встановлюється в об'єкті. В діагональ живлення «ac» мостової схеми ввімкнено джерело постійного струму E , а в другу (вимірювальну) діагональ «bd» – ввімкнений нуль-прилад НП (чутливий гальванометр). Умовою рівноваги моста є відсутність напруги в діагоналі **bd** і відповідно сили струму через НП. Як наслідок такої рівноваги моста є рівність добутків опорів його протилежних плечей:

$$R_1 (R_t + 2 R_{np}) = R_2 * R_3. \quad (4.7)$$

Зі зміною температури в об'єкті змінюється й опір R_t , міст виходить з рівноваги і в діагоналі **bd** потече струм, стрілка приладу НП відхиляється.

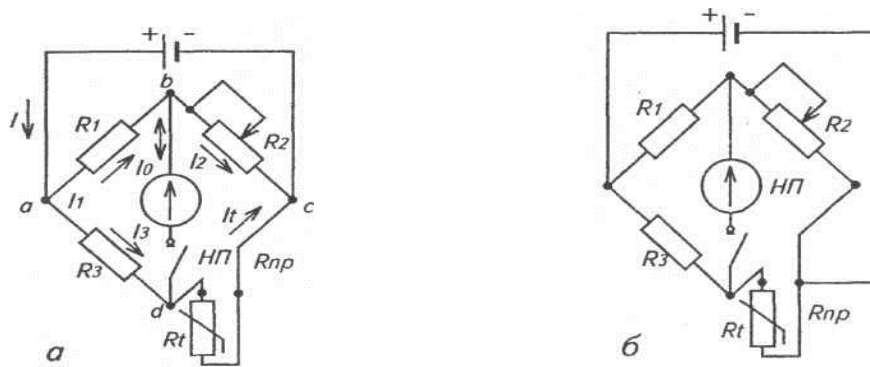


Рис. 4.1. Принципова схема урівноваженого моста з термометром опору.

Щоб повернути міст до рівноваги, необхідно змінювати опір реохорда R_2 до тих пір, доки стрілка приладу не стане на нуль. Опір термометра дорівнює:

$$R_t = R_2 * (R_3 / R_1) - 2 R_{np}. \quad (4.8)$$

Таким чином, кожному значенню R_t , відповідає певне значення R_2 , яке зчитується по шкалі реохорда. Така мостова схема урівноважування називається схемою порівняння.

Для зменшення впливу температури навколишнього середовища на опір з'єднувальних дротів R_{np} , використовується трьох-дротова схема включення термометра (рис. 4.1, б), в якій одну з вершин живлення моста переносять безпосередньо до головки термометра. При цьому умова рівноваги має вигляд:

$$R_t + R_{np} = (R_2 + R_{np}) * (R_3 / R_1). \quad (4.9)$$

А при умові рівності опорів R_1 та R_3 - виключається вплив з'єднувальних дротів R_{np} на умову балансу мосту.

У автоматичних урівноважених мостах (рис. 4.3) переміщення повзуна реохорда для урівноваження моста виконується за допомогою автоматичної астатичної системи слідування першого порядку. Зі зміною температури в об'єкті змінюється опір термометра R_t . При цьому порушується рівновага моста і на вхід підсилювача ЕП з діагоналі **BD** моста надходить сигнал небалансу. Цей сигнал підсилюється підсилювачем ЕП, який керує реверсивним двигуном РД, що переміщує движок реохорда R_p доти, поки напруга небалансу на вході еле-

ктронного підсилювача не буде дорівнювати нулю. Одночасно з переміщенням повзунка реохорда переміщується і показуюча стрілка.

Автоматичні урівноважені мости є технічними приладами досить високого класу точності (0,25; 0,5; 1,0). Випускаються такі типи автоматичних мостів: КВМ2, КСМ1, КГТМ1, КСМ2, КСМ3, КСМ4.



Рис. 4.2. Загальний вигляд ТО

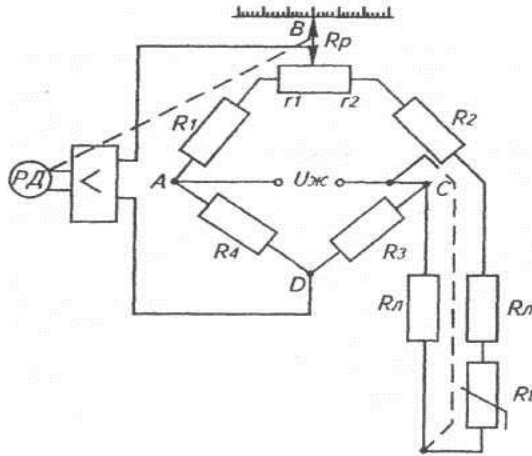


Рис.4.3. Спрощена схема автоматичного урівноваженого моста

Останнім часом виготовляються мідні термометри типу ТСМУ – 0288, 0388 з нормувальними перетворювачами, розміщеними у їхніх головках, а також аналогічні платинові ТСПУ, з уніфікованими вихідними сигналами (4÷20 мА). Це, так звані, інтелектуальні датчики.

До таких інтелектуальних датчиків останнього покоління відноситься **вимірювальний перетворювач температури SITRANS TF2.**

Конфігуруємий SITRANS TF2 (рис.4.4) - 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, а також дистанційна передача сигналу вимірювальної інформації на відстань.

■ Загальний огляд та основні технічні характеристики TF2:

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

- термометр опору Pt100 в захистній трубці із нержавіючої сталі;
- корпус із нержавіючої сталі з високим класом захисту;
- вбудований та конфігуруємий за допомогою трьох клавіш мікропроцесорний вимірювальний перетворювач з рідинно-кристалевим дисплеєм (РКД).

Вхід: вимірювана величина – температура в діапазоні від $-50 \dots +200^\circ\text{C}$.

Вихід: уніфікований сигнал $4 \dots 20 \text{ mA}$ по дротам живлення.

Абсолютна похибка при температурі навколишнього середовища в межах $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ складає: $< \pm(0,45^\circ\text{C} + 0,2\%$ від верхньої межі налаштованого діапазону.

Час одного циклу вимірювання $\leq 100 \text{ ms}$.

■ Переваги та конструкція приладу SITRANS TF2:

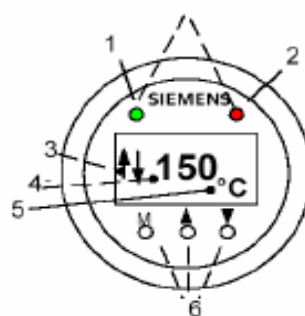
- висока точність вимірювання та індикація з дозволяючою властивістю 1/100 °С в усьому діапазоні вимірювання;
- конфігуруємі діапазони вимірювання в межах від -50 до +200°С;
- сигналізація (+/-) про перевищення заданого межового значення температура на РКД, а також за допомогою червоного світлодіоду (рис.4.5).

Корпус SITRANS TF2 виготовлений із інструментальної сталі (Ø 80 mm) та оснащений захисним склом. В захисну трубу із інструментальної сталі з різьбовим з'єднанням вмонтований і температурний датчик **Pt100**. За рахунок використання інструментальної сталі при виготовленні захисних труб досягається висока хімічна стійкість, яка визначає високу ступінь захисту температурного датчика від впливу вимірюваного за температурою середовища. У стандартному виконанні довжина захисної труби складає 170 (260) мм.

На зворотній стороні корпусу розміщені клеми для підключення живлення за рахунок струмового ланцюга (петлі) 4...20 mA.



Рис. 4.4. Загальний вигляд SITRANS TF2.



- 1 Зелений світлодіод
- 2 Червоний світлодіод
- 3 Жидкокристаллический индикатор: выход за верхнее / нижнее предельное значение
- 4 Жидкокристаллический индикатор: отображаемое значение
- 5 Жидкокристаллический индикатор: единица измерения
- 6 Клавиши управления

Рис. 4.5

На передній стороні корпусу знаходиться п'ятирозрядний дисплей под скляною кришкою. Під дисплеєм (рис.4.5) розташовані три клавіші конфігурування SITRANS TF2. Над дисплеєм розташовані один зелений та один червоний світлодіоди для індикації стану приладу.

Первинний вимірювальний перетворювач Pt100 (рис.4.6), що знаходиться в об'єкті, отримує живлення від стабілізованого джерела струму I_K . Спад напруги на датчику Pt100 відповідає вимірюваній температурі. Аналого-цифровий перетворювач (A/D) перетворює спад напруги у цифровий сигнал. В мікроконтролері (μC) цифровий сигнал лінеаризується і відтворюється у числовій формі у відповідності з необхідними даними (наприклад, вибраною одиницею вимірювання або необхідному діапазону), що запрограмовані заздалегідь та зберігаються в постійній перепрограмуємій пам'яті EEPROM.

Вимірювальний перетворювач TF2 можна розділити на наступні функціональні блоки і окремі функції (рис. 4.6):

Вхід: *RTD* – термометр опору Pt100; I_K – стабілізоване джерело струму; *A/D* – аналого-цифровий перетворювач.

Вихід:

D/A – цифро-аналогови перетворювач (ЦАП); U/I – перетворювач напруги в струм, який живиться від стабілізованого джерела напруги та перетворює напругу ЦАП в уніфікований вихідний сигнал по струму (4...20 мА);

EMV – вихідний каскад з захисними компонентами, який об'єднує струм живлення з уніфікованим вихідним сигналом по струму;

U_H – джерело живлення перетворювача (+12 В);

I_A – уніфікований вихідний сигнал по струму (він же струм споживання).

Керування та індикація:

3 *клавіші* – конфігурування параметрів перетворювача;

LCD – індикація вимірюваних величин з одиницями вимірювання (РКД);

Зелений світлодіод – індикація нормального режиму роботи;

Червоний світлодіод – індикація повідомлень про помилки та при виході параметру за встановлені межі.

Мікроконтролер:

EEPROM – запам'ятовуючий пристрій для всіх параметрів;

μC – функції обчислення та контролю мікроконтролера.

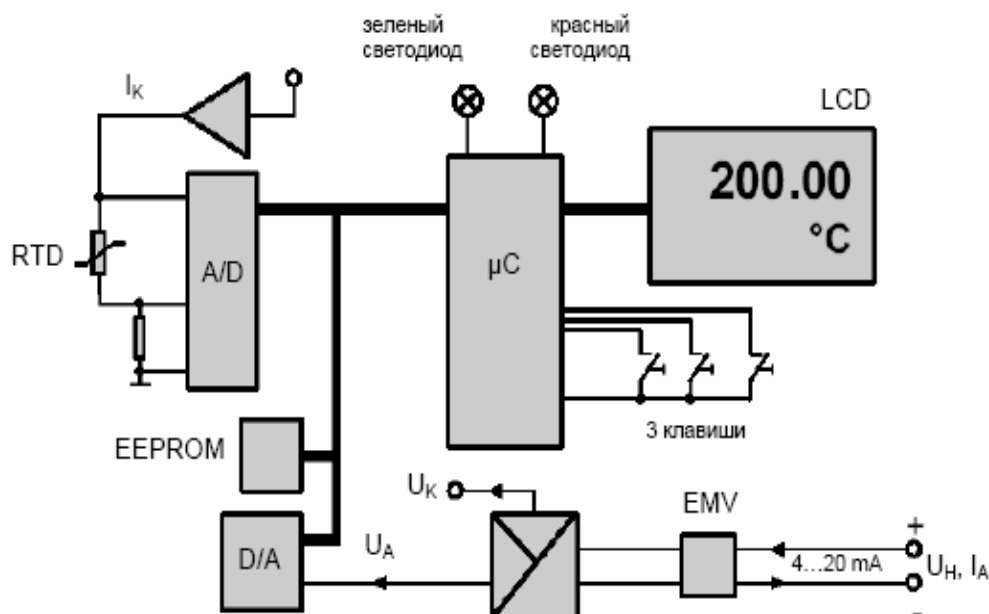


Рис. 4.6. Структурна схема перетворювача **Sitrans TF2**.

Основною перевагою перетворювача **Sitrans TF2** є двопровідна схема живлення, в якій виконано об'єднання ланцюга живлення перетворювача з одночасним передаванням по ньому сигналу вимірювальної інформації - вихідного уніфікованого аналогового сигналу по струму в межах 4...20 мА, який відповідає значенню вимірюваної температури. Тобто, при налаштованому початковому значенні вимірюваної температури, схема перетворювача споживає струм 4 мА напругою постійного струмі в межах 12...30В. В кінці діапазону – перетворювач споживає струм 20 мА при тих же межах напруги живлення.

Для передавання інформації про значення вимірюваної температури немає необхідності в додаткових лініях зв'язку. Для отримання цієї інформації достатньо в двопровідний ланцюг підведення живлення, ввімкнути опір навантаження величиною $R_L \cong 500 \text{ Ом}$ (рис. 4.7) та отримати на ньому, на необхідній

відстані місця вимірювання, спад напруги, який може бути використаний,

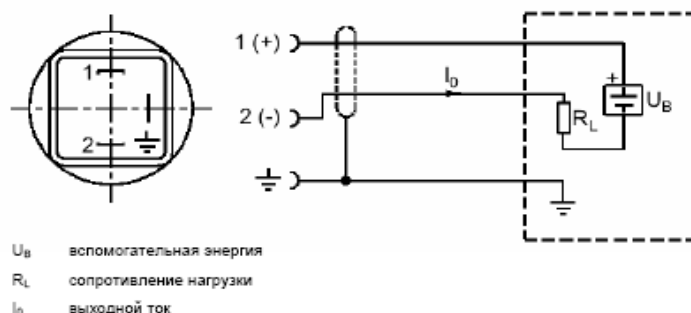


Рис.4.7. Схема підключення **TF2** до двопровідної лінії живлення.

наприклад, для перетворення в аналого-цифровому перетворювачі (АЦП) мікропроцесорного контролера системи керування технологічним процесом.

Для напівпровідникових терморезисторів (їх називають термісторами) коефіцієнт k – у формулі (4.1) залежить від значення абсолютної температури T і така залежність має вигляд: $k = B/T^2$, де B – коефіцієнт, що залежить від матеріалу термістора. Якщо підставити це значення в (4.1), то отримаємо характеристику перетворення термістора:

$$R_t = C * e^{kT} = C * e^{\frac{B}{T}}. \quad (4.10)$$

Термістори мають великий від'ємний температурний коефіцієнт опору та великий питомий опір.

Для їх виготовлення використовують напівпровідникові матеріали: германій, окисли міді, марганцю, кобальту, магнію, титану і їх суміші. Такі матеріали мають великий від'ємний температурний коефіцієнт опору та великий питомий опір. Це дає можливість виготовляти малі за розміром чутливі елементи зі значними коефіцієнтами перетворення, значення яких в 5-10 раз більші, ніж у провідникових терморезисторів. Суміш порошків компонентів запікається у формі під тиском і закріплюється поверхневим обпалюванням при $t=1000^\circ\text{C}$ в контрольованій атмосфері. Виводи припаюють до двох точок попередньо металізованої поверхні напівпровідника. Випускають у вигляді: дисків, циліндрів, кілець. Використовують у схемах сигналізації. Недолік погана відтворюємість датчиків, їхня не ідентичність.

Найбільш поширені терморезистори типу ММТ (суміш окислів міді та марганцю, діапазон: $-60^\circ \dots +180^\circ\text{C}$) та КМТ (окисли кобальту та марганцю, діапазон: $-10 \dots +300^\circ\text{C}$). За діапазоном вимірювання можлива зміна номінального опору ТО. Зміни відповідного опору нелінійні. Без спеціального відбору взаємозамінність термісторів досить посередня і відхилення може сягати $\pm 10\%$. Як ЗВ для вимірювання температури їх практично не використовують через нелінійну характеристику перетворення. Проте використовують в каналах технологічного контролю та сигналізації, коли ТО повинен бути чутливим та компактним, а компаратор приладу, який його вміщує, налаштовується на певну точку спрацьовування по температурі. Клас точності 0,1...0,3.

4.4. ТЕРМОМЕТРИ РОЗШИРЕННЯ

До них відносяться: скляні рідинні, дилатометричні, біметалеві та манометричні термометри.

Рідинні скляні термометри – вимірювання температури ґрунтується на різниці коефіцієнтів об'ємного розширення матеріалу оболонки корпусу термометра та рідини, яка в ньому міститься (розміщена) в залежності від температури.

Корпус термометра виготовляються із спеціальних термометричних сортів скла з малим коефіцієнтом розширення. При вимірюванні високих температур використовують кварц. В якості термометричної рідини використовують: ртуть (Hg), етиловий спирт (C₂H₅OH), толуол (C₆H₅CH₃), пентан (C₅H₁₂) та інші. Найбільш розповсюджені ртутні, їх переваги: діапазон вимірювання (-35...+600 °C), незмочуваність скла ртуттю. За призначенням діляться на: зразкові, лабораторні та технічні. Складаються з резервуара, з рідиною, капілярної трубки, з одного кінця приєднаної до резервуара, а з іншого – запаяної, та шкали і захисної оболонки.

Приріст у капілярній трубці термометра стовпчика рідини Δh (мм) за нагрівання резервуара від температури t_1 до t_2 визначається формулою:

$$\Delta h = \frac{V(\alpha_p - \alpha_c)(t_2 - t_1)}{d} \quad (4.11)$$

де V – об'єм рідини в резервуарі при t_1 ; α_p та α_c - температурні коефіцієнти розширення рідини та скла, K⁻¹; d - внутрішній діаметр капіляра, мм.

Найбільш розповсюджені форми: а) **палочні** – зовнішній діаметр їх сягає 6-8 мм, а шкала нанесена безпосередньо на зовнішній поверхні капілярної трубки; б) з **вкладеною шкалою** – шкала виконується окремо на прямокутній скляній пластині, яка припаюється до капіляра.

Для сигналізації та позиційного регулювання застосовують ртутні електроконтактні термометри з постійними впаяними контактами або одним рухомих контактом, який може переміщуватись в середині капілярної трубки за допомогою спеціального мікрогвинта. Так як ртуть електропровідна, то при досягненні нею в капілярі висоти, на якій установлені електричні контакти, вона спричиняє замикання цих контактів та спрацьовуванні релейної схеми.

За температури нагрівання до 105°C термометри виготовляються вакуумними, а вищої – газонаповненими.

Промисловість випускає:

1) технічні ртутні з вкладеною шкалою (прямі і кутові, зігнуті під 90°) 11 модифікацій. Н., Ціна поділки першої модифікації 0,5 °C шкала від -35...+500 °C; а для 11-ої – відповідно 10 °C. Термометри 9÷11 модифікацій є високоградусними.

2) технічні не ртутні (аналогічні) на межі вимірювань -200...+200 °C з ціною поділки від 0,2 до 5 °C.

3) лабораторні ртутні типу ТЛ на межі від -30...+500 °C і мають 5 типів, в залежності від ціни поділки межей вимірювання. Н., ТЛ-2 – ціна поділки 1 °C і діапазон 0...350 °C.

4) ртутні підвищеної точності та зразкові 4-х типів з вузьким діапазоном вимірювання. Н., ТР-1: діапазон 4 °C і ціна поділки 0,01 °C, а ТР-4 – діапазон вимірювання 50 °C і ціну поділки 0,1 °C.

5) ртутні електроконтактні з рухомим (тип ТПК) і постійним (тип ТЭК) контактами та діапазоном $-30...+300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Допустима похибка технічних термометрів не перевищує поділки шкали. Наприклад, за ціни поділки $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - максимальна похибка становить $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для деяких термометрів похибка може бути більшою та визначається технічними вимогами до них. Наприклад, для зразкових термометрів з ціною поділки $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$, максимальна похибка дорівнює $\pm 0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для лабораторних з ціною поділки $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ допустима похибка становить $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Переваги скляних рідинних термометрів: простота конструкції, невисока вартість, достатня точність. Недоліки: відсутність дистанційної передачі та реєстрації показів, значна теплова інерційність, незручність зняття показів і невисока механічна міцність, що обмежує їх використання в технологічних вимірюваннях.

Дилатометричні термометри розділяються на суто дилатометричні (їх ще називають стержневі) та біметалеві.

Принцип дії ґрунтується на зміні лінійних розмірів твердих тіл під впливом температури, що описується залежністю:

$$L_t = L_0 [1 + \alpha (t - t_0)], \quad (4.12)$$

де L_0 та L_t - лінійні розміри чутливого елемента при температурі $t_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температура градування) та вимірюваній - t ;

α - температурний коефіцієнт розширення (ТКР) твердого тіла.

При використанні в конструкціях термометрів двох твердих тіл з різними ТКР α_1 і α_2 , передавальне відношення системи переміщення стрілки приладу ΔL_c до приросту температури Δt , яке залежить від конструкції, має вигляд:

$$\Delta L_c = K \alpha \Delta t, \quad (4.13)$$

де K - коефіцієнт передачі кінематичної схеми термометру.

Дилатометричний (стержневий) термометр являє собою закрити з одного кінця металеву трубку (датчик) 1 (рис.4,8), виготовлену із металу з високим коефіцієнтом лінійного розширення (наприклад, мідь, латунь), в середині якої закріплюється стержень 2 з малим коефіцієнтом лінійного розширення — наприклад інвар (64% Fe і 36% Ni) або плавлений кварц ($\alpha_p = 0,558 \cdot 10^{-6},\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) тощо. Один кінець трубки закріплюється на об'єкті вимірювань, а сама трубка занурюється у вимірюване середовище. З підвищенням температури довжина трубки збільшується, а стержні залишається практично незмінним, і вільний кінець трубки переміщується разом із стержнем 2, важелем 3, рухомим контактом сигналізуючого чи регулювального пристрою 6 і вимірювальною стрілкою 4. Пружина 5 забезпечує надійний контакт.

За допомогою дилатометричних (стержневих) термометрів можна передавати інформацію про значення температури на відстань. Для цього утворюються комплекти з системами диференційно-трансформаторної (ДТП) передачі (рис. 4.9,а) або пневматичної (рис.4.9,б), які використовуються як вимірювальні прилади в системах сигналізації та автоматичного регулювання.

Дилатометричні термометри випускаються: з ДТП - типів ТУДЭ (ТРДЭ),

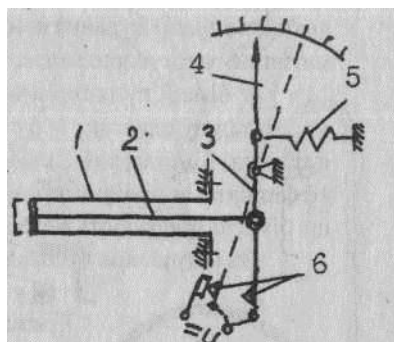


Рис.4.8 Дилатометричний термометр

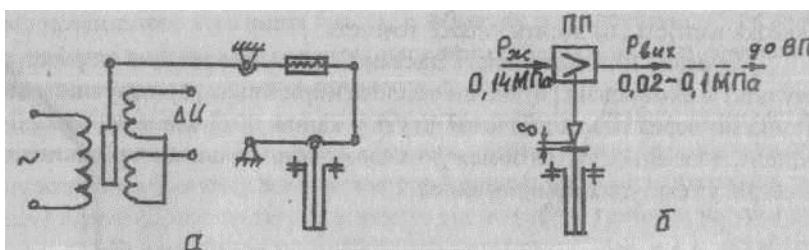


Рис. 4.9. Схеми з'єднання дилатометричного термометра з перетворювачами: а- диференційно-трансформаторним; б — пневматичним

та пневматичною передачею – ТУДП на різні діапазони в інтервалі температур від -30 до 1000 °С з класами точності $1.5 - 2.5$, які залежать від модифікації, а також термореле, наприклад, РТ-300 з регулюванням температури спрацьовування від 100 до 300 °С з похибкою не більше ± 5 °С .

У біметалевих термометрах (рис.4.10), як чутливий елемент використовують термобіметалеву пластину або стрічку, зігнуту у вигляді гвинтової чи спіральної пружини. Біметал одержують методом холодного прокатування двох металів з різними коефіцієнтами розширення від температур. При нагріванні пластини 1 розгинається у бік матеріалу з меншим коефіцієнтом розширення α_1 .



Рис. 4.10.

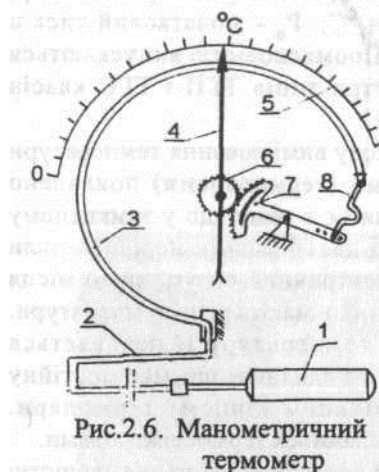


Рис. 4.11.

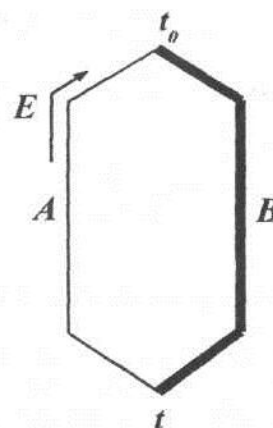


Рис. 4.12. Схема термопары

Кут φ розкручування або закручування біметалевого датчика, за умови $E_1 * h_1^2 = E_2 * h_2^2$, визначається рівнянням:

$$\varphi = \frac{3(\alpha_2 - \alpha_1)L}{2h} * \Delta t, \quad (4.14)$$

де E_1, E_2 – модулі пружності використаних металів (МПа); h – загальна товщина біметалевої пластини, $h = h_1 + h_2$, (м); h_1, h_2 – товщини складових.

Діапазон вимірювання таких термометрів: $-150 \dots 700$ °С, а клас точності від $1,5$ до $4,0$.

Промисловість випускає біметалеві реле ТБ-ЭЗК з три позиційною приставкою сигналізації та регулювання в діапазоні $-60 \dots +300$ °С залежно від марки біметалу. Біметалеві термометри класів $2,0$ і $2,5$ використовуються для вимірю-

вання температури приміщень (як побутові). Переваги обох видів термометрів: простота конструкції та обслуговування, компактність та невисока вартість.

4.5. МАНОМЕТРИЧНІ ТЕРМОМЕТРИ

Принцип дії манометричних термометрів ґрунтується на механічному переміщенні пружного чутливого елемента в замкненій герметичній системі від зміни або тиску газу, або зміни об'єму рідини, або зміни тиску насиченої пари в залежності від вимірюваної температури.

Манометричний термометр (рис.4. 11) складається із: **термобалона 1**, який розміщується в об'єкті вимірювання; **капілярної трубки 2** довжиною до 60 м і внутрішнім діаметром 0,1- 0,5 мм з захисним металорукавом та **манометричного приладу**, який складається із чутливого елемента в вигляді **трубчатої пружини 3** овального перерізу (одно або багато виткової, остання може бути спіральною чи гелікоїдальною форми, а замість трубчатої пружини може використовуватись і **сильфон**); **передавального механізму**, який в свою чергу складається з **біметалевого термокомпенсуючого повідка 8**, **зубчатого сектору 7**, та **шестерні 6**, на якій закріплена **стрілка 1** та шкали 5.

Межі вимірювання температури для різних наповнювачів:

| Термометри | Термометрична речовина | Межі температур, °С |
|---------------|-------------------------|---------------------|
| газові | азот, гелій, водень | -260...+600 |
| рідинні | ртуть | -40...+600 |
| | ксилол, метиловий спирт | -40...+180 |
| | силіконова рідина | -150...+300 |
| конденсаційні | хлорметил | -20...+150 |
| | ацетон | -60...+200 |
| | бензол | -100...+250 |

Під впливом температури тиск термометричної речовини в термобалоні 1 збільшується і передається по капіляру 2, манометричній пружині 3, яка під дією тиску розкручується і її вільний кінець через повідок 5 і кінематичну схему переміщує стрілку 4 чи перо самописця.

Термобалон 1 виготовляють із корозієстійкої сталі, а капіляр 2 - із сталевий чи мідної трубки внутрішнім діаметром в межах 0,15- 0,5 мм..

Залежно від термометричної речовини термометри бувають газові, рідинні та парорідинні для різних меж вимірювання. Довжина капіляру штатна: 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; і 40(60)м і від неї залежить основна похибка вимірювання. Чим менше довжина капіляра і менший діапазон вимірювання, тим менше основна похибка.

Принцип дії газових манометричних термометрів ґрунтується на тепловому розширенні газів і для них залежність тиску в термосистемі від температури підпорядкована **закону Шарля**:

$$P_t = P_0 * [1 + \alpha * (t - t_0)] , \quad (4.15)$$

де P_0 – початковий тиск в термосистемі при температурі заповнення t_0 ,

[МПа]; $\alpha=1/273,15[1/K]$ - температурний коефіцієнт розширення газу.

P_0 вибирають в межах (3...10) МПа, щоб зменшити вплив атмосферного тиску на манометричну систему. Похибка вимірювань залежить також від співвідношення об'єму термобалону та неробочого об'єму манометричної системи.

Випускаються промисловістю газові манометричні термометри типів:

ТПГ – показувальні; ТПГ-СК – показувальні і сигнальні; ТГС – показувальні і самописні. Класи точності: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5.

Газові термометри використовуються також для вимірювання дуже низьких температур, які відповідають температурам конденсації газу наповнювання. Наприклад, при заповненні термосистеми азотом, нижня межа вимірювання температури складає: -195°C , а гелієм- (-269°C).

Надлишковий об'єм ΔV рідини, який виштовхується із **термобалону рідинних термометрів** із зміною його температури:

$$\Delta V = (\beta - 3\alpha) \cdot (t - t_0) \cdot V_0, \quad (4.16)$$

де β і α - коефіцієнти об'ємного розширення відповідно термометричної рідини та термобалону, $[1/^{\circ}\text{C}]$; t_0 – температура при якій виконано заповнення термосистеми (20°C) об'ємом V_0 , $[\text{м}^3]$.

Випускаються рідинні термометри типу ТЖС – показувальні і самописні.

Рідинні термочутливі системи розвивають значні зусилля і їхня робота практично не залежить від атмосферного тиску, що дозволяє використовувати їх також в термореле з потужними контактами на розмикання.

Із наведених формул видно, що шкали газових і рідинних термометрів лінійні.

Принцип дії конденсаційних (або парорідинних) манометричних термометрів ґрунтується на залежності тиску насиченої пари від температури. Особливість їхньої роботи в тому, що в робочому діапазоні температур в манометричній системі наповнювач знаходиться завжди в двох фазах: рідкій та пароподібній. Тиск в такій системі визначається температурою границі розподілу рідина – пара і вони розрізняються з **парорідинним та паровим наповненням**.

Парорідинне наповнення – кількість рідини в системі складає $50 \div 60$ % об'єму, причому об'єм термобалону повинен складати не менше 50% всього об'єму. Це дає те, що границя розподілу, рідина – пара завжди знаходиться в термобалоні, не залежно від температур окремих частин і положення термобалону. Переваги такого заповнення: 1) можливість роботи, в умовах, коли температура термобалона вища або нижча за температуру інших частин термосистеми; 2) швидка реакція на зміну температури. Недолік – необмежене зростання тиску в системі з ростом температури.

З паровим наповненням – відрізняються тим, тому що пара вводиться в термосистему при температурі дещо більшій, чим максимальна можливе її зачення в робочих умовах. Наприклад, в холодильних машинах терморегулюючі вентилі із заповненням термосистеми фреоном працюють при максимальній температурі до $t^0 = +10^{\circ}\text{C}$, і відповідно їхнє заповнення проводять при тиску насичення, що відповідає $+(20-30)^{\circ}\text{C}$. При зниженні температури в термобалоні конденсується невелика кількість рідини. Основна перевага – обмеження тиску в термосистемі при температурах вищих температури заповнення, так як в цьо-

му випадку вони перетворюють у газові термометри, зростання тиску в яких від температури значно менше, що знижує вимоги до термосистеми по запасу міцності.

Особливість термометрів з використанням тиску насиченої пари – суттєва нелінійність тиску від температури, що приводить до нерівномірності шкал. Але вони є найбільш чутливі при відносно малому діапазоні вимірювання до 250°C. На їхні покази впливає зміна атмосферного тиску, але не впливає зміна температури навколишнього середовища. Типи конденсаційних термометрів: ТПП – показувальний, ТПП-СК – показувальний і сигнальний. Клас точності 1 – 1,5. Конденсаційні (або парорідинні) манометричні термометри найбільше вживають в холодильній автоматиці як температурні регулятори, терморегулюючі вентиля.

4.6. ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ТЕРМОМЕТРИ

Принцип дії термоелектричних термометрів (термопар) ґрунтується на ефекті виникнення електрорушійної сили (ЕРС) в замкнутому ланцюгу, який складається із різнорідних провідників А і В (рис. 4.12), при умові, що місця їхніх з'єднань мають різну температуру. Ефект був відкритий російським вченим Епінусом та німцем Зеєбеком і пояснюється тим, що виникнення ЕРС (або її ще називають контактною різницею потенціалів) пов'язане з вільними електронами в металах, які переміщуються з металу, де їх концентрація більша, в метал, у якого концентрація електронів менша.

Значення цієї ЕРС, яку називають термоелектрорушійною силою (ТЕРС) і зображують як $E(t_x, t_0)$, залежить:

- від матеріалу провідників, що з'єднані;
- від різниці температур місць з'єднань провідників (дротів): t_x – температура робочого (гарячого) спаю, який розміщується в об'єкті, температуру якого вимірюють, та t_0 – температури холодного спаю (вільних кінців), що виведені ззовні з об'єкту і знаходиться в місці з постійною температурою.

Для виготовлення термопар можуть використовуватись будь-які метали, при умові наявності різної концентрації вільних електронів в них, але на практиці використовують матеріали, які забезпечують найбільш можливе значення ТЕРС. Значення такої ТЕРС можна виміряти, наприклад, мілівольтметром постійного струму з достатньою чутливістю, який ввімкнений в розрив проводу В, або в розрив холодного спаю ланцюга. Найбільше розповсюджені наступні типи стандартних термопар (першим в запису вказується електрод з надлишком електронів і який, після їхнього переміщення до другого електроду термопари, має позитивний заряд):

1) **Платинородій** (склад: 10% родію та 90% платини) – **платинові**. Позначення термопари **ТПП**, а її градуувальної характеристики **ПП** (**S** – міжнародне). Діапазон вимірювання: $-20...+1600^\circ\text{C}$. Розділяються на еталонні, зразкові робочі. Надійно працюють в нейтральному та окислюваному середовищі. На платину шкідливо діють пари металів та вуглецю. Є кращими за комплексною оцінкою до 1600°C . Виготовляються із проводу діаметром 0,5...1мм. Розвивають ТЕРС – 0,1...13,13мВ.

- 2) **Платинородій (30% родію) – платинородієві (6% родію).** Позначення: **ТПР**, а градувальних характеристик **ПР(В)**. Діапазон вимірювання: до 600 - 1800°C. Не потребують введення поправки на температуру холодних спаїв, так як при $t=20^\circ\text{C}$ мають мале значення ТЕРС 0,002мВ.
- 3) **Хромель – алюмелеві.** Хромель - сплав хрому та нікелю (8÷10 % Cr, а залишок - Ni). Алюмель – сплав нікелю (основа $\cong 94\%$) та алюмінію, марганцю, кремнію в сумі $\approx 6\%$. Відповідно позначення термопари: **ТХА, ХА(К)**. Діапазон вимірювання: $-50 \div +1000^\circ\text{C}$. Розвивають ТЕРС – 1,86 ÷ до 41,32 мВ.
- 4) **Хромель – копелеві.** Копель – сплав міді (Cu є основа – 56%) та Ni (43%) + Mn (0,5% - марганцю). Позначення термопари та градувальної характеристики: **ТХК, ХК (Е)**. Діапазон вимірювання: $-200^\circ\text{C} \div +600^\circ\text{C}$ та розвивають найбільшу ТЕРС – 7мВ на кожні 100°C.
- 5) **вольфрамреній (5% - Re) – вольфрамренієві (26% - Re).** Позначення термопари та градувальної характеристики: **ТВР (С), ВР –5/20**. Діапазон вимірювання: $0^\circ\text{C} \dots +2300^\circ\text{C}$.
- 6) **Залізо-констатанові.** Константан - сплав Cu та Ni. Позначення термопари та градувальної характеристики **І**. Діапазон вимірювання: $-210 \div +1200^\circ\text{C}$. Абсолютна похибка Δt вимірювання складає не більше $\pm 2,2^\circ\text{C}$.
- 7) **Мідь-констатанові.** Позначення термопари та градувальної характеристики **Т**. Діапазон вимірювання: $-270 \div +400^\circ\text{C}$. Абсолютна похибка Δt вимірювання складає не більше $\Delta t = \pm 1^\circ\text{C}$.

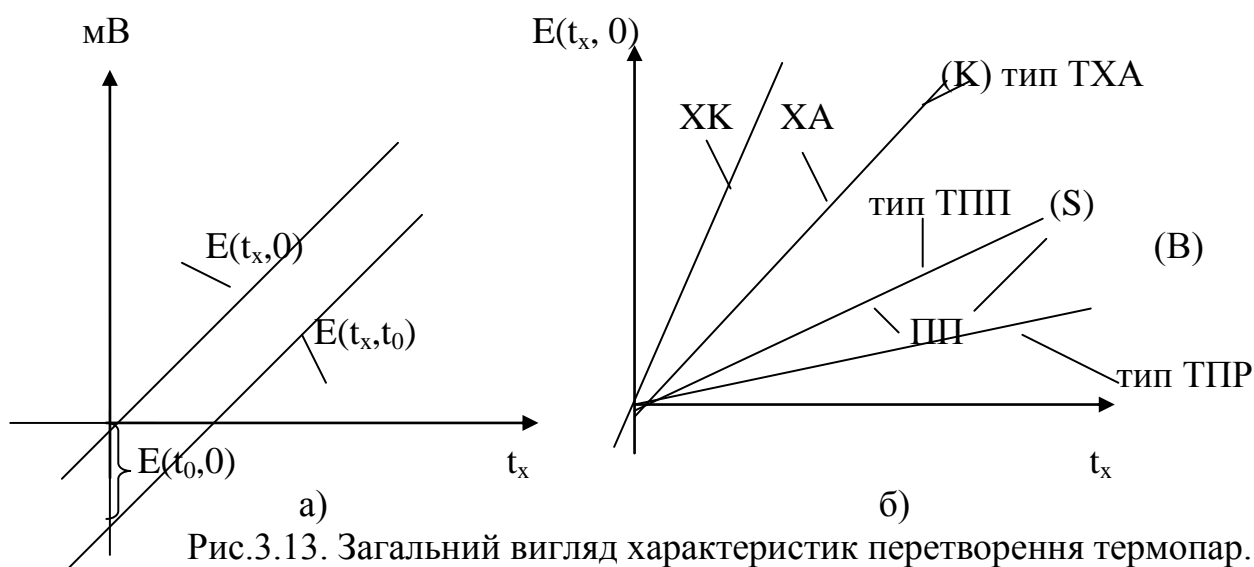


Рис.3.13. Загальний вигляд характеристик перетворення термопар.

Висока точність вимірювання температури за допомогою термопари буде забезпечена, тільки при достатньо точній фіксації температури t_0 холодного спаю в посудині Дьюара з льодом, який ($t_0=0^\circ\text{C}$) та є, або розміщують в термостат автоматично стабілізуючою температурою. Якщо температура вільних кінців термометра $= 0^\circ\text{C}$, то вимірювана температура визначається безпосередньо із градувальної характеристики.

Градувальні характеристики термопар стандартизовані. Вони є статичними

характеристиками перетворення і показують залежність ТЕРС термопар від температури робочих кінців (робочого спаю) при температурі холодного спаю, що дорівнює 0°C . Градувальні характеристики є індивідуальними для кожного типу термопар і їхній загальний вигляд для основних типів термопар приведений на рис. 3.13,б. Якщо температура вільних кінців $t_0 \neq 0$ (рис. 3.13,а), то для отримання значення ТЕРС $E(t_x, 0)$ необхідно до $E(t_x, t_0)$, тобто, ТЕРС, що розвиває термопара, додати значення ТЕРС $E(t_0, 0)$, яке розвиває термопара при значенні температури гарячого спаю t_0 та значенні температури холодного спаю $= 0^{\circ}\text{C}$:

$$E(t_x, 0) = E(t_x, t_0) + E(t_0, 0). \quad (4.18)$$

При відхиленні температури холодного спаю від 0 в сторону збільшення, до значення t_0 , ТЕРС, що розвиває термопару, зменшується із-за збільшення температури (холодного спаю) вільних кінців до t_0 .

В простих випадках використовується, так зване, пряме ввімкнення термопару, коли в комплекті з термопарою (в якості вторинного приладу, що вимірює ТЕРС) використовується мілівольтметр (електровимірювальний прилад магнітоелектричної системи), шкала якого градуюється в 0°C при температурі холодного спаю, як правило, що дорівнює 0°C . Якщо в умовах використання ця температура інша, то в покази приладу необхідно вводити поправки (проводити інтерполяцію), тому що в іншому випадку такі вимірювання будуть супроводжуватися великими похибками. Різні термопару розвивають різні ТЕРС при однакових температурах як гарячого спаю, так і холодного.

Існують декілька методів врахування поправок і усунення похибок.

Один із методів є розрахунковий і його формула в загальному має вигляд:

$$t_{\text{ист}} = t_{\text{пр}} + K_{\text{ТР}}(t_0 - t_0^0), \quad (4.19)$$

де $t_{\text{ист}}$ - істинна температура; $t_{\text{пр}}$ - температура, яку показує прилад; $K_{\text{ТР}}$ - коефіцієнт інтерполяції, який залежить від типу термопару та інтервалу вимірювальної температури; t_0 та t_0^0 - температура холодного спаю при градуванні та при реальних вимірюваннях.

Ефективним методом усунення похибки від впливу зміни температури холодного спаю є використання компенсаційних дротів, які входять в комплект термопару, і які служать для відведення холодного спаю на певну відстань, де можливе його розташування в зоні постійної температури. Компенсаційні дроти виробляються в більшості із тих же металів, що і електроди.

Одним із найбільш ефективних, є метод використання мостових схем для введення поправок на нестабільність температури холодного спаю при зміні температури навколишнього середовища. Термопару і вимірювальний (вторинний) прилад ВП вмикають послідовно з вимірювальною діагоналлю мостової схеми з опорами R_1, R_2, R_3, R_4 , яка живиться від батареї U_0 . В якості вторинного приладу використовується мілівольтметр магнітоелектричної системи. Опори R_1, R_2, R_3 виготовляють із матеріалу з малим значенням температурного коефіцієнту опору (манганіту); а R_4 із міді або нікелю. Схема мосту розташовується в безпосередній близькості від холодного спаю термопару (рис.3.14, а).

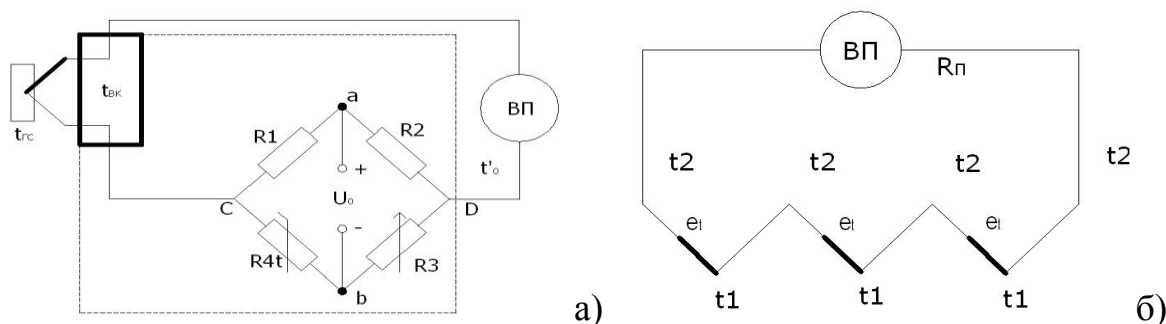


Рис.3.14. Схема для введення поправок на нестабільність температури холодного спая термопарі (а) та батарейне ввімкнення термопар (б).

При початковій температурі t_0 міст балансується за допомогою одного із стабільних опорів, наприклад, R_3 . В процесі роботи, якщо температура холодного спая підвищується, то зменшиться ТЕРС термопарі із-за зменшення різниці температури між спаями, але в той же час збільшується опір R_4 (мідного опору), що приводить до розбалансування мосту і збільшенні напруги у вимірюваній діагоналі U_{CP} , яке компенсує зменшення ТЕРС термопарі. Точність компенсації за допомогою такої схеми оцінюється значенням порядку 0,04 мВ на 10°C зміни температури t_0^0 холодного спая. За такою схемою випускаються мілівольтметри типів **Щ4500**, **Щ4540** з однопозиційним регулюванням, та **Щ4516** з аналоговими законами регулювання. Класи точності від 0,5 до 2,5. У наш час для вимірювання швидкозмінних по температурі процесів в комплекті із термопар використовують цифрові мілівольтметри типів **A561** та **ЦТ-300** з великим R_{ex} .

Із наведених типів термопар, видно, що термоелектрорушійна сила, яку розвиває термопара, як правило, сягає одиниць, а в кращому випадку десятки мВ. Для її збільшення використовують батарейне ввімкнення n термопар (рис. 3.14,б).. Якщо кожна із n термопар має опір R_t та розвиває ТЕРС e_t , то значення струму I_n вторинного приладу з опором R_n має значення
$$I_n = \frac{net}{nR_t + R_n}$$
. Із виразу видно, що при $n \cdot R_t \gg R_n$, то ефекту у підвищенні чутливості не буде. Тобто, при використуванні батарейного ввімкнення термопар завжди необхідно вибирати вимірювальний прилад з опором $R_n \gg n \cdot R_t$.

Розглянуті схеми ввімкнення термопар називають схемами прямого ввімкнення і використовуються у вимірювальних пристроях невисокої точності.

Для забезпечення вимірювання температури з високою точністю використовуються схеми приладів, які побудовані за схемами **компенсаційного типу (потенціометричні)**.

Компенсаційний метод ґрунтується на зрівноваженні (компенсації) вимірюваної ТЕРС термопарі рівною по величині, але оберненою по знаку відомою різницею потенціалів, яка утворюється за допомогою допоміжного джерела струму.

Підвищення точності досягається за рахунок вимірювання максимального значення ТЕРС в режимі холостого ходу, коли струм в ланцюгу, утвореному

термопарою, схемою компенсації та вимірювальним приладом (гальванометром) відсутній.

Найпростіша схема компенсації (рис. 4.14) складається із реохорда, що під'єднаний до зразкового джерела струму E , термопарі R_{AB} , що вмикається так, щоб її ТЕРС була направлена на зустріч падінню напруги на відповідній частині реохорду від зразкового джерела E та вимірювального приладу НП. При цьому завжди можливо знайти таке положення повзунка, при якому буде рівність $E_{(t_x, t_0)} = U_{AL}$, а струм через вторинний прилад (НП) буде відсутній.

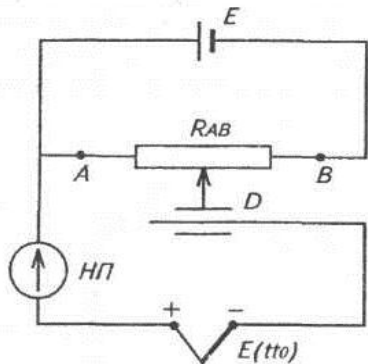


Рис. 4.14. Компенсаційна схема вимірювання ТЕРС термопарі

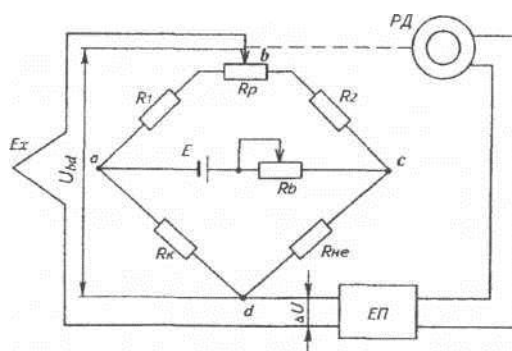


Рис. 4.15. Автоматичний потенціометр

Найбільш розповсюджені автоматичні потенціометри з компенсаційною мостовою схемою (рис. 4.15), яка використовується одночасно, як для компенсації зміни температури вільних кінців, так для безпосереднього зрівноваження термоелектрорушійної сили термопарі напругою вимірювальної діагоналі мосту через показник рівноваги (нуль-прилад) - електронний підсилювач ЕП. Причому зрівноважування відбувається переміщенням повзунця каліброваного опору автоматично за допомогою безперервно діючого слідкуючого пристрою, який використовується, як показник рівноваги.

На шкалі кожного типу потенціометра вказується: 1) клас точності, що залежить від типу потенціометра [в межах 0,5(в основному); 1,0 та 1,5, а для типу КСП4 - клас 0.25] та 2) - тип термопарі, в комплекті з якою він атестований.

Найбільш поширені в промисловості типи потенціометрів:

1. Показувальні мініатюрні з плоскою нерухомою шкалою типу КПП1 і обертальною шкалою типу КВП1 з вмонтованим (або ні) кнопковим перемикачем на 6 і 12 точок вимірювання температури.

2. Показувальні та самописні мініатюрні КСП13.

3. Малогабаритні типу КСП2, однокіткові на 3,6 і 12 точок.

4. Повногабаритні типу КСП4(Н. 1,3,6 і 12 точок).

5. Малогабаритні із записом на дисковій діаграмі КСП3 (можуть мати електричні або пневматичні передавальні перетворювачі).

6. Прилади показуючі та реєструючі Диск-250 (Диск-250Н).

Всі перелічені типи можуть мати додатково вмонтовані пристрої сигналізації та регулювання, з виходом як на пневматичні, так і електричні пристрої.

Конструктивно термопарі виконують в захисній арматурі, яка захищає їх від впливу гарячих, хімічноагресивних газів, які можуть вивести із ладу термоелек-

троди, тому арматура виконується газонепроникною, механічно стійкою та жаростійкою і в той час - теплопровідною.

При вимірюваннях температури до 600°C захисну арматуру виконують із сталевих безшовних труб, до 1100°C – із нержавіючої сталі; при більш високих температурах захищають кварцевими і фаялітовими трубами. Робочі кінці термопар з'єднують спайкою, або зварною. На всьому протязі, крім кінця, термоелектроди ізолюють один від одного (до 300°C- азбестом, до 1100°C - кварцевими трубами чи бусами, вище – тільки фаялітові труби, буси).

Установка контактних термометрів

Точність показів контактних термометрів на технологічній лінії залежить від способу їхньої установки, тобто, правильного вирішення питання теплообміну між вимірюваним і зовнішнім середовищами, та самим термометром.

Використовують 2 методи встановлення термометрів: 1) у захисних оправах (найбільш розповсюджені) та 2) без них – шляхом безпосереднього занурення термометра у вимірюване середовище (для рідинних скляних).

Для вимірювання температури в трубопроводі термометр необхідно встановлювати так, щоб вісь термометра проходила посередині резервуара. Найбільш правильним є встановлення термометра вздовж осі трубопроводу на коліні, коли потік піднімається. Не рекомендується встановлення на вертикальних трубопроводах з низхідним потоком.

4.7. ПІРОМЕТРИ

Пірометри по принципу дії розділяють на: 1) оптичні (яскравості); 2) повного випромінювання (радіаційні) та 3) спектрального відношення (кольорові).

Оптичні пірометри (яскравості) – принцип дії ґрунтується на порівнянні яскравості монохроматичного випромінювання нагрітого тіла з яскравістю нитки розжарювання (горіння) пірометричної лампи.

Оператор за допомогою об'єктива з окуляром спостерігає, на фоні зображення нагрітого тіла, зображення нитки розжарювання пірометричної лампи і, регулюючи струм розжарення лампи, прагне знайти положення регулятора, коли нитка зникає. По положенню регулятора і, відповідно, по струму розжарювання нитки лампи, судять про температуру в тілі.

Використовуються при вимірюванні температури від 700 до 8000°C (10000°C).

Принцип дії **радіаційних пірометрів** (певного випромінювання) ґрунтуються на залежності повної енергетичної яскравості тіла як у видимій, так і невидимій частинах спектру випромінювання від температур нагрітого тіла. Енергія нагрітого тіла за допомогою об'єктива концентрується на кінцях батареї термоелектричних перетворювачів, яка є приймачем та перетворювачем променевої теплової енергії в термоелектрорушійну силу, величина якої в свою чергу вимірюється мілівольтметром, який проградуирований по шкалі в °C.

Розрізняють високотемпературні радіаційні пірометри в діапазонах від 400 до 3500°C. Останні використовуються в молочній промисловості і в якості чутливого елемента використовують термометр опору, а не батарею термопар.

Принцип дії **пірометрів спектрального відношення** (кольорових) ґрунтуються по залежності відношення спектральних енергетичних яскравостей в двох відділеннях спектру з визначеними значеннями довжин хвиль від температури тіла. Вимірюване випромінювання нагрітого тіла об'єктивом та спеціальною призмою розділяється на два потоки променистої енергії червоної та синьої, спектральні яскравості які направляють по черзі на фотоелементи.

Сигнали з фотоелементів надходять в спеціальну схему перерахунку, де перетворюються в уніфікальний сигнал постійного струму. Використовуються в діапазонах температур 800 - 2800°C.

[2, с.: 79...118; 7, с.: 31...40; 8, с.: 24...54]

Контрольні запитання до розділу 4

1. Приведіть класифікацію термометрів.
2. Схема та принцип дії термометрів розширення.
3. Будова та принцип дії манометричних термометрів.
4. Класифікація та принцип дії термометрів опору.
5. Принципова схема зрівноваженого мосту і умова його рівноваги.
6. Навести схему автоматичного потенціометра, його призначення.
7. Принцип дії термоелектричних перетворювачів.
8. Типи та принцип дії пірометрів.

РОЗДІЛ 5. ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

5.1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.

ВИДИ ТА ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

Тиск рідин газів пари є важливим параметром що характеризує хід багатьох хіміко-технологічних процесів в харчовій промисловості.

Тиском називається фізична величина, яка характеризується інтенсивністю нормальних, тобто, перпендикулярних до поверхні, розподілених сил, з якими одне тіло діє на поверхність іншого. Наприклад фундамент будови на ґрунт, рідина на стінки ємності.

Іншими словами **тиск характеризується силою**, що рівнорозподілена по нормалі до поверхні іншого тіла, на яке вона діє. Якщо сили розподілені вздовж поверхні рівномірно, то тиск на будь-яку частину поверхні дорівнює:

$$P=G/F, \quad (5.1)$$

де G- сума сил, прикладених перпендикулярно до поверхні; F- площа цієї поверхні. **Такий тиск ще називають гідростатичним.**

Іншими словами, **гідростатичний тиск характеризується відсутністю напруженостей зсуву** (дотичними напруженостями). В нерухомих рідинах з точністю, обумовленою власною вагою середовища, тиск є гідростатичним. Гідростатичним є тиск і у в'язких рідинах при повільному зростанні тиску, коли опір зсуву дорівнює нулю. Таким є тиск і в твердій речовині, яку стискають. Коли із збільшенням тиску міжатомні сили притягування стають набагато меншими, в порівнянні із силами стискування, починає проявлятися в тій чи іншій формі властивість течії твердих тіл.

При нерівномірному розподілі сил формула (5.1) визначає середній тиск на

данну площу, а в межі при $F \rightarrow 0$ – тиск в даній точці .

В цьому випадку у в'язких рідинах і твердих тілах, середнім тиском (середньою нормальною напруженістю) в даній точці тіла називається середнє арифметичне значення нормальних напруженостей в трьох взаємноперпендикулярних напрямках. Тиск, який відповідає такому визначенню, називають **квазігідростатичним**. Чим менше величина напруженостей зсуву, тим ближче квазігідростатичний тиск до гідростатичного. **Техніка вимірювання тисків і розрідження відноситься виключно до вимірювання гідростатичних тисків.**

З іншої сторони тиск можна розглядати як кількість потенціальної енергії, яка вміщується в одиниці об'єму стискуємої рідини. Це витікає з того, що якщо помножити чисельник і знаменник формули (5.1) на одиницю довжини, в якій виміряна площа, то в правій частині замість сили отримуємо роботу або потенціальну енергію, яка віднесена до одиниці об'єму середовища, яке знаходиться під тиском.

Розрізняють поняття: абсолютного , атмосферного та надлишкового тисків.

Абсолютний тиск $P_{абс}$ – це тиск, який відраховується від стану повної відсутності тиску, тобто, за початок абсолютного тиску приймають абсолютний нуль тиску, що відповідає тиску в середині ємності після повної відкачки із неї повітря. Нуль такого тиску – це «тиск пустоти».

Прикладом абсолютного тиску – є **атмосферний тиск** $P_{атм}$, який ще називають барометричним. Він визначається вагою стовпа атмосфери (слоїв атмосфери), що знаходиться на точкою вимірювання атмосферного тиску. Тиск в космосі близький до абсолютного нуля тиску і складає 10^{-12} атмосферного тиску. В більшості випадків тиск, який необхідно вимірювати, утворюється і в закритих чи закритих посудинах, тобто, в просторі оточеному атмосферою і який знаходиться під дією атмосферного тиску. В цих випадках практичне значення має перевищення тиску в посудині над атмосферним. Таке перевищення називають **надлишковим тиском** $P_{над}$. За початок відліку надлишкового тиску $P_{над}$ приймають значення атмосферного тиску. Приклад надлишкового тиску це тиск, який утворюється у відкритій посудині вагою рідини, яка в ній знаходиться. На горизонтальне дно посудини в будь-якій її точці діє, крім атмосферного, однаковий надлишковий тиск, величина якого може бути оцінена вагою стовпа рідини, який розміщений над кожним $см^2$ дна посудини. Абсолютний тиск $P_{абс}$ на дно посудини дорівнює: $P_{абс} = P_{атм} + P_{над}$. Таким чином, надлишковий тиск дорівнює відповідному йому абсолютному тиску за відрахуванням значення атмосферного:

$$P_{над} = P_{абс} - P_{атм} . \quad (5.2)$$

Від'ємне значення надлишкового тиску за цією формулою називають розрідженням або вакуумметричним тиском $P_{вак}$. Термін вакуум походить від латинського «vacuum» (пустота) і означає тиск, що значно нижчий атмосферного.

Це тиск , що менший атмосферного і дорівнює: $P_{вак} = P_{атм} - P_{абс} . \quad (5.3)$

Ця залежність показує, що вакуумметричний тиск $P_{вак}$ не може перевищувати атмосферний тиск $P_{атм}$, який має місце в даній момент і в даному місці, і що від'ємне значення абсолютного тиску не може бути. Найбільш глибокий ваку-

ум, який досягнуто сучасними існуючими методами, відповідає абсолютному тиску 10^{-13} від атмосферного.

Термін вакуум використовується для позначення двох різних понять, таких як: **розрідження**, тиск який відраховується вниз від тиску атмосфери, який прийнятий за нуль, **так і абсолютного тиску**, меншого по величині з атмосферний. Щоб запобігти цій двоякості, ввели термін вакуумметричний тиск для поняття розрідження.

Одиниці вимірювання тиску.

Одиницею вимірювання тиску в системі СІ є паскаль (Па). 1 Па – тиск прикладений силою 1 ньютон (Н), яка рівномірно розподілена по нормальній до неї площі в 1 м^2 . Приставки кратності: $1\text{ кПа} = 10^3\text{ Па}$, а $1\text{ МПа} = 10^6\text{ Па}$.

В манометрії допускається використання і позасистемних одиниць тиску.

Найбільш розповсюджена - технічна атмосфера (ат або кгс/см^2), що являє собою тиск, який утворюється силою в 1 кг, рівномірно розподіленою по нормалі до поверхні, площею в 1 см^2): $1\text{ ат} = 1\text{ кгс/см}^2 = 98066,5\text{ Па} \cong 100\text{ кПа} = 0,1\text{ МПа}$.

Так як тиск в одну технічну атмосферу є досить великою величиною, то на практиці для вимірювання малих тисків використовують одиниці тиску: мм ртутного та водяного стовпа:

$$1\text{ ат} = 735,56\text{ мм.рт.ст. при температурі } 0^\circ\text{ C}$$

$$1\text{ кгс/см}^2 = 738,2\text{ мм.рт.ст. при температурі } 20^\circ\text{ C};$$

$$1\text{ ат} = 10\text{ м водяного стовпа при } 4^\circ\text{ C.}$$

$$1\text{ мм рт.ст.} = 133,322\text{ Па}$$

$$1\text{ мм.вод.ст.} = 9,8\text{ Па.}$$

Наступна одиниця тиску – бар: $1\text{ бар} = 10^5\text{ Па} = 0,1\text{ МПа}$ і є по величині трохи більшим за технічну атмосферу.

Ще використовується одиниця тиску - фізична атмосфера (атм), яка дорівнює тиску стовпа ртуті висотою 760мм при температурі 0° C на 1 см^2 і прискоренні вільного падіння $g = 9,81\text{ м/с}^2$.

$1\text{ атм} = 1,0332\text{ кгс/см}^2 \cong 103\text{ КПа}$ – відповідає нормальному атмосферному тиску і використовується як одиниця при перерахунках об'ємів газу та повітря, при їхньому переході із одного стану в інший (при зрідженні газів).

Для вимірювання тиску використовуються манометри, назва яких походить від грецького слова «*manos*» – рідкий, негустий, розріджений.

5.2. КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ТА ЗВ ЗВ ТА ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

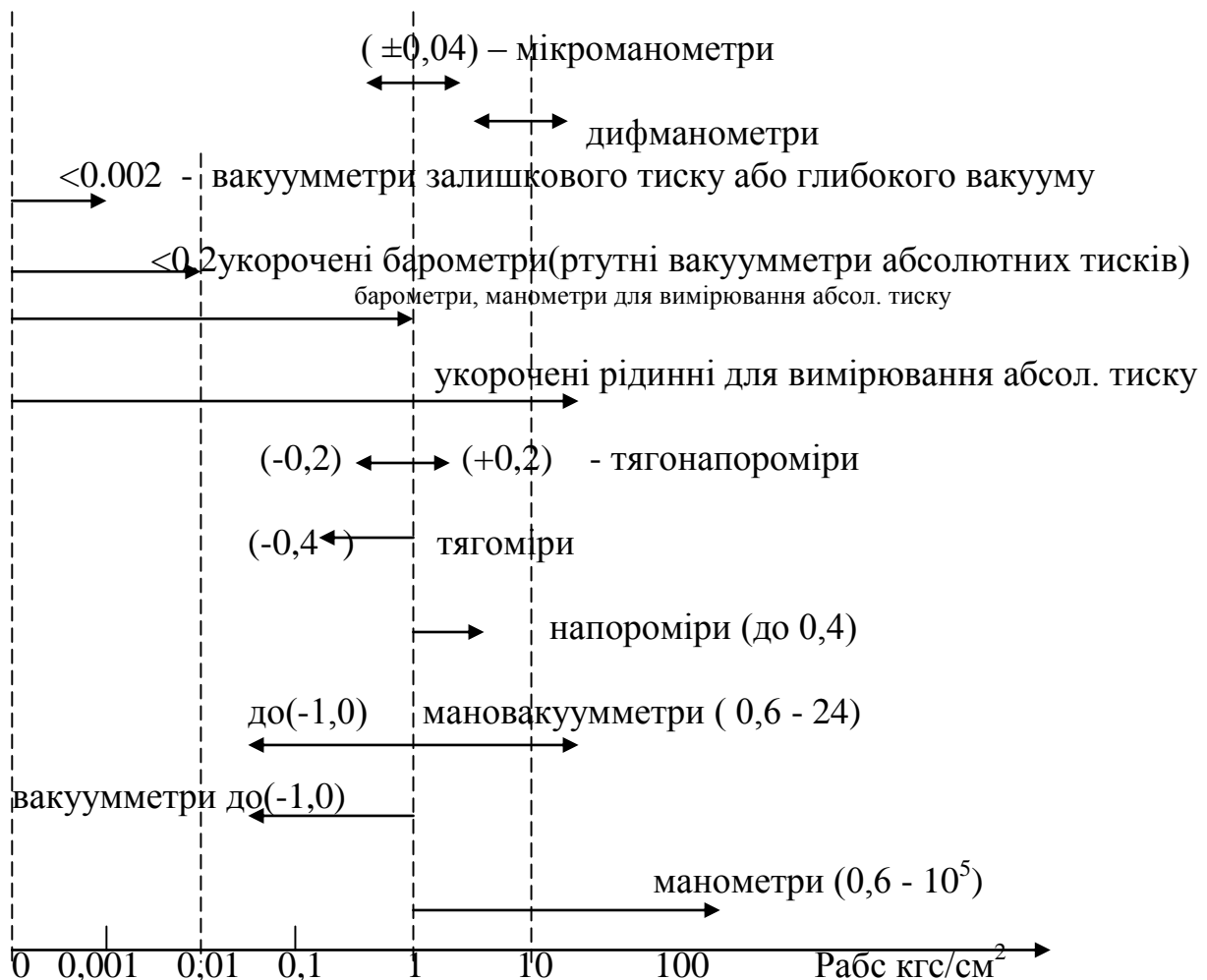
По виду вимірюваного тиску манометри діляться на дві групи, які відрізняються різними початками відліку тиску, тобто, різними, прийнятими за нуль, значеннями тиску: **в першу групу входять манометри надлишкового тиску**, а у другу - **абсолютного тиску**.

В манометрах надлишкового тиску, як позитивного, тобто, більшого за атмосферний тиск, так і від'ємного (вакуумметричного, тобто, меншого за тиск навколишнього середовища), **за нуль приймається значення атмосферного тиску**. До них відносяться:

- **манометри** – прилади які призначені для вимірювання надлишкового тиску від $0,6$ до 10^5 кгс/см ($0,06\dots 10\text{ МПа}$);

- **вакуумметри** - прилади для вимірювання розрідження (вакууметричних тисків) до $-1,0 \text{ кгс/см}^2$ ($-0,1 \text{ МПа}$);
- **мановакуумметри** – прилади які призначені для вимірювання надлишкового тиску від $0,6$ до 24 кгс/см^2 так і вакууметричного тиску до $-1,0 \text{ кгс/см}^2$;
- **напороміри** – манометри для вимірювання малих надлишкових тисків (до $+0,4 \text{ ат}$) від атмосферного;
- **тягоміри** – вакуумметри верхню межею вимірювання тиску яка не перевищує $-0,04 \text{ МПа} = -0,4 \text{ кгс/см}^2$;
- тягонапороміри – мановакуумметри з крайніми межами вимірювання відхилення тиску від атмосферного в сторону розрідження та надлишкового тиску $\pm 0,2 \text{ кгс/см}^2$ ($\pm 0,02 \text{ МПа}$ або $\pm 20 \text{ КПа}$).

Якщо на горизонтальній вісі відкласти логарифмічну шкалу абсолютних тисків, які необхідно виміряти, причому нуль відповідає нульовому абсолютному тиску, то можна побудувати схематичний графік розподілу манометрів по видам вимірюємих тисків:



Другу групу складають манометри абсолютного тиску, які пристосовані для вимірювання тиску, що відраховується від абсолютного нуля тиску, тобто, повної його відсутності. До них відносяться:

- **барометри** – манометри абсолютного тиску, які пристосовані для вимірювання тиску атмосфери;

- **укорочені барометри** – це ртутні вакуумметри для вимірювання абсолютних тисків (менше $0,2 \text{ кгс/см}^2$);

- **вакуумметри залишкового тиску** - призначені для вимірювання глибокого вакууму, тобто, абсолютних тисків менш $0,002 \text{ кгс/см}^2$.

Деяко осторонь стоїть третя група манометрів, яка включає в себе диференціальні манометри та мікроманометри.

Диференціальні манометри (дифманометри) - це манометри, які вимірюють різницю двох тисків, ні один із яких не є атмосферним, і використовуються в різних областях промисловості. Приклади використання дифманометрів: вимірювання перепадів тиску; вимірювання витрати рідин, газів та пари по перепаду тиску на спеціальних звужуючих пристроях; вимірювання рівня рідин, що знаходяться під дією атмосферного, надлишкового та вакуумметричного тисків тощо.

Мікроманометри – це дифманометри лабораторного типу які використовуються для вимірювання тиску чи різниці тисків в газових середовищах з верхньою межею вимірювання більше за $0,04 \text{ кгс/см}^2$.

Прилади для вимірювання тиску можуть бути показуючими, самописними, а також з електроконтактним регулюючим чи сигналізуючим улаштуванням.

По класам точності встановлений наступний ряд класів манометрів:

0,005; 0,02; 0,05; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0

По метрологічному призначенню манометри діляться на:
а) технічні (робочі); б) лабораторні (контрольні); в) зразкові, які призначені для повірки ними інших манометрів.

По принципу дії манометри можуть бути розділені на дві великі групи.

Першу утворюють прилади, в яких сили, що утворюються вимірюваним тиском, зрівноважуються відомими силами (силою ваги або пружною силою деформації). До цієї групи входять: рідинні, деформаційні та вагові манометри.

Рідинні манометри засновані на гідростатичному принципі, коли вимірюємий тиск зрівноважується гідростатичним тиском стовпа манометричної рідини. До них належать:

- а) двохтрубний (U - подібний) манометр або вакуумметр;
- б) однострубний (чашковий) манометр з постійним або змінним кутом нахилу;
- в) ртутний барометр (чашковий або сильфонний);
- г) компенсаційний манометр;
- д) укорочений рідинний манометр;
- е) багатотрубний манометр;
- ж) компресійний манометр.

Деформаційні (пружинні) манометри, в яких вимірюємий тиск або різниця тисків визначаються по деформації пружкого чутливого елемента, в якості яких використовують:

- а) трубчасті пружини різної конфігурації: одно- та багато виткові; S-подібні гвинтові;

б) мембрани: плоскі та з гофрами (трапецієдальними, синусоїдальними та крайовими); мембранні коробки; батареї мембранних коробок; **сильфони** (гармонікові мембрани).

Вагопоршньові манометри. В них тиск або різниця тисків зрівноважується тиском, який утворюється в циліндрі мірними вагами (гирями) та вагою не ущільненого поршню. Такі манометри діляться на види: - з простим поршнем; - з диференційними поршнями; - із зрівноваженими поршнями ; - з поршневим мультиплікатором тиску.

Другу групу утворюють прилади, тиск в яких вимірюється по зміні іншої фізичної властивості тіла під дією сил тиску. Групу складають манометри: електричні та спеціального призначення.

Принцип дії **електричних манометрів**, що отримують найбільше розповсюдження за останнім часом, ґрунтується на залежності зміни електричних параметрів манометричного перетворювача від вимірююмого тиску.

До них відносяться:

Манометри опору, принцип дії яких ґрунтується на зміні опору чутливого елемента під дією зовнішнього тиску.

Манометри з тензоперетворювачами – принцип дії ґрунтується теж на зміні електричного опору чутливого елемента, виготовленого із тензочутливого матеріалу (константану, або сплавів нікеля і міді чи нікелю і хрому), але за його деформації вимірюваним тиском.

П'єзоелектричні (п'єзокварцеві) манометри – принцип дії ґрунтується на властивості деяких кристалічних речовин утворювати електричні заряди під дією зусилля, що прикладене до них.

Ємнісні манометри – ґрунтуються на зміні ємності плоского конденсатору за зміни відстані між його обкладинками під дією тиску.

До манометрів спеціального призначення відносяться:

Теплові манометри - в них мірою розрідження є зменшення теплопровідності розрідженого газу.

Оптичні манометри – ґрунтуються на зміні показника заломлення світла в газі із зміною тиску.

Акустичні манометри – використовують зміну густини газу із зміною тиску і зв'язану з цим зміну резонансної частоти заповненого газом коліна скороченого рідинного манометру, який є акустичним резонатором.

Іонізаційні вакуумметри – ґрунтуються на залежності іонного струму спеціальної манометричної лампи, під'єднаної до вимірюваного за тиском газового середовища та вторинного вимірювального приладу, від тиску в цьому середовищі. Перераховані групи не вичерпують повністю все різномаяття принципів дії, які використовуються в приладах вимірювання тиску.

5.3. РІДИННІ МАНОМЕТРИ

Принцип дії рідинних манометрів полягає в тому, що вимірюваний тиск урівноважується гідростатичним тиском стовпа робочої рідини. Рідинні манометри прості в експлуатації мають досить високу точність вимірювання, їх широко використовують для науково-дослідних і лабораторних вимірювань, а також

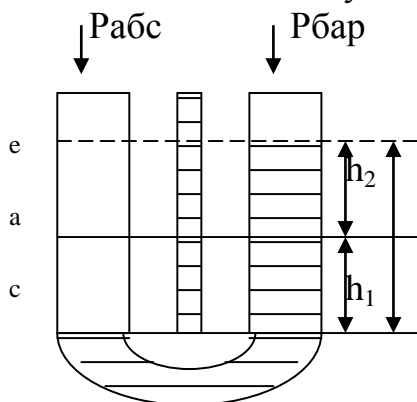
для технічних вимірювань невеликих надмірних тисків, розрідження, різниці тисків, а також атмосферного тиску.

За улаштуванням рідинні манометри діляться на прилади з видимим та без видимого рівня.

До приладів з видимим рівнем відносяться двотрубні (U - подібні), чашкові (однотрубні) та мікроманометри з похилою трубкою.

U – подібний манометр (двотрубний), що показаний схематично на рис. 5.1 та на рис.5.2,а – простіша різновидність рідинного манометра. Для виготовлення використовують скляну трубку внутрішнім діаметром 6-8мм і довжиною на 10-20% більше подвоєного граничного значення тиску, і що суттєво – незмінного по довжині внутрішнього перерізу, який повинен бути достатньо рівномірним. Наприклад, капля ртуті розміром 20мм при її переміщенні від початку до кінця трубки повинна змінювати розмір не більше ніж 0,2мм, тобто 1%. Трубку згинають U – подібно і до половини заповнюють манометричною рідиною (спирт, дистильована вода, ртуть). Шкалу роблять рухомою з міліметровими поділками (показана умовно в середині на рис. 5.1).

Перед початком роблять перевірку нуля, з'єднавши з атмосферою обидва кінці і виставляють нуль шкали (рівень «а» відповідає нулю шкали).



Якщо ліве коліно з'єднати з простором, де вимірюється тиск Рабс, а друге – залишити під впливом атмосферного тиску Рбар, то в залежності від того, більше чи менше Рабс від атмосферного Рбар, дістаємо або манометр (напрямір) або вакуумметр (тягомір). Якщо до кожного коліна підвести тиск, відмінний від атмосферного, то дістаємо – дифманометр.

Рис. 5.1. U – подібний манометр (двотрубний).

Якщо $R_{абс} > R_{бар}$, то рівень манометричної рідини опускається на h_1 мм. Так як $R_{бар} < R_{абс}$ рівень рідини у правому коліні піднімається на h_2 мм, після чого система приходить в рівновагу. Тиски на рівні «с» в обох колінах рівні і складаються із тисків, які діють на поверхні рідин в кожному із колін, та плюс тиску стовпів газу чи рідини, які знаходяться в кожному коліні між горизонтальними площинами «с» та «а», тобто:

$$R_{абс} + (h_1 + h_2)\rho_2 * g = R_{бар} + (h_1 + h_2)\rho_1 * g, \quad (5.4)$$

і звідки витікає рівняння рідинного манометра:

$$R_{абс} - R_{бар} = (h_1 + h_2)(\rho_1 - \rho_2)g, \quad (5.5)$$

де $R_{абс}$ – вимірюємий тиск, Н/м²(Па); $R_{бар}$ – атмосферний тиск;

ρ_1 та ρ_2 - відповідно густина манометричної рідини або газу, які заповнюють ліве та праве коліно манометру (кг/м³); g – прискорення вільного падіння.

g - залежить від географічної ширини місця вимірювання і зменшується по мірі віддалення від полюсів і наближенні до екватору (для полюсів $g=9,8322$ м/с², екватору $g= 9,7805$ м/с²). По міжнародній домовленості нормальне прискорення $g =9,80665$ м/с² (близьке до середнього). Значення g для особливо точ-

них вимірювань повинно враховуватись по спеціальним каталогам гравіметричних пунктів і інтерполюється по заченням в трьох найближчих пунктах .

Якщо тиск необхідно виразити в мм.рт.ст. або водяного стовпа, то використовують рівняння:

$$\mathbf{Рабс-Рбар} = (\mathbf{h_1+h_2})(\mathbf{\rho_1-\rho_2}) * \mathbf{g/\rho_n} * \mathbf{g_n} , \quad (5.6)$$

де ρ_n – питома вага ртуті або води (при 4⁰С);

g_n – нормальне прискорення; h_1 і h_2 – в мм.

В загальному вигляді поперечний переріз трубок у лівому F_1 та правому F_2 колінах може бути різним. При умові, якщо об'єм манометричної рідини, який виштовханий із лівої трубки $V_1=h_1 * F_1$ дорівнює об'єму $V_2=h_2 * F_1$, який піднявся в правій трубці, то $h_1 = h_2 * (F_2 / F_1)$ і відповідно загальне рівняння двотрубного манометру має вигляд:

$$\mathbf{Рвим} = \mathbf{Рабс-Рбар} = \mathbf{h_2(1+ F_2/F_1) (\rho_1-\rho_2) * g} . \quad (5.7)$$

Якщо $F_2 = F_1$, вираз (5.5) спрощується, так як $h_2 (1+ F_2/F_1) = 2 h_2$. Але таке спрощення не завжди допустиме, і діє тільки при умові, якщо на верхній межі вимірювання покази по шкалі приладу не відхиляються від суми змін рівнів в обох колінах менше, чим на величину допустимої похибки .

Двотрубні манометри (рис.5.2,а) застосовуються для вимірювання тиску до 0,2 МПа, і їм притаманний ряд похибок, до яких відносяться: неточності відліку положення меніску рідини, вплив зміни температури навколишнього середовища, явище капілярності тощо. Недоліком двотрубних приладів є необхідність двох відліків, що призводить до збільшення похибки вимірювань. Межі допустимої основної похибки звичайно не перевищують ± 2 мм стовпа робочої рідини. Для збільшення точності вимірювань зразкові прилади такого типу мають дзеркальну шкалу. У такому випадку похибка становить ± 1 мм стовпа робочої рідини.

Цей недолік не мають однотрубні або чашкові манометри (рис. 5.2,б), в яких плюсова трубка (де більший тиск) замінена достатньо широкою посудиною, коли співвідношення площин поперечних перерізів дуже мале. В цьому випадку переміщенням h_1 в коліні з великою площею перерізу нехтують (роблять так, що $F_2/F_1 \leq 1/400$), а для результату вимірювання використовують формулу (5.5).

$$\mathbf{Рвим} = \mathbf{Рабс-Рбар} = \mathbf{h_2 * (\rho_1-\rho_2) * g} . \quad (5.8)$$

Верхня межа вимірювання таких рідинних манометрів визначається їхніми габаритними розмірами та густиною манометричної рідини. На практиці вони застосовуються вимірювання надлишкових тисків до 20 кПа, а за ртутного заповнення — до 100 кПа (0,1 МПа, 1,0 кгс/см²). Межа допустимої основної похибки не перевищує ± 3 мм стовпа робочої рідини.

Для вимірювання високих тисків при зменшеній висоті трубок, використовується двотрубний укорочений манометр, у якого кінець одного із колін є запаяним, а при заповненні рідиною в запаяному коліні залишають деяку кількість газу (повітря). Міру тиску – підвищення рівня рідини в запаяному коліні. Шкала – нерівномірна. Як правило, трубку виконують з поперечним перерізом , який змінюють по висоті і відповідно шкалу роблять близьку до логарифмічної

і відносна похибка відліку показів по такій шкалі зберігає своє значення по шкалі. Такий манометр має значний температурний коефіцієнт і потребує стабілізації температури запаяного коліна.

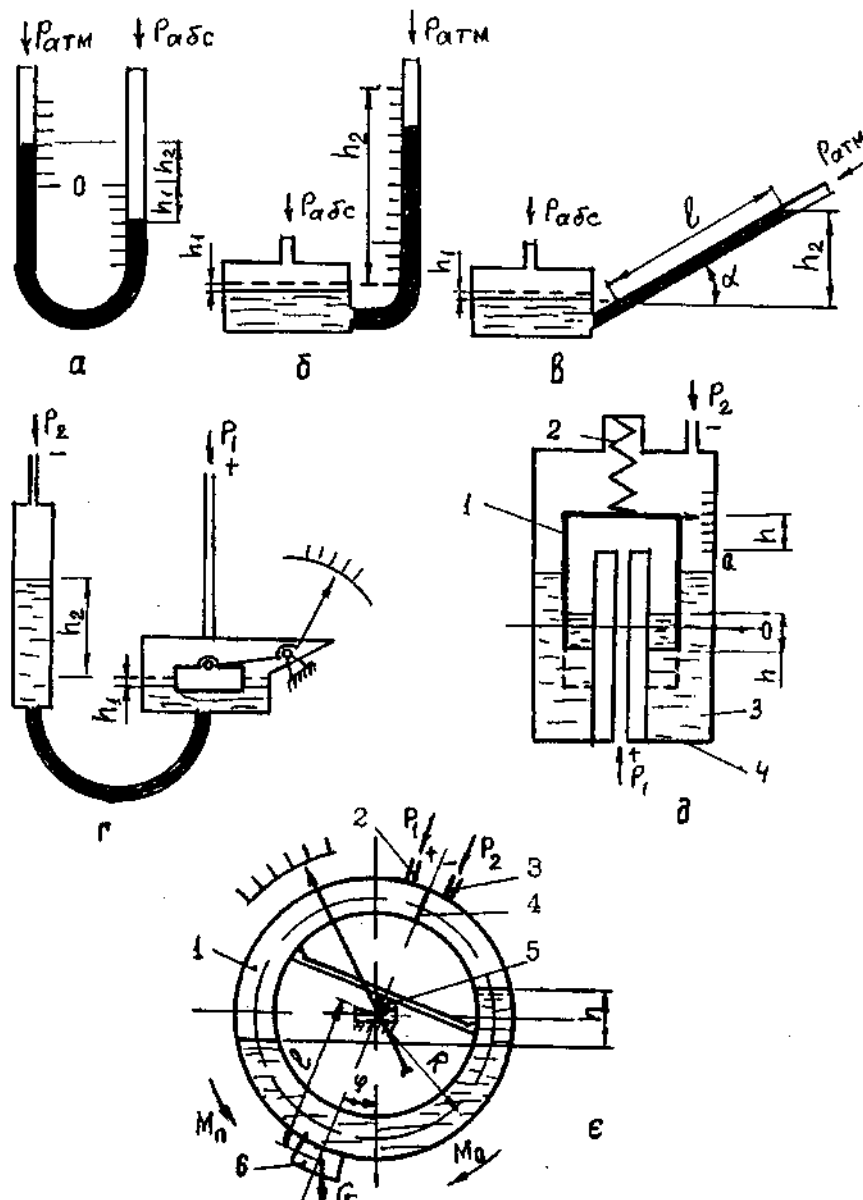


Рис. 5.2 Основні види рідинних манометрів: а) двотрубний; б) однотрубний; в) мікроманометр; г) поплавцевий; д) дзвоновий та е) кільцевий.

Для вимірювання дуже малих тисків (від 160 Па до 3 кПа) застосовуються мікроманометри з нахиленою вимірювальною трубкою (рис. 5.2,в).

Внаслідок цього висота стовпа рідини, що зрівноважує вимірюваний тиск $h = l \sin \alpha$, де l — переміщення рідини у трубці. Тому тиск: $p = l \rho \sin \alpha$. За рахунок зміни кута нахилу трубки можна змінювати межі вимірювань.

Промисловість випускає мікроманометри типу ММН на п'ять діапазонів вимірювань. Клас точності 0,5 і 1,0. Прилад дозволяє вимірювати тиск або розрідження в межах: 0-60; 0-120; 0-180; 0-240 мм.вд.ст. при похибці ± 1 мм. вд.ст. (або 0,5% від верхньої межі). Більш точними є компенсаційні манометри типу

ММ, де за рахунок використання оптичної системи відрахунку похибка не перевищує $\pm 0,05$ мм.

Для технічних вимірювань застосовуються рідинні манометри без видимого рівня. До них відносять поплавкові, дзвонові та кільцеві.

U-подібні поплавцеві дифманометри (рис. 5.2, г) - є подібними однотрубним манометрам, але на відміну від них не мають видимого рівня робочої рідини. Для вимірювання рівня в них використовується переміщення поплавка, що знаходиться у чашці. За допомогою передавального механізму переміщення поплавка перетворюється у переміщення показуючої стрілки, а також може бути використане для реєстрування або передавання сигналу вимірювальної інформації. Переміщення поплавка h_1 зв'язане з різницею тисків таким відношенням:

$$h = \frac{1}{\rho g} \frac{P_1 - P_2}{H + f}$$
 де F та f – поперечний переріз відповідно чашки в одному коліні та трубки, по якій підводиться тиск у другому.

Зміна поперечного перерізу трубки, по якій підводиться тиск, дозволяє змінювати діапазон вимірювань тиску. Промисловість випускає поплавцеві дифманометри показувальні самописні, з сигналізувальними та інтегрувальними пристроями типу ДП різних модифікацій на діапазон вимірювань різниці тисків 0,006...0,1 МПа, а надлишкового тиску 0,004... 40 МПа. Клас точності — 1,0 і 1,5.

Принцип роботи дзвонових дифманометрів ґрунтується на зрівноважуванні вимірюваного тиску або перепаду тисків, які сприймаються дзвоном, що вільно плаває у рідині, пружними силами каліброваної гвинтової пружини або силами ваги (рис. 5.2, д).

У такому приладі дзвін 1, підвішений на гвинтовій пружині 2, частково занурений у робочу рідину (трансформаторне масло) 3, налиту в посудину 4. Якщо $p_1 = p_2$, то дзвін приладу перебуває у рівновазі, й вимірювальна стрілка показує 0. Із виникненням різниці тисків $p_1 - p_2 > 0$ рівновага сил порушується і з'являється підйомна сила, яка переміщує дзвін доти, доки ця сила не зрівноважиться проти дійним зусиллям пружини. Різниця тисків і переміщення дзвону h зв'язані залежністю:
$$G_d = F_d (p_1 - p_2) - K_p (H_0 - h)$$
, де F_d — внутрішня площа перерізу дзвону; G_d — сила ваги дзвону, Н; K_p — коефіцієнт жорсткості пружини, H_0 — початкова висота пружини, яку вона має на початку вимірювань, тобто коли $p_1 = p_2$, м.

З наведеної формули видно, що зміною жорсткості пружини і внутрішньої площини дзвону можна змінювати межі вимірювань приладу і його чутливість.

Промисловість випускає дзвонові дифманометри типу ДКО з диференційно-трансформаторними і феродинамічними перетворювачами на межі вимірювань різниці тисків 0,1...1,0 кПа, за класу точності 1,0 і 1,5. За вимірювання малих перепадів тисків такі прилади мають вищу чутливість, ніж поплавцеві.

Кільцевий дифманометр являють собою теж U-подібну трубку, але звернуту у кільце 1 (рис. 5.2, є) і розділену зверху перегородкою 4. Порожнина кільця до половини заповнюється робочою рідиною (водою, маслом або ртуттю).

За рівності тисків в обох порожнинах кільцевої камери $p_1 = p_2$ кільце перебуває у середньому положенні, а робоча рідина в обох колінах — на одному рівні. За нерівностей тисків $p_1 > p_2$ робоча рідина переміститься із лівого коліна у пра-

ве таким чином, щоб перепад тисків зрівноважився стовпом рідини. При цьому виникає обертальний момент і кільце повертається навколо точки опори за годинниковою стрілкою на кут φ , який є мірою різниці тисків.

Промисловість випускає кільцеві дифманометри типу ДК показувальні, реєструвальні, з перетворювачами для передавання вимірювальної інформації. Діапазон вимірювань різниці тисків 0,25... 1,6 кПа, клас точності 1,0 і 1,5.

Загальні переваги рідинних приладів тиску: а) достатня точність; б) простота конструкції; в) невисока вартість. **Недоліки:** а) невисока механічна міцність; б) громіздкість.

5.4. ВАГОПОРШНЕВІ МАНОМЕТРИ

Вагопоршневі манометри – це прилади, в яких тиск або різниця тисків зрівноважується тиском, який утворюється в циліндрі мірними вагами та вагою ущільненого поршня, тобто, поршня, який входить в циліндр з рівномірним по колу і невеликим по величині ($<0,01$ мм) зазором. Будучи оточеним витікаючою через цей зазор рідиною (мастилом) і зовсім не доторкуючись до внутрішньої поверхні циліндру, поршень знаходиться в рідині у взваженому стані. Такий поршень передає рідині не тільки свою вагу, але й вагу накладених на нього гирь. Таким чином утворюють тиск рідини в циліндрі до тисяч атмосфер, який використовується в якості міри тиску для перевірки інших манометрів, наприклад, деформаційних або електричних манометрів. При цьому зберігається гідростатичний принцип дії приладу. Рівномірність заповненого рідиною кільцевого зазору, що оточує поршень, досягається повільним (30об/хв.) повертанням поршня навколо своєї осі. Так як рідина має певну в'язкість, то при обертанні утворюється зусилля, яке відштовхує поршень від стінок циліндру (віджимаючий ефект).

Відповідно із стандартом випускаються манометри вагопоршневі 1-го розряду з межою допустимої основної похибки 0,02% від вимірюваного тиску, якщо він лежить в межах від 10 до 100% верхньої межі вимірювання. Відповідно для другого розряду ця ж похибка дорівнює 0,05%.

Типи грузопоршневих манометрів: наприклад, МП-2,5 з верхньою межою вимірювання 0,25МПа (2,5 кгс/см²); МП-60 з діапазоном вимірювання від 0,1 до 6 мПа (від 1 до 60 кгс/см²). Їхні класи точності відповідно 0,02 та 0,05.

Використовуються в якості лабораторних приладів для перевірки робочих манометрів.

5.5. ДЕФОРМАЦІЙНІ МАНОМЕТРИ (ДМ)

Принцип дії ДМ ґрунтується на використанні пружкої деформації чутливих елементів або сили, яку вони розвивають під дією вимірюваного тиску. Вони перетворюють тиск у пропорційне переміщення або зусилля. Тобто у ДМ вимірюваний тиск зрівноважується механічною напругою в матеріалі чутливого елемента:

$$R_{\text{вим}} = K_{\text{пр}} \cdot x, \quad (5.9)$$

де $K_{\text{пр}}$ – коефіцієнт жорсткості пружного чутливого елемента, Н/м;

x – деформація чутливого елемента, м.

Деформаційні манометри відрізняються простотою та надійністю конструкції, невеликими габаритами, досить високою точністю, широким діапазоном вимірювання. Завдяки цим якостям деформаційні манометри широко застосо-

вуються в різних галузях техніки в діапазоні вимірювань від 50 Па до 1000 МПа.

Розновидність чутливих елементів ДМ приведена на рис. 5.3: а,б) одно- та багатовиткові трубчасті пружини; в...з) мембрани; к,м) сильфони та ін.

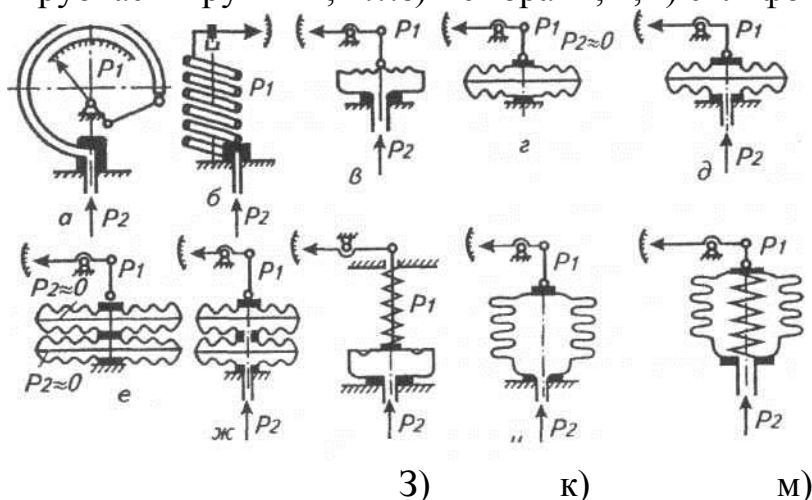


Рис. 5.3. Чутливі елементи деформаційних манометрів

Пругкий чутливий може пружко деформуватись під впливом різниці між внутрішнім і зовнішнім тиском. Величина цієї деформації є мірою різниці згаданих тисків. Деформація чутливого пружкого елемента в таких приладах обмежена або долями мм, або декількома мм. Тому в корпусі таких приладів, які відповідають тим чи іншим специфічним вимогам, крім основної частини - пружкого чутливого елемента, знаходиться також передавальний механізм, який застосовують для збільшення деформації пружкого чутливого елемента в необхідну кількість разів для переміщення показника по шкалі приладу.

ДМ – є найбільш розповсюдженим видом приладів для вимірювання тиску в діапазоні від 100Па (10^{-3} кгс/см²) до 1000мПа. Похибки таких приладів складають від $\pm 0,16\%$ до $\pm 4\%$ від верхньої межі вимірювання.

ДМ випускаються промисловістю в звичайному виконанні, а також у вібростійкому, антикорозійному, пило та вибухозахищеному виконаннях з рвзними додатковими пристроями для реєстрації, сигналізації та перетворення вимірювальної інформації.

У приладі з трубчастою одновитковою пружиною (рис. 5.3, а) овального або еліптичного перетинів під впливом надмірного тиску, що подається у внутрішню порожнину, пружина деформується та її вільний кінець переміщується, діючи на передавальний механізм, який повертає стрілку приладу. Один кінець трубки закріплюють нерухомо на цоколі манометру, через штуцер якого в трубку подається вимірюємий тиск. Другий кінець трубки є герметично запаяним. Під дією надлишкового внутрішнього тиску трубка дещо розкручується. Зміщення вільного кінця трубки, який зв'язаний з передавальним механізмом, дає інформацію про величину тиску в вимірюємому середовищі.

Трубчата пружина була запропонована французом Будроном в 1851р.(запатентована), можливість використання якої для вимірювання тиску була відкрита ним випадково. При виготовленні змійовика, тобто, зігнутої циліндричної трубки по гвинтовій лінії, операцію з трубкою виконали невдало і

сплющили частину трубки. Щоб її вирівняти, один кінець трубки закрили, а в другий під тиском подали воду. При збільшенні тиску помітили, що трубка сама по собі розкручується на деякий кут, що і наштовхнуло Бурдона на винахід приладу для вимірювання тиску. Майже 20 років було відсутнє теоретичне обґрунтування, під дією яких сил відбувається розкручування такої пружини, так як трубка круглого перерізу, аналогічно зігнута і за таких же умов не розкручується.

Розкручування трубчатої пружини пояснив Хілл і в основі пояснення положено те, що під дією внутрішнього тиску мала вісь поперечного перерізу трубки збільшується при незмінній її довжині, що і викликає саме розкручування.

Закон Гука, як відомо, проголошує, що під впливом навантаження в пружкому тілі виникає деформація, яка пропорційна цьому навантаженню, і є справедливим тільки до певної межі збільшення навантаженості, яка називається межею пропорційності.

Механічні властивості матеріалу пружини ДМ залежать від її хімічного складу, характеру механічної та термічної обробки при виготовленні і температури, при якій вона повинна працювати, а також залежать від домішок і обробки. Наприклад, трубчаті пружини ДМ для тисків до 50 кгс/см^2 виготовляють із латуні, томпака, краще із бронзи (сплав міді з цинком, свинцем або оловом), або інших більш складних сплавів на мідній основі. Особливо високоякісна берилієва бронза, використовують також і сталі різних складів, або в останній час сплави нікелю.

В трубчатих пружинах є така особливість, що якщо підняти в них тиск в межах пропорційності, то після досягнення цього значення при незмінному тиску деформація пружини повільно зростає, наближаючись асимптотично до кінцевого межового значення. Таке поступове, з терміном часу, збільшення деформації, називається пружкою післядії. Величина пружкої післядії тим більша, чим ближче тиск підходить до межі пропорційності для даної трубки. В загальному, при тиску, який дорівнює межі пропорційності, пружка післядія сягає 2% від відповідної цьому тиску деформації, тоді як при тиску в 50% від межі пропорційності, в цих же пружких елементах вона становить 0,5%. Якщо тепер знизити тиск до $P=0$, то необхідним буде час (прояв дії пружкої післядії) поки кінець трубки наблизиться до вихідного стану. Але точне вихідне положення трубка вже не займе. Це явище називається залишковою деформацією і надає друге відхилення від закону Гука. При повторних навантаженнях величина залишкових деформацій накопичується. Цим і пояснюється, що для технічних ДМ верхня межа вимірювання обмежується половиною тиску, який відповідає межі пропорційності. Крім цього для забезпечення на практиці необхідного запасу по надійності та достовірності, ДСТУ забор'язує, щоб робоча межа надлишкового тиску не була більшою $\frac{3}{4}$ верхньої межі вимірювання манометру при постійному тиску, та $\frac{2}{3}$ верхньої межі - при змінному тиску. Для контрольних манометрів верхня межа назначається не більше третини межі пропорційності, а у зразкоцих – не більше $\frac{1}{4}$.

З підвищенням температури межа пропорційності пружин знижується, а

пружка післядія та залишкові деформації зростають. З цієї причини манометри для вимірювання тиску пари відокремлюють від пари гідравлічним затвором. Трубку, якою підводять тиск пари, скручують в вигляді вертикально розташованих спіральних витків (1,5 витка), в яких збирається конденсат, який і відіграє роль гідравлічного затвору. Як результат – манометр має завжди температуру навколишнього середовища.

По стійкості до дії температури Д(П)М виготовляють чотири групи: найбільш стійкі в інтервалі $(-50 - +60)^{\circ}\text{C}$, а найменш стійкі від $(+10 \text{ до } +35)^{\circ}\text{C}$.

Конструкція приладу описана в розділі 4.5 «Манометричні термометри».

Манометри з гелікоїдальною пружиною (рис. 5.3,б) більш чутливі і мають межі вимірювання від 0 до 160 мПа, клас 1,0 ; 1,5. Але є великогабаритними приладами.

Практика показала, що для високих тисків навіть абсолютна пряма товстостінна трубка з ексцентричним повздовжнім отвором, який не доходить до кінця, під дією тиску речовини, що подається в її середину, теж деформується. Такі негнуті трубчаті пружини використовуються як чутливі елементи в приладах для вимірювання тиску від 1000 до 10000 кгс/см² (100 до 1000 МПа) і їхній клас точності не перевищує 1,0.

На тиски більше 100 МПа іноді до звичайної зігнутої товстостінної труби приварюють з внутрішньої сторони металеву стрічку, яка еквівалентна ексцентричності отвору.

Ще одна різновидність трубчатої пружини – сплющена тонкостінна пряма трубка, в якій великі полувісі повернуті і утворюють гвинтову поверхню. Ще кращі результати отримують при використанні (рис.5.4.).

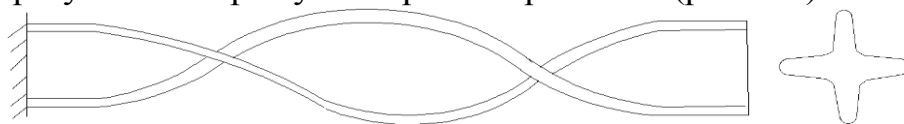


Рис. 5.4. Трубчаста пружина чотирьох-променевого (зірочного) перерізу.

Такий переріз можна собі уявити як два овальних перерізи, розташованих під кутом 90° одне до одного. Кут повернення вільного кінця може сягати $40-60^{\circ}$. В цьому випадку не має необхідності в передавальному механізмі, так як стрілка приладу може бути закріплена безпосередньо на вільному кінці пружини.

Промисловість випускає трубчасті манометри з одновитковою пружиною:

- показувальні типи ОБМ, МТ, МТП;
- показувальні та самописні типу МТС, зразкові – МО;
- з диференційно-трансформуючим перетворювачем типу МЄД;
- з електро-силовим перетворювачем типу МП-Є;
- з пневмосиловим перетворювачем типу МП-П.

Окрім показуючих приладів широко застосовуються електроконтактні трубчасті манометри, які призначаються для вимірювання, сигналізації та регулювання тиску показувальні та сигналізуювальні типу ЄКМ-IV та ЄУМ-2V.

Електроконтактний манометр типу ЕКМ (рис. 5.5) за принципом дії аналогічний вказівному манометру з трубчастою одновитковою пружиною. Для сигналізації та регулювання має контактний механізм який містить три електроконтакти, два з них встановлені на задавачах верхньої 2 та нижньої 1 межі, а третій

на вказівній стрілці 3. Встановлення задавача на необхідні межі здійснюється обертом гвинта 5. Якщо вимірюваний тиск збільшується і досягає верхньої заданої межі, замкнеться контакт між вказівною стрілкою й задавачем верхньої межі, зі зниженням тиску до нижньої межі замикається контакт між стрілкою і задавачем нижньої межі.

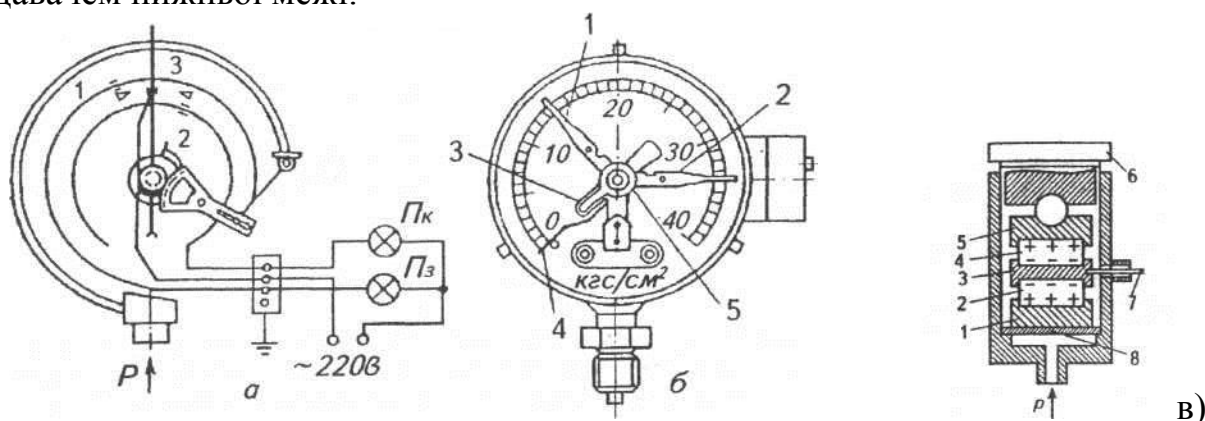


Рис. 5.5. Електроконтактний манометр типу ЕКМ 23(а,б) та датчик в) п'єзокварцового манометра

Електроконтактні манометри ЕКМ випускаються з межами вимірювання від 1 до 1600 кгс/см (0,1 - 160 МПа), розривна потужність контактів 10 ВА, клас точності 2,5. Ці прилади встановлюються для регулювання тиску у варильних котлах та автоклавах.

5.6. ЕЛЕКТРИЧНІ МАНОМЕТРИ

До електричних манометрів відносяться : манометри опору, п'єзоелектричні манометри та манометри з тензоперетворювачами.

Принцип дії електричних манометрів полягає у використанні залежності електричних параметрів матеріалів від тиску. Прилади цієї групи застосовуються для вимірювання високих тисків та глибокого вакууму і відрізняються високою точністю, швидкодією, малими габаритами, вібро- та ударостійкістю. Для опису сенсорів (ПВП) електричних манометрів використовуються терміни п'єзоефіцієнт та п'єзоопір, який відноситься, як правило, до манометрів опору та п'єзоелектричних манометрів, хоча інколи ці терміни використовують, маючи на увазі класичний тензометричний перетворювач.

Манометри опору використовуються для вимірювання тиску в важкодоступних місцях. Принцип дії приладів цієї групи ґрунтується на непрямому методі вимірювання - зміні електричного опору чутливого елемента під дією зовнішнього тиску, які функціонально пов'язані між собою. Такий манометр являє собою масивний порожнистий корпус, в порожнині якого знаходиться вимірювальна котушка і куди подають вимірюваний тиск. Котушка являє собою в один рядок намотаний на ізоляторі тонкий манганіновий дріт діаметром 0,05 мм та менше. Опір дроту вимірюють за допомогою відомих приладів: логометра, автоматичного моста тощо.

Принципово в якості металу дроту може використовуватись будь-який метал або напівпровідник. Але для використання в якості сенсора тиску, як правило, підбирають метал з великою зміною опору під дією тиску, тобто, з вели-

ким, так званим, п'єзокоефіцієнтом та малим температурним коефіцієнтом опору. Зміна опору металу (в Ом), при прикладеному до нього тиску, відповідає залежності:

$$\Delta R = K_p \cdot R \cdot P, \quad (5.10)$$

де K_p - п'єзокоефіцієнт; R - опір металу, Ом; P - прикладений тиск.

Найбільш повно цим вимогам відповідає манганін, хоча його п'єзокоефіцієнт відносно малий. Тому сенсори тиску, що виготовлені із манганіну, і реалізують такий метод, доцільно використовувати при високих та над високих тисках – до 3ГПа.

Крім металевих датчиків, в якості чутливих елементів використовуються вугільні та напівпровідникові матеріали. Їхній п'єзокоефіцієнт в тисячі раз більший, ніж у манганіну, але характеристика перетворення суттєво нелінійна. Крім цього вони мають великий гістерезис та залежність від впливу температури. Напівпровідникові датчики опору механічно не міцні і використовуються на тиски до 10МПа.

Принцип дії п'єзоелектричних манометрів заснований на використанні п'єзоелектричного ефекту, тобто ефекту виникнення електричного заряду під час деформації деяких кристалів (кварцу, турмаліну, барію та ін.). Пристрій датчика п'єзокварцового манометра показано на рис. 5.5,в. Чутливим елементом датчика є дві кварцові пластини 2 та 4, які розділені контактною пластиною 3 і за допомогою шайб 1, 5 затискаються між мембраною 8 та кришкою 6. Електричний заряд знімається з кварцових пластин і за допомогою провідника 7 подається на вимірювальний пристрій.

П'єзокварцові манометри це безінерційні прилади і застосовуються під час вимірювання швидкозмінного тиску, рівень вимірювання тиску — до 100 МПа.

Манометри з тензоперетворювачами. Загальна теорія та конструкція тензометричних перетворювачів.

Принцип дії тензометричних перетворювачів ґрунтується на, так званому, тензоефекті - зміні їхнього активного опору провідника за пружних деформацій. Самий поширений варіант використання тензоефекту - це розтягування дроту або стрічки з тензочутливого матеріалу. Такі перетворювачі використовують для вимірювання невеликих переміщень, деформацій, або інших механічних величин, що пов'язані з деформаціями.

Як матеріали для тензоперетворювачів використовуються константан, сплави міді й нікелю, нікелю й хрому. Поряд з металевими тензоперетворювачами дедалі ширше застосовуються напівпровідникові, які відзначаються значно вищою чутливістю, меншими габаритами і масою.

Найбільш розповсюджені металеві тензорезистори (рис. 5.6), які виготовляються із зигзагоподібно укладеного та приклеєного до основи 1 (з паперу або пластмаси) манганінового дроту 2 діаметром 0,01 ...0,05 мм. До кінця дроту приварюються вивідні провідники 3 діаметром 0,5 мм. Часто замість дроту використовується металева фольга завтовшки 0,001 ...0,01 мм, із якої методом витравлювання одержують зигзагоподібну решітку. Зверху перетворювач покривається захисною водостійкою плівкою 4. Тензоперетворювач наклеюють на пружний елемент, що перебуває під дією вимірюваного зусилля, пропорційного тиску. Останнє приводить до деформації пружного елемента і одночасно до зміни ро-

змірів тензорезистора (змінюється довжина дроту і його поперечний переріз) і, як наслідок, змінюється електричний опір R перетворювача за формулою:

$R = n (\rho * L / S)$, де ρ - питомий опір матеріалу; L – база перетворювача (довжина прямолінійних ділянок дротинки); S – площа перерізу дротинки; n – кількість укладених зигзагоподібно ділянок.

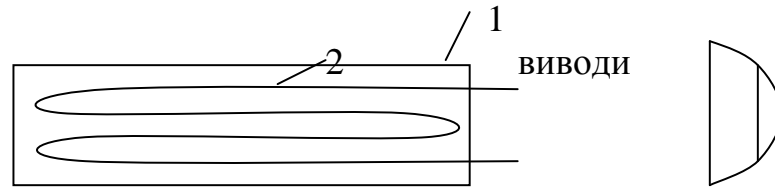


Рис. 5.6. Спрощена схема тензорезистора.

Найчастіше цей опір вимірюється за допомогою мостової схеми. Для зменшення впливу зміни температури навколишнього середовища на точність вимірювань застосовуються спеціальні схеми термокомпенсації.

Температурної похибки немає у схемі, де використовується чотири однакових тензорезистори, які розміщуються на мембрані або консолі, до яких підводиться вимірюване зусилля або тиск. Під дією тиску чи зусилля P (рис. 5.7) вигинається пружна консоль 1, деформація якої вимірюється за допомогою чотирьох дрітчастих або фольгових тензорезисторів (згори $R1, R4$, знизу $R2, R3$).

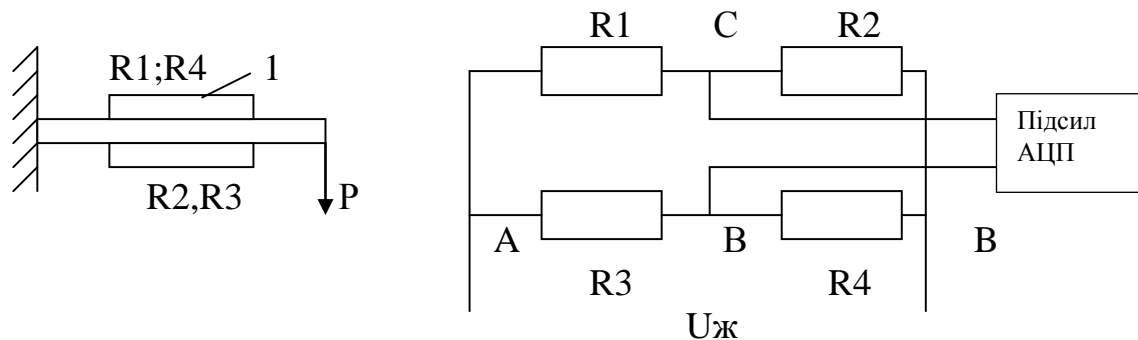


Рис. 5.7. Варіант використання тензорезисторів на консолі.

Резистори ввімкнені у незрівноважену мостову схему. Напряга нерівноваги підсилюється або перетворюється в відповідний цифровий код, який опрацьовується і використовується далі в системі. Схема має підвищену чутливість до вимірююмого зусилля, так як одночасно змінюються від деформації всі чотири резистори, причому два $R1, R4$ в сторону розтягування, а $R2, R3$ – в сторону стискування, збільшуючи тим самим U_{cd} .

На такому принципі працюють прилади для вимірювання тиску типу «Сапфір» і їхні модифікації, а також фірми «Siemens» типу Sitrans P, PZ, дифманометри типу DS.

Структурна схема первинного вимірювального перетворювача (ПВП) "Сапфір" для вимірювання надлишкового тиску показана на рис. 5.8.

В цьому випадку тензорезистори наносяться у вигляді монокристалічної плівки кремнію на сапфірову мембрану (рис.5.8,б). А сам первинний вимірювальний перетворювач складається з тензомодуля і вмонтованого електронного підсилювача ЕП (рис. 5.8,а). Тензомодуль – це корпус 1, в якому розміщується двошарова мембрана – нижня 2 металева, та верхня 3 із сапфіру, що закріплюється

на металевій мембрані 2. На сапфіровій мембрані розміщується чотири однотипних тензорезистори, які вмикаються за мостовою схемою. Сапфір – це мінерал (різновид корунду, підклас простих окислів алюмінію), який виготовляють синтетично і який являє собою кристал синього чи голубого кольору з домішками заліза та титану. Окремі резистори з'єднані так, що за прогину мембрани опори резисторів R1 та R3 зростають, а R2 та R4 зменшуються.

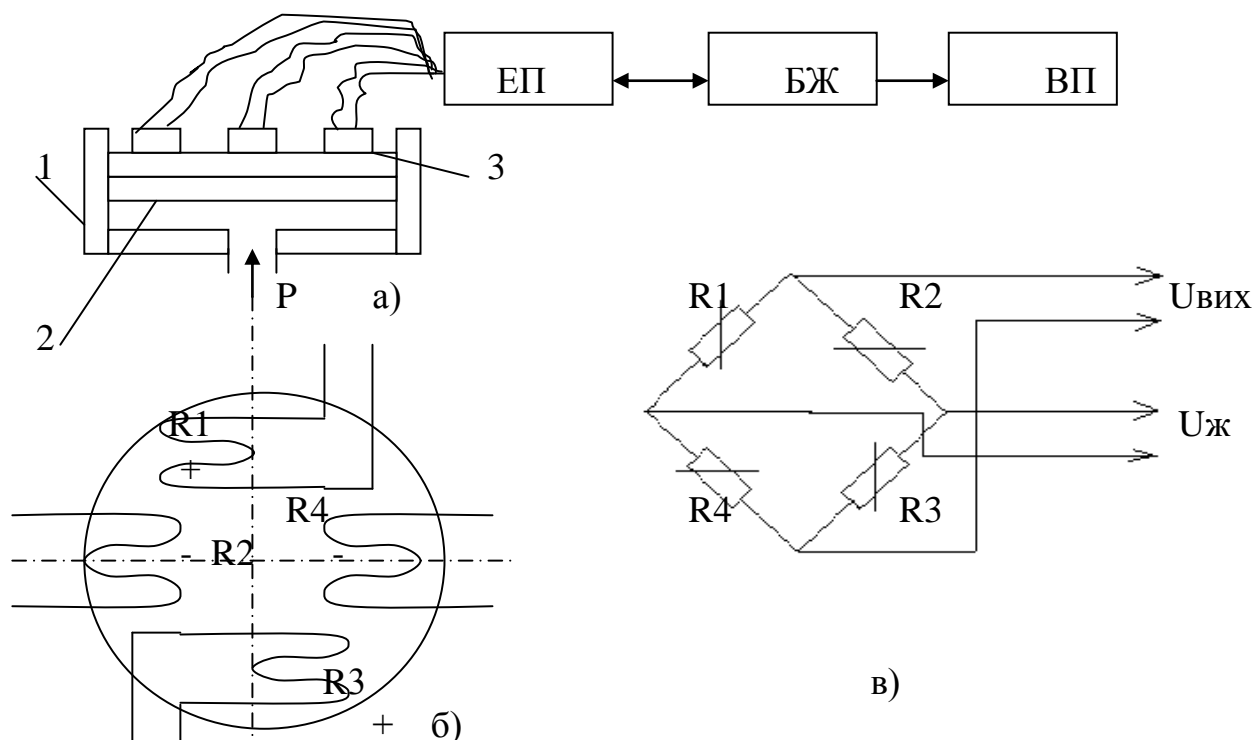


Рис. 5.8. Варіант виконання тензомодулю типу "Сапфір".

Напруга у вимірювальній діагоналі мостової схеми дорівнює:

$$U_{\text{вих}} = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} U_{\text{ж}} \quad (5.11)$$

При зростанні тиску рівновага мосту порушується і виникає різниця напруги у вимірювальній діагоналі, яку сприймає перетворювач.

Максимальне значення напруги $U_{\text{вих}} = 0,1 \text{ В}$, тому напругу підсилюють в ЕП, який розміщують в цьому ж корпусі. Сигнал вимірювальної інформації подається за двопровідною схемою до блоку живлення БЖ, де перетворюється в уніфікований сигнал по струму, який подається на вторинний прилад.

Вимірюючи перетворювачі «Сапфір» забезпечують вимірювання тисків до 100мПа, розрідження – до 10^{-5} мПа, різниці тисків від 2,5Па до 16мПа. За класом точності бувають: 0,1; 0,25; 0,5. Переваги: надійність, так як використовуються незначні деформації чутливих елементів; стабільність, високий клас точності – 0,1, дистанційна передача інформації.

Відмінною особливістю манометрів фірми «Siemens» - є висока ступінь інтеграції електронних схем обробки сигналів ПВП, наявність вбудованого мікропроцесорного пристрою цифрової обробки, пам'яті EEPROM, яка зберігає у цифровому коді константи заводського налаштування ППВ при його метроло-

гічній атестації. Структурна схема приладу, загальний вигляд та основні складові перетворювача SITRANS P серії ZD приведені на рис.5.9.

СВДЗ СВДЧ РКД

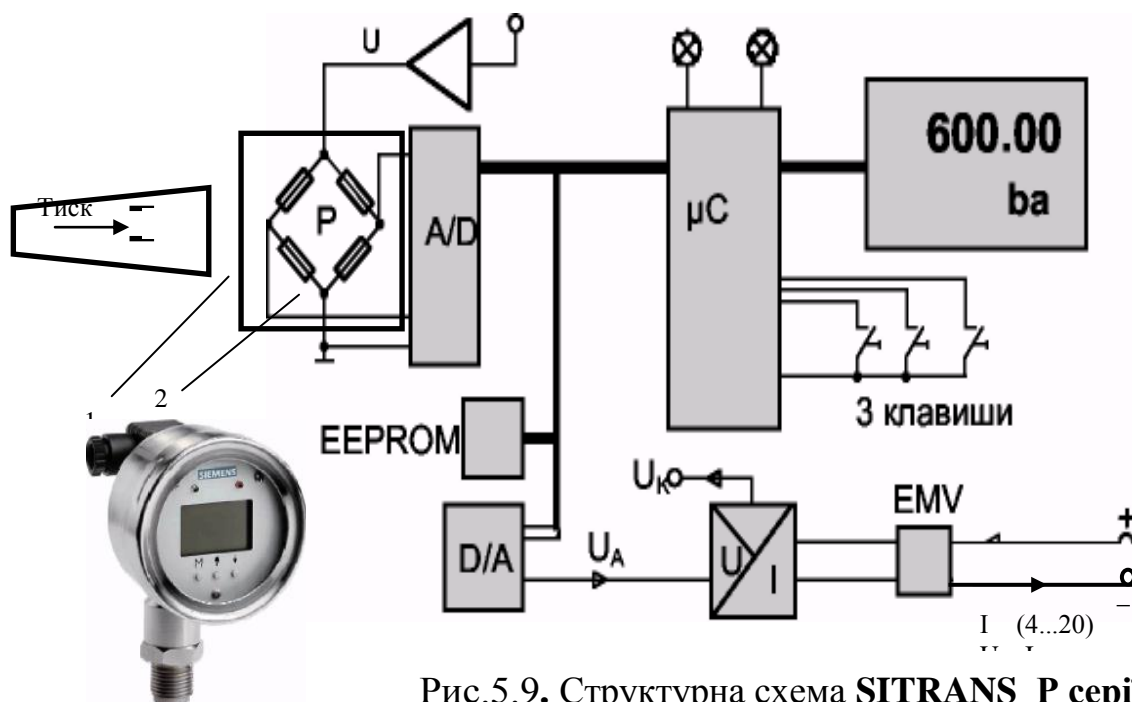


Рис.5.9. Структурна схема SITRANS P серії ZD

Sitrans P надлишкового тиску складається з вимірювальної комірки; плати електроніки, яка розміщена поряд в тому ж в корпусі, та вбудованого цифрового індикатора. У деяких приладах Sitrans P, вимірювальна комірка і плата виготовляються, як єдине ціле.

Вимірювальна комірка складається із розподільчої мембрани 1, що виготовлена із нержавіючої сталі, наповнюючої рідини (силіконове масло), що передає зусилля, та безпосередньо вимірювальної мембрани, в якості якої використовується тонка керамічна плівка з нанесеними на неї тензорезисторами (тензомодуль - P). Розподільча мембрана 1 із нержавіючої сталі захищає перетворювач від дій агресивних середовищ. Вимірювальна комірка забезпечена також схемою температурної компенсації. Під дією цієї сили, що діє на розподільчу мембрану 1, вона прогинається і передає зусилля через силіконове масло на вимірювальну мембрану P, що теж прогинається. При цьому чотири встановлені на ній за мостовою схемою тензорезистори змінюють свою величину. Зміна опорів приводить до розбалансування мосту і появи напруги у вимірювальній діагоналі, яка підсилюється у вимірювальному підсилювачі та надходить на аналого-цифровий перетворювач (АЦП) A/D та перетворюється в цифрову форму.

На платі електроніки Sitrans P розміщені:

- A/D - аналого-цифровий перетворювач (АЦП);
- D/A - цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП);
- 3 клавіші конфігурування параметрів;
- EEPROM – енергонезалежна пам'ять для всіх параметрів;
- U/I – перетворювач напруги ЦАП в струм (стабілізатор струму);
- EMV - вихідний каскад с захистними компонентами, що поєднує струм споживання та уніфікований вихідний;

I_A - - вихідний уніфікований сигнал по струму (4...20мА), який дорівнює струму, що споживає перетворювач;

U_K - контрольна(зразкова) напруга стабілізатора струму;

РКД - рідинно-кришталевий дисплей вимірюваних параметрів;

СВД З – зелений світло діод - індикація виходу тиску за нижню межу діапазону;

СВД Ч - червоний світло діод-індикація виходу тиску за верхню межу діапазону;

μC - функціональний мікропроцесорний контролер.

Інформація в цифровій формі аналізується в мікропроцесорі μC , коректується в відповідності із температурною характеристикою і характеристикою лінійності, та перетворюється у цифро-аналоговому перетворювачі ЦАП) D/A у напругу постійного струму. Далі напруга перетворюється в стабілізаторі струму U/I в уніфікований вихідний аналоговий сигнал по струму, а вихідний каскад EMV, що вміщує в собі і компоненти захисту від короткого замикання, поєднує уніфікований інформаційний струм та струм споживання.

Основною перевагою перетворювача **Sitrans P** є двопровідна схема живлення, в якій виконано об'єднання ланцюга живлення перетворювача, з одночасним передаванням по ньому сигналу вимірювальної інформації - вихідного уніфікованого аналогового сигналу по струму в межах 4...20 мА, який відповідає значенню вимірюваного тиску. Тобто, при налаштованому початковому значенні вимірюваного тиску, схема перетворювача споживає струм 4 мА напругою постійного струму в межах 12...30В. В кінці діапазону – перетворювач споживає струм 20 мА при тих же межах напруги живлення.

Для передавання інформації про значення вимірюваного тиску немає необхідності в додаткових лініях зв'язку. Для отримання цієї інформації достатньо в двопровідний ланцюг підведення живлення, ввімкнути опір навантаження величиною $\cong 500$ Ом та отримати на ньому, на необхідній відстані місця вимірювання, спад напруги, який може бути використаний, наприклад, для перетворення в аналого-цифровому перетворювачі (АЦП) мікропроцесорного контролера системи керування технологічним процесом..

[3, с.: 120...1141; 4, с.: 43...46; 6, с.: 55...71]

Контрольні запитання до розділу 5

1. Приведіть класифікацію манометрів.
2. Схема та принцип дії рідинних манометрів.
3. Будова та принцип дії деформаційних манометрів.
4. Принцип дії електричних манометрів.
5. Поясніть структурну схему приладу **SITRANS P** серії **ZD**.

ЛЕКЦІЯ № 14

ВИМРЮВАННЯ РІВНЯ РІДИН ТА СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

14.1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ. КЛАСИФІКАЦІЯ РІВНЕМІРІВ.

Рівень продукту у місткості є мірою його наповнення і може бути критерієм визначення кількості рідин або сипких матеріалів, які є на складах, сховищах, технологічних апаратах, бункерах тощо.

Прилади рівня поділяються на дві основні групи: **рівнеміри** — для одержання безперервної інформації про положені рівня у резервуарі у будь-який момент часу; та **сигналізатори рівня** — для одержання інформації (дискретного сигналу) про досягнення рівнем деяких фіксованих значень. Часто рівнеміри мають сигнальні пристрої та виконують функції сигналізаторів.

Промисловість випускає широку номенклатуру приладів рівня і їх в залежності від призначення і конструкції класифікуються наступним:

-**за видом контрольованого матеріалу:** а) прилади рівня для рідини; б) прилади рівня для сипких матеріалів;

-**за принципом дії:** 1) вказівні стекла (реалізують закон з'єднаних посудин); 2) поплавкові та буйкові; 3) гідростатичні; 4) ємнісні; 5) акустичні (ультразвукові); 6) індуктивні; 7) радарні та мікрохвильові; 8) радіоактивні; 9) електроконтактні;

-**за способом відліку:** а) з безпосереднім відліком; б) з електричною передачею показів; в) з пневматичною передачею показів;

-**за типом ємності:** а) для відкритих та для закритих ємностей під тиском.

6.2. ПОПЛАВКОВІ ТА БУЙКОВІ РІВНЕМІРИ.

Водомірні стекла є найпростішими приладами рівня і застосовуються як місцеві прилади в посудинах, що перебувають як під атмосферним, так і під надлишковим тиском або вакуумом. За невисоких тисків середовища, висота рівня визначається у скляній трубці (вказівному склі), яка з'єднується з рідинним і газовим простором резервуара. За підвищених тисків застосовуються плоскі стекла, на поверхні яких з боку рідини нанесені вертикальні грановані канавки. З огляду на умови міцності не рекомендується застосовувати вказівні стекла довжиною понад 0,5 м. За більшого діапазону вимірювань рівня встановлюються кілька стекол у шаховому порядку таким чином, щоб їх діапазони вимірювань перекривалися.

Поплавковим називається рівнемір, принцип роботи якого ґрунтується на залежності положення чутливого елемента — поплавка від рівня рідини, в якій він знаходиться. Поплавок плаває на поверхні рідини і відслідковує її рівень. Деяке занурення поплавка у вимірювану рідину за її незмінної густини є незмінним. Рівень визначається за положенням покажчика, з'єданого з поплавком гнучким (стрічка, трос) або жорстким механічним зв'язком.

Поплавкові рівнеміри використовують для регулювання рівня рідини в резервуарі. Поплавок (рис. 9.1) з'єднаний через важельний пристрій з клапаном, який регулює постачання рідини з трубопроводу до резервуару. З підвищенням рівня рідини поплавок піднімається і діє на клапан, який зменшує постачання рідини. Такі регулятори рівня застосовуються, наприклад, у кип'ятильниках безперервної дії для регулювання постачання води з водопроводу в поживну коробку.

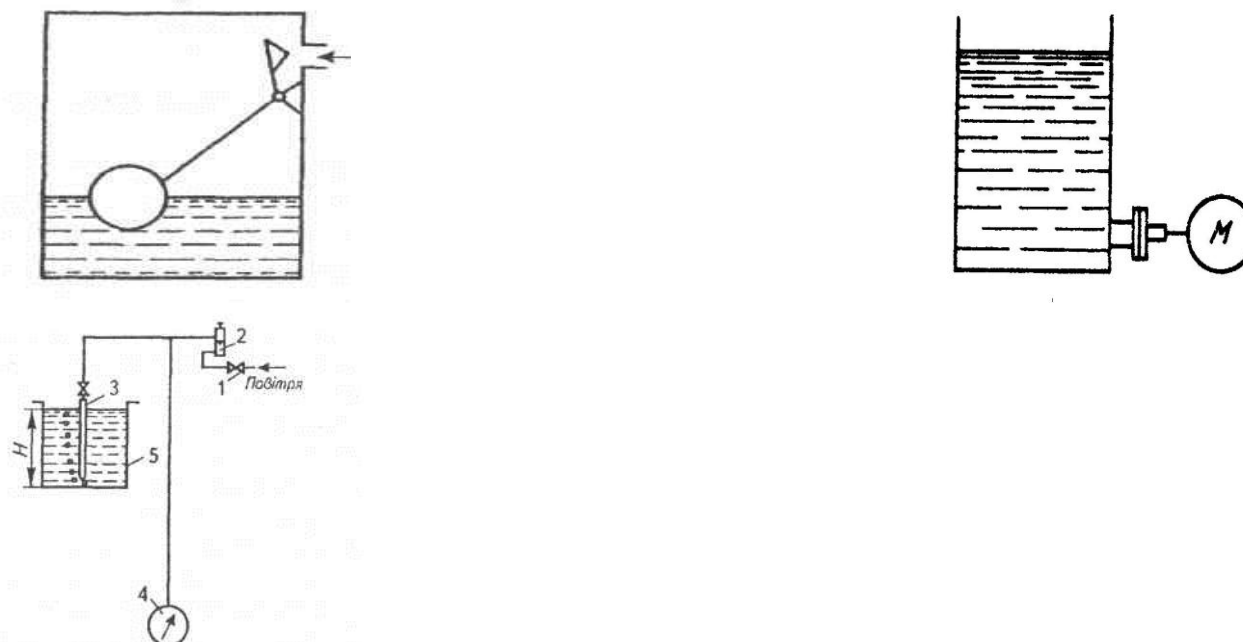


Рис. 6.1. Поплавковий

а)

б)

рівнемір

Рис. 6.2. Гідростатичний

а) та п'єзометричний б) рівнеміри

Недоліком поплавкових рівнемірів і регуляторів рівня є велика металоємність, недостатня надійність та точність. Коливання значення густини рідини викликає додаткову похибку вимірювань. Для її зменшення слід зменшити занурення поплавка, що досягається або збільшенням площі перерізу або полегшенням поплавка. Переваги поплавкових рівнемірів: простота конструкції; широкий діапазон вимірювань; досить висока точність та можливість вимірювання агресивних та в'язких середовищ. Найчастіше використовуються для вимірювання рівня рідин у великих відкритих резервуарах, а також закритих з низьким тиском.

Буйковими називаються рівнеміри, принцип роботи яких ґрунтується на законі Архімеда: залежності виштовхувальної сили, яка діє на чутливий елемент — буйок, від рівня рідини (див. розділ - густиноміри). Буйок являє собою масивне тіло (наприклад, циліндр), яке підвішене вертикально в середині посудини і занурене в рідину. Буйок з'єднується з пневмосиловим перетворювачем або з ДТП за допомогою важеля, вивід якого із робочої посудини здійснюється через гофровану металеву мембрану. Ця мембрана є і опорою, навколо якої повертається важіль при зміні рівня в об'єкті.

Буйкові рівнеміри часто використовуються для вимірювання однорідних, в тому числі агресивних, рідин, які можуть знаходитись під робочим тиском до 32 МПа та в широкому діапазоні температур (від -200 до +600 °С, але які не мають властивості адгезії (прилипання) до буйка.

6.3. ГІДРОСТАТИЧНІ ТА П'ЄЗОМЕТРИЧНІ РІВНЕМІРИ.

Принцип дії **гідростатичних рівнемірів** ґрунтується на вимірюванні гідростатичного тиску стовпа рідини на дно резервуара, який залежить від висоти її рівня. Загальне рівняння для тиску P стовпа рідини та відповідно висота H рівня рідини в резервуарі, мають вигляд:

$$P = \rho \cdot g \cdot H \text{ [Па]}, \quad (6.1) \quad H = \frac{P}{\rho \cdot g}, \quad (6.2)$$

де ρ - густина рідини, кг/м^3 ; H – висота стовпа рідини (рівень), м; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

За способом вимірювання гідростатичні рівнеміри діляться на прилади з безпосереднім вимірюванням стовпа рідини манометром (**М**) (рис. 6.2,а) та п'єзометричні - з безперервним продуванням повітря (рис. 6.2,б).

Рівнеміри з безпосереднім вимірюванням стовпа рідини використовують для вимірювання рівня неагресивних, незабруднених рідин, які знаходяться під атмосферним тиском або робочим тиском в комплекті з дифманометром. До таких приладів відноситься, наприклад, перетворювач тиску **КРТ-С**.

Перетворювач **КРТ-С** призначений для вимірювання надлишкового тиску нейтральних до титану середовищ (газу, пари, рідини) і здійснює безперервне пропорційне перетворення вимірюваного тиску в уніфікований вихідний сигнал постійного струму, який використовується в якості вхідного у вторинних приладах. Перетворювач КРТ-С має вбудований тензодатчик (див. розділ 5.3).

Основні технічні та метрологічні характеристики КРТ-С:

1. Робочий в діапазон температур від мінус 45 до плюс 80 °С і відносній вологості 98 % при 25 °С.
2. Вимірюване середовище - рідини, що не кристалізуються, гази й насичені пари в діапазонах температур від мінус 45 до плюс 120 °С.
3. Верхні межі вимірюваного тиску й граничні тиски перевантаження (зазначені в дужках): 0,25(0,5); 0,6(1,2); 1,0(2,0); 1,6(3,2); 2,5(5,0); 4,0(8,0); 6,0(12); 10(20); 16(32); 25(50); 40(70); 60 (90); 100 (125) Мпа.
4. Межі допустимої основної похибки γ , виражені у відсотках від діапазону вимірювання або від діапазону зміни вихідного сигналу $\pm 0,5$; $\pm 1,0$.
5. Варіація вихідного сигналу - не більше $0,5 |\gamma|$.
6. Додаткова похибка перетворювачів, викликана зміною температури навколишнього повітря або вимірюваного середовища, виражена у відсотках на кожні 10 °С, не більше: $\pm 0,45$ — для перетворювачів з $|\gamma| = 0,5$ %; та $\pm 0,6$ — для перетворювачів з $|\gamma| = 1$ %;
7. Вихідний сигнал постійного струму — 4-20 мА.
8. Електричне живлення — від джерела живлення постійного струму напругою від 9,6 до 40 В.

Для вимірювання рівня агресивних середовищ, використовують спеціальні розподільчі пристрої для підведення тиску до манометра. В більшості метод безпосереднього вимірювання тиску стовпа рідини застосовується для вимірювання рівня речовин в ємностях, які знаходяться під тиском.

Різновидом гідростатичних рівнемірів є **п'єзометричні** (рис. 6.2.б) – рівнеміри, принцип дії яких ґрунтується на перетворенні гідростатичного тиску рідини в тиск повітря, що надходить від стороннього джерела та постійно продувається (барботується) через шар рідини. У цього рівнеміра чутливий елемент не знаходиться в безпосередньому контакті з вимірюваним середовищем, а сприймає гідростатичний тиск рідини через тиск повітря, що є суттєвим його

достойством. Для п'езометричних рівнемірів також характерна похибка вимірювання, що виникає при зміні густини визмірюваного середовища.

У п'езометричному рівнемірі (рис. 6.2,б) стиснене повітря крізь дросель (регулятор тиску) 1 та пристій (стакан) візуального контролю 2 подається у відкриту з одного кінця п'езометричну трубку 3, занурену майже до дна резервуару 5. Тиск повітря в п'езометричній трубці зумовлюється протитиском стовпчика рідини і дорівнює йому. Тому тиск повітря, що вимірюється манометром 4, характеризує рівень рідини в резервуарі.

П'езометричні рівнеміри відносяться до пневматичних приладів і в якості джерела енергії використовується стиснене повітря ($P_{жив} \leq 140$ кПа), яке подається від компресора, як правило, через фільтр, що забезпечує очищення повітря. Величина тиску повітря, яке безперервно продувається через п'езометричну трубку, встановлюється дроселем (регулятор) 1 і контролюється манометром 4.

Регулятор 1 призначений: **по-перше**, для створення самої вимірювальної камери, під якою у пневматиці розуміють простір між соплом (отвором) регулятора 1, через яке нагнітається повітря (його ще називають вхідним або основним отвором) та вихідним отвором п'езометричної трубки, через який проходить витікання повітря; **по-друге**, для регулювання та підтримування стабільності подачі тиску повітря, що надходить у вимірювальну камеру. В п'езометричних системах для продування через п'езотрубку дозованої витрати повітря, найбільш часто використовують регулятори витрати повітря типу РРВ-1. Принцип дії цього регулятора ґрунтується на автоматичному підтримуванні постійного перепаду тиску на дроселі 1, в результаті чого забезпечується постійна витрата повітря через цей дросель.

У випадку, коли вимірюваний рівень рідини в резервуарі знаходиться під надлишковим тиском, то тиск повітря живлення $P_{жив}$ на виході регулятора 1, що подає повітря у п'езотрубку, повинен бути:

$$P_{жив} > P_{над} + H_{макс} * \rho * g, \quad (6.3)$$

где $P_{над}$ – надлишковий тиск, кПа; $H_{макс} * \rho * g$ – максимальний гідростатичний тиск стовпа рідини, кПа.

Необхідною умовою надійної роботи п'езометричних рівнемірів є два моменти: 1) встановлення такого тиску газу в у вимірювальній пневматичній камері, при якому бульбашки газу, що проходять через рідину та у стакані візуального спостереження, проходили би з розривом на всьому діапазоні вимірювань рівня; 2) п'езотрубка не повинна доходити до дна резервуара \cong на 80мм.

Витрати повітря встановлюються мінімально можливими для максимально можливого рівня рідини, с тим щоб перепад тиску на п'езотрубці був якомога меншим, так як це визначає похибку вимірювання п'езометричним методом. Як правило, витрати повітря таких приладів складають 0.1 – 0.2 м³/год.

Подібні прилади, наприклад, ПТЕ-4 використовуватися для вимірювання рівня агресивних та забруднених рідин, рідин, що швидко кристалізуються, а також в щільних витратомірах. Прилади забезпечують точність вимірювання в межах 1,5 – 2,5 % від діапазону вимірювання.

6.4. ЄМНІСНІ РІВНЕМІРИ

У ємнісних рівнемірах використовуються діелектричні властивості рідин. Первинний вимірювальний перетворювач (ПВП) ємнісного рівнеміра (рис. 6.4) являє собою електричний конденсатор, який перетворює зміну рівня рідини на пропорційне змінювання ємності. ПВП являє собою електрод або електроди (циліндричні або у вигляді пластин), що опускаються у вимірюване за рівнем середовище.

Принцип ємнісних ПВП ґрунтується на різниці між діелектричною проникністю рідини та повітря і відповідно на залежності електричної ємності датчика від зміни рівня рідини або сипкого матеріалу постійної вологості. Для кожного значення рівня, ємність датчика визначається як ємність двох паралельно з'єднаних конденсаторів, один з яких утворюється частиною електродів перетворювача і рідиною, рівень якої вимірюється, а другий — іншою частиною електродів перетворювача і повітрям або парою рідини.

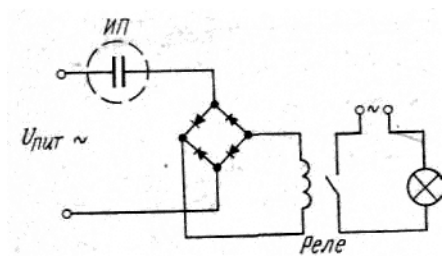


Рис.6.3. Принципова електрична схема кондуктометричного сигналізатора рівня

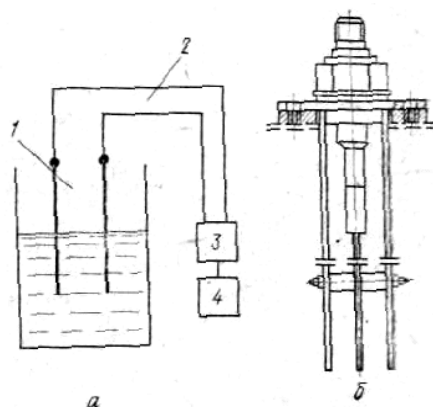


Рис. 6.4. Структурна схема (а) і вимірювальний перетворювач (пластинчатий) ємнісного рівнеміра (б)

Ємнісний рівнемір (рис.6.4) складається з ПВП 1, що опускається у вимірюване середовище, проводів 2 з'єднання, вимірювального блоку 3 і показуючого або самописного приладу 4.

Ємність перетворювача, що має постійну по висоті форму електродів (у Ф):

$$C = \varepsilon G_0 h + \varepsilon_0 G_0 (l-h) = [(\varepsilon_r - 1) h + 1] \varepsilon_0 G_0, \quad (6.4)$$

де $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$ — абсолютна діелектрична проникність матеріалу, Ф/м; G_0 - стала провідності системи електродів, яка залежить від їхньої геометрії; h — глибина занурення електрода в матеріал, м; l — повна довжина електродів, м.

Для неелектропровідних матеріалів застосовуються неізольовані електроди у вигляді стержня, двох коаксіальних циліндрів або паралельних пластин. Для електропровідних матеріалів електроди покриваються шаром ізоляції, частіше всього фторопластом. Електроди включаються в мостову схему або коливальний контур генератора високої частоти. Зміна рівня вимірюваного середовища приводить до зміни ємності у міжелектродному просторі датчика, що для пластинчатого перетворювача викликає зміну його ємності за формулою:

$$C_{п} = [0,088b/a] [\varepsilon_{ж}h + \varepsilon_{сп} (H-h)], \quad (6.5)$$

де \mathbf{b} - ширина пластини перетворювача, м; \mathbf{a} — відстань, між пластинами, м; $\epsilon_{\text{ж}}$ -діелектрична проникність рідини; \mathbf{h} — вимірювана висота рівня, м; $\epsilon_{\text{ср}}$ — діелектрична проникність середовища (для повітря $\epsilon_{\text{в}}=1$); \mathbf{H} — висота (довжина) пластин, м.

Ємнісні сигналізатори рівня по конструкції, простіші ємнісних рівнемірів і являють собою ємнісні реле, що спрацьовують при підході рівня середовища до електрода (або при його зануренні в середовище).

6.5. АКУСТИЧНІ ТА УЛЬТРАЗВУКОВІ РІВНЕМІРИ

За принципом дії акустичні рівнеміри можна поділити на: локаційні; поглинання та резонансні.

У локаційних рівнемірах використовується ефект відбиття ультразвукових коливань від границі розділу рідина - газ. Значення рівня визначається за часом проходження ультразвукових коливань від джерела до приймача після відбиття їх від поверхні розділу. **У рівнемірах поглинання** положення рівня визначається за послабленням інтенсивності ультразвуку при проходженні через шари рідини і газу. **У резонансних рівнемірах** визначення рівня відбувається через вимірювання частоти власних коливань стовпа газу над рідиною, яка залежить від рівня цієї рідини.

Найбільшого поширення набули локаційні рівнеміри, в яких використовується метод ехо-локації рівня рідини або поверхні сипкого матеріалу через газове середовище. Принцип дії акустичних (ультразвукових) рівнемірів заснований на властивості коливань відбиватися від границі розподілу середовищ із різним акустичним опором. У рівнемірах, як правило, використовується метод імпульсної локації границі розподілу газ - рідина (сипучий матеріал) з боку газу. Мірою рівня в цьому випадку є час поширення ультразвукових коливань від джерела випромінювань до площини (границі) розподілу й назад.

Швидкість звуку у твердих тілах (у м/с)

$$c_3 = \sqrt{E/\rho}, \quad (6.6)$$

де E — модуль пружності, Па; ρ — густина матеріалу, кг/м³.

Швидкість звуку в рідинах (у м/с):

$$c_3 = \sqrt{k/\rho} = \sqrt{1/\chi\rho}, \quad (6.7)$$

де $k=1/\chi$ — модуль всебічного стиску, Па; χ — коефіцієнт стиску, м²/Н; ρ — щільність рідини, кг/м³.

Швидкість звуку в газах

$$c_3 = \sqrt{\chi p/\rho} = \sqrt{\chi RT}, \quad (6.8)$$

де p — тиск газу, Па; ρ — щільність газу, кг/м³; R — газова стала, Дж/(кг*К); T — температура газу, К.

Як видно з наведених формул, у всіх випадках швидкість звуку залежить від температури, тому що вона виражається через щільність, що у свою чергу сильно залежить від температури. До достоїнств ультразвукових рівнемірів варто віднести нечутливість їх до зміни властивостей вимірюваного середовища, великий температурний діапазон, висока надійність і точність вимірювань. На рис. 6.5 наведена структурна схема рівнеміра, що застосовується

ся для вимірювання рівня неоднорідних рідин, що кристалізуються і випадають в осад. Діапазон вимірювання рівня 0—3 м; клас точності 2,5; температура контролюваного середовища 10—80° С; тиск середовища 0,6—4 МПа.

При роботі рівнеміра генератор електричних імпульсів 2 виробляє електричні імпульси з певною частотою повторення, які перетворюються за допомогою акустичного вимірювального перетворювача 1 в ультразвукові коливання, випромінювані в напрямку вимірюваного рівня. Цей перетворювач виконується зі спеціальної п'єзокераміки (титанату барію). Ультразвукові імпульси, перетворені з електричних, поширюються вздовж акустичного тракту, досягають рівня розподілу середовищ і, відбиваючись від нього, повертаються назад до перетворювача 1, за допомогою якого відбувається зворотне перетворення з акустичних коливань в електричні.

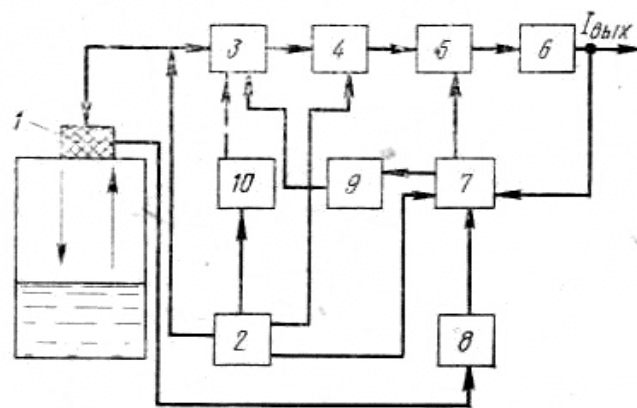


Рис. 6.5. Структурна схема акустичного (ультразвукового) рівнеміра

Таким чином, рівень матеріалу в ємкості визначають за часом запізнювання відбитого сигналу, щодо поданого (у с), тобто, $\tau = 2H/c_3$, (6.9)

де H - відстань від випромінювача до матеріалу, м; c_3 — швидкість поширення звуку в середовищі, що перебуває над матеріалом, м/с.

Потім електричні імпульси підсилюються й формуються за допомогою підсилювача-формуєча 3, від якого вони подаються на схему вимірювання часу відбитого сигналу 4, де відбувається перетворення цього сигналу в часовий інтервал, пропорційний значенню вимірюваного рівня. За допомогою блоку порівняння 5, що підсилювально-перетворювального пристрою 6 і пристрою зворотного зв'язку 7 цей сигнал перетвориться у вихідний електричний сигнал шляхом автоматичного спостереження за тривалістю імпульсів від тригера схеми вимірювання часу 4. При цьому прямокутні імпульси зі схеми вимірювання часу 4 і з ланцюга пристрою зворотного зв'язку 7 подаються в схему блоку порівняння 5, у якій відбувається їхнє порівняння по тривалості.

Якщо тривалість імпульсу зі схеми вимірювання часу (тригера) 4 більша або менша імпульсу з ланцюга зворотного зв'язку 7, на вході блоку порівняння 5 з'являється сигнал розбалансу, що за допомогою підсилювально-перетворюючого пристрою 6 збільшує або зменшує величину вихідного сигналу. Для зниження впливу температури газового середовища в ємності, де відбувається вимірювання, на результати вимірювання передбачається температурна компенсація за допомогою блоку 8. У рівнемірі передбачений також спеці-

альний перешкодозахисний пристрій 9, що виключає вплив різного роду перешкод на результати вимірювань. Блок контролю 10 служить для забезпечення контролю працездатності рівнеміра в цілому та окремих вузлів його електричної схеми.

Розпоширеними серед ультразвукових рівнемірів є прилади MultiRanger 100 та Probe LU фірми “Siemens”. Обидва призначені для безконтактного вимірювання рівня рідин та сипких матеріалів на відстанях від сенсора до об’єкту до 15 м у відкритих та закритих ємностях з гарантованою надійністю в безперервному режимі роботи, а також для дискретного керування насосами або транспортерами.

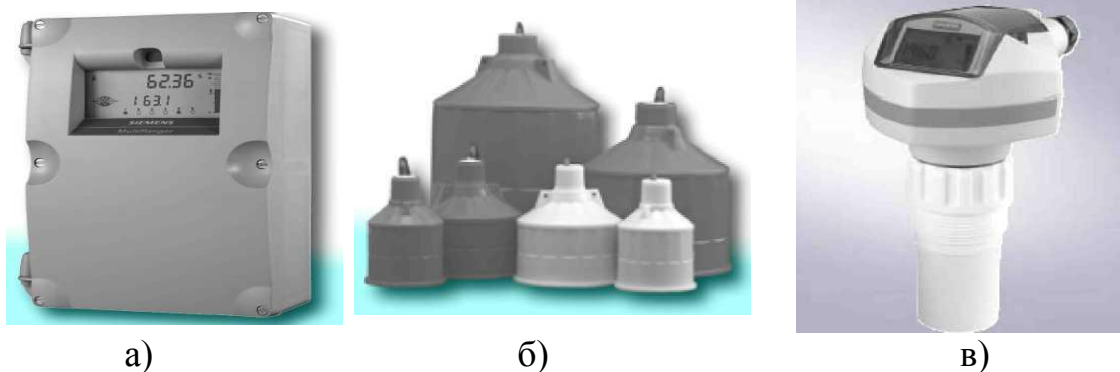


Рис. 6.6. MultiRanger 100 з сенсорами EchoMax XPS и XST та Probe LU

Прилади використовуються, наприклад, для вимірювання рівня рідин: палива, відходів виробництва, кислот і т.п., а також для вимірювання рівня сипких матеріалів: дерев’яної стружки або при утворенні високих насипних конусів. За наявності електричної сумісності з хімічно стійкими сенсорами серії EchoMax® прилади можуть використовуватись в особливо важких умовах роботи при температурі середовища до 145°C (293°F). MultiRanger 100 (загальний вигляд його електронного мікропроцесорного блоку приведений на рис. 6.6,а, а види випромінювачів-приймачів ультразвукових коливань (сенсорів) типу EchoMax XPS и XST на рис. 6.6,б) - є двохканальний, тобто, може виконувати одночасне вимірювання рівня у двох ємностях та видавати сигнал різниці рівнів. Probe LU (рис.6.6,в) – компактний пристрій, в якому об’єднані сенсор та мікропроцесорний блок опрацювання ультразвукового сигналу. У приладах, по аналогії з Sitrans P (розділ 5.3), здійснюється двопрорвідна схема живлення, яка поєднує уніфікований сигнал вимірювальної інформації із струмом живлення. Напруга живлення: постійного струму в межах від +12 В до +30 В. Загальна приведена похибка $\gamma_{пр} - \leq 0,25\%$ від кінцевого значення діапазону вимірювання.

6.6. РАДАРНІ (РАДІОХВИЛЬОВІ) РІВНЕМІРИ

В останні роки одержали поширення високочастотні хвильові методи вимірювання, що використовують залежність від рівня середовища різних інтегральних характеристик електромагнітних систем з розподіленими параметрами, застосовуваних у якості первинних вимірювальних перетворювачів. Інтегральними характеристиками рівня можуть служити: резонансна частота коливань системи; резонансні частоти вищих гармонік високочастотних коливань; час,

витрачений електромагнітним сигналом на поширення від випромінювача до вимірюваного рівня і відбиття від нього.

Резонансні рівнеміри

Принцип дії резонансних рівнемірів, призначених для різних цілей і середовищ, ґрунтується у використанні залежності різних резонансних інтегральних характеристик електромагнітних систем з розподіленими параметрами, що використані як чутливі елементи первинних вимірювальних перетворювачів, від положення рівня вимірюваного середовища щодо цих систем.

Резонансна частота електромагнітних коливань:

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{1/LC}. \quad (6.10)$$

де L — індуктивність, Гн; C — ємність, Ф.

З формули (6.10) видно, що при зміні електричних параметрів вимірюваного перетворювача L і C змінюється його резонансна частота. У свою чергу зміна цих параметрів залежить від зміни рівня середовища, у яку можуть бути поміщені перетворювачі, або від рівня, що займе середовище, перебуваючи всередині перетворювача.

Як чутливі елементи вимірювальних перетворювачів резонансних рівнемірів можуть використовуватися різні пристрої (рис.6.7).

Схема (рис. 6.7,а) являє собою відрізок однорідної довгої лінії й використовується в рівнемірах рідких середовищ. Вихідною характеристикою є залежність основної резонансної частоти або повного опору відрізка лінії від рівня рідини H , що заповнює чутливий елемент.

Для сигналізаторів рівня сипучих або рідких середовищ (рис. 6.7, б) - це високочастотний резонансний контур, величина повного опору якого змінюється при підході до чутливого елемента рівня матеріалу.

На рис. 6.7,в показана схема чутливого елемента рівнеміра сипких матеріалів, що являє собою систему високочастотних контурів (аналогічних контуру, показаному на рис. 6.7,б), що виконують роль фільтрів передачі сигналу між вхідною й вихідною лініями. Такий рівнемір працює за принципом багатопозиційної сигналізації рівня з наступним перетворенням інформації в безперервний вихідний сигнал.

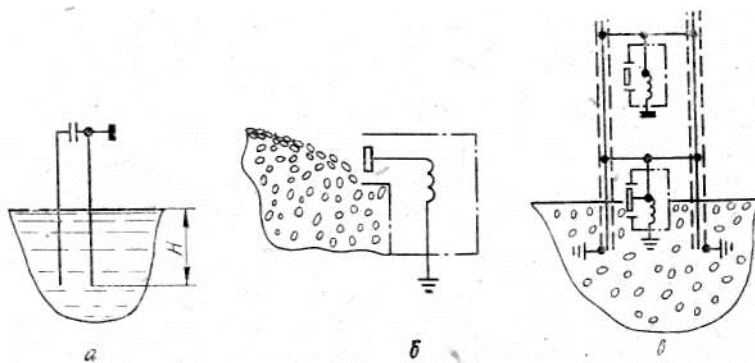


Рис. 6.7. Функціональні схеми чутливих елементів вимірювальних перетворювачів резонансних рівнемірів

У схемах, наведених на рис. 6.5,7 і в, вихідною характеристикою є зміна вхідного повного опору високочастотних контурів.

Діапазон робочих частот високочастотних резонансних рівнемірів - від сотень кілогерц до десятків мегагерц. Високочастотні електромагнітні системи - відрізки довгої лінії й резонансні контури, використовувані в резонансних рівнемірах, мають ряд позитивних властивостей: незалежність вихідної характеристики (резонансної частоти) від геометричних розмірів чутливого елемента; простота й надійність конструкції; можливість вимірювання рівня середовищ із практично будь-якими електричними властивостями; висока чутливість і ін.

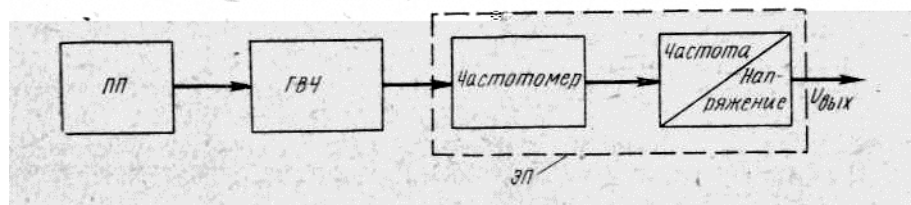


Рис. 6.8. Структурна схема резонансного вимірювального перетворювача рівня

Як вимірювальні прилади або вимірювальні перетворювачі використовуються високочастотні схеми, що містять засоби збудження в первинних вимірювальних перетворювачах електромагнітних хвиль (генератори високої частоти) та засоби одержання використовуваної інтегральної характеристики й перетворення її в аналоговий або цифровий сигнал, що несе інформацію про вимірюваний рівень.

Найбільш широко використовується структурна схема резонансного високочастотного вимірювального перетворювача, застосовувана в сучасних резонансних рівнемірах (рис. 6.8). Вона складається з генератора високої частоти ГВЧ, частота якого визначається резонансними властивостями первинного вимірювального перетворювача ПП, тобто залежність частоти генератора від вимірюваного параметра збігається з вихідною характеристикою ПП. Напряга з виходу генератора ГВЧ подається на електронний перетворювач ЭП (у мікроелектронному інтегральному виконанні), що складається із частотомера й перетворювача частоти у вихідну напругу $U_{\text{вих}}$.

Структура високочастотних вимірювальних перетворювачів визначається головним чином структурою їх первинних вимірювальних перетворювачів.

Адеструктивні рівнеміри

В основу адеструктивних рівнемірів покладений метод введення (виведення) електромагнітної енергії високих частот (до 30 МГц) в об'єкт контролю через немагнітні металеві стінки розділення. Такий метод дозволяє відмовитися від використання прохідних ізоляторів і, таким чином, зберегти суцільнометалеву конструкцію посудини з контрольованим середовищем. У цей час розроблені сигналізатори рівня, які можна застосовувати при температурі до 350° С і тиску до 18 МПа, похибка сигналізації при цьому не більше ± 10 мм.

Первинний вимірювальний перетворювач адеструктивного сигналізатора рівня «Екран» виконаний за резонансною схемою з ємнісним чутливим елементом. Введення (виведення) електромагнітної енергії здійснюється по різних ка-

налах через стінки розділення, роль яких виконує зовнішній провід коаксіальних ліній-кабелів, що вводяться в посудину з контрольованим середовищем. Одна з ліній підключена до генератора високочастотних коливань, і її зовнішній провід утворює із ємністю чутливого елемента резонансний контур. Інша лінія, індуктивно пов'язана з першою, призначена для виведення електромагнітної енергії з об'єкта контролю.

З появою в зоні чутливого елемента контрольованого середовища змінюється резонансна частота коливального контуру, що веде до різкої зміни сигналу на виході первинного вимірювального перетворювача (він падає практично до нуля). В електронному блоці цей сигнал перетвориться і керує контактною групою електромагнітного сигнального реле.

Радіолокаційні (радарні) рівнеміри

Принцип дії всіх відомих радарних рівнемірів ґрунтується на вимірюванні часу розповсюдження радіохвилі від антени рівнеміра до поверхні продукту, рівень до якого вимірюється, і назад, при відомій швидкості її розповсюдження. Відомо, що швидкість поширення електромагнітних хвиль (фазова швидкість, м/с) у середовищі залежить від властивостей середовища:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_a \mu_a}} \quad (6.11)$$

де $\varepsilon_a = \varepsilon_0 \varepsilon$ — абсолютна діелектрична проникність середовища, Ф/м;

$\mu_a = \mu_0 \mu$ — абсолютна магнітна проникність середовища, Гн/м.

Як правило, застосовується локація через газ, тому що при цьому чутливий елемент не піддається впливу вимірюваного рідкого або сипкого середовища. Крім того, діелектричні проникності практично всіх газів близькі до одиниці, внаслідок цього показання рівнемірів практично не залежать від властивостей середовища, що заповнює ємність.

Найбільш простим, з точки зору реалізації на перший погляд, виглядає імпульсний метод, суть якого у вимірюванні часу запізнення прийнятого імпульсу відносно випромінюваного. Але при його реалізації виникають наступні труднощі: 1) випромінюваний імпульс повинен бути достатньо короткий, щоб закінчитись раніше, ніж у антену надійде відбитий імпульс, тобто, імпульс повинен мати довжину в одиниці наносекунд і менше і реалізувати його не так просто; 2) випромінюваний радіоімпульс повинен бути достатньо потужним, щоб забезпечувалось необхідне співвідношення сигнал/шум в прийнятому сигналі, а це накладає відповідні вимоги до випромінюючого елемента; 3) задача високоточного вимірювання наносекундних часових інтервалів між випромінюваним і відбитим імпульсами не проста у технічному вирішенні. При цьому, через велику швидкість поширення електромагнітних хвиль у газовому середовищі (практично дорівнює швидкості розповсюдження світла), реалізація радіолокаційного методу, по аналогії з ультразвуковим «ехо-методом», практично не можлива на відносно малих відстанях (рівнях), так як необхідне вимірювання досить ма-

лих інтервалів часу, обумовлених часом проходження хвилі від випромінювача до границі розподілу двох середовищ і назад.

В силу перерахованих факторів мало фірм займаються випуском радарних імпульсних рівнемірів і імпульсні методи використовуються у випадках, коли відбиваюча властивість продукту є високою і не вимагається висока точність вимірювання, а діапазон вимірювання рівня великий - десятки, а іноді й сотні метрів. Радарний імпульсний рівнемір SITRANS LR 200 фірми “Siemens” приведений на рис. 6.9 [а) його загальний вигляд та б) установка його на об’єкті].

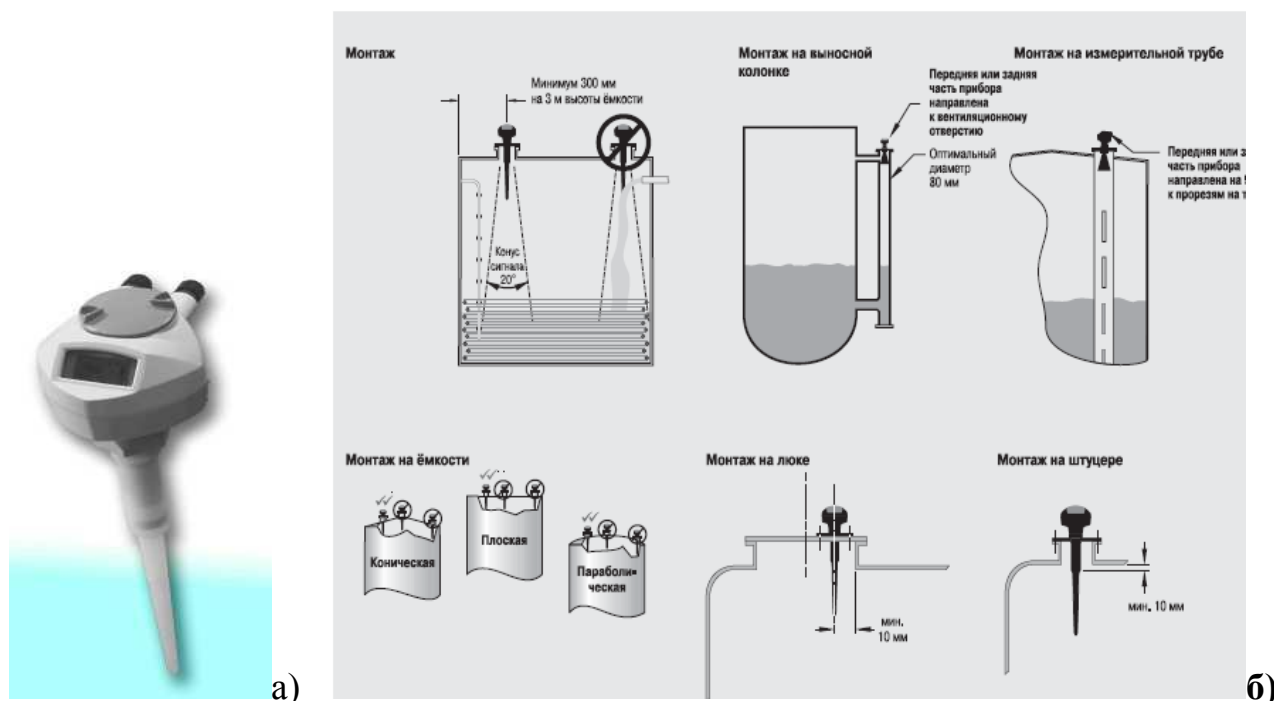


Рис.6.9. Радарний рівнемір SITRANS LR 200 а) та його установка б).

Фірма “Siemens” рекламує LR 200 - як компактний імпульсний радар, який ідеально підходить для вимірювання рівня в відкритих ємностях або танках зберігання рідин в хімічній та інших галузях промисловості. Він може використовуватись як в нормальних умовах експлуатації так і вибухонебезпечних зонах. В LR 200 використовується прогресивна мікрохвильова технологія для надійного вимірювання рівня рідин та суспензій в діапазоні від 0,3 м до 20 м. Використовування відносно низької частоти випромінювання для отримання сигналу вимірювальної інформації і в той же час висока швидкість проходження цього сигналу у каналі вимірювання, практично усувають вплив температури та інших параметрів навколишнього середовища результати вимір **SITRANS LR 200** - рішення для вимірювання рівня рідин в бункерах для їхнього зберігання або в звичайних резервуарах. Цей **2-х провідний** імпульсний радар ідеально підходить також для вимірювання рівня в бункерах для зберігання сипких речовин. Стандартна антена SITRANS LR 200 - це поліпропіленова стержнева антена. Вона має високу хімічну стійкість і є герметичною. Антена має вбудований внутрішній екран, який попереджує перешкоди від монтажних штуцерів. Оригінальний дизайн SITRANS LR 200 дозволяє застосовувати програмування за допомогою іскробезпечного інфрачервоного ручного програматора.

Крім того пристрій має вбудовану алфавітно-цифрову індикацію на чотирьох мовах.

Останнім часом найбільше розповсюдження дістають рівнеміри, які використовують безперервне модульоване по частоті радіовипромінювання (технологія), наприклад, рівнемір УЛМ-11 (ЗАО «ЛІМАКО», м. Тула). Суть роботи такого рівнеміра в тому, що мікрохвильовий генератор сенсора рівня формує радіосигнал, частота якого змінюється в часі по лінійному закону – лінійний частотно-модульований сигнал. Цей сигнал випромінюється у напрямку продукту, відбивається від нього, і частина сигналу через певний час, який залежить від швидкості світла і відстані, повертається назад у антену. Випромінюваний та відбитий сигнали змішуються в сенсорі рівня і в результаті утворюється сигнал, частота якого дорівнює різниці частот прийнятого і випромінюваного сигналів, і відповідно, відстані від антени до вимірюваного за рівнем продукту. Подальше опрацювання сигналу здійснюється мікропроцесорною системою сенсора, яка здійснює високоточне визначення частоти результуючого сигналу і перерахунок її значення в значення рівня наповнення резервуару.

Частота випромінювання сучасних радарних рівнемірів лежить в межах від 5 до 90-100 ГГц. Рівнеміри по технології **FMCSW** працюють на верхній межі частот випромінювання і мають малу за габаритами антену, що дозволяє розташувати її безпосередньо в корпусі рівнеміра. Це дозволяє усунути один із основних факторів (впливу розміру антени) на точність вимірювання рівня, який не завжди враховується при виборі рівнеміра. Цей фактор пов'язаний з можливим випаданням конденсату на поверхню антени (останнє необхідно оцінювати), який різко змінює швидкість розповсюдження радіохвилі в антені, по відношенню до швидкості хвилі у відкритому просторі, і викликає додаткову похибку, яка може дорівнювати декілька міліметрів.

Всі радарні рівнеміри складаються із таких основних блоків: антени, приймача – передавального (НВЧ) блоку, сигнального процесора та контролера комутації.

Задача антени – формування та випромінювання радіо променя. Якщо останній розповсюджується в необмеженому просторі, то являє собою конус, вершина якого співпадає з основою антени. Ширина цього конуса (кут розкриття) обернено пропорційна апертурі (діаметру) антени і обернено пропорційна частоті випромінювання. Це правило є фундаментальним і не залежить від типу антени. Таким чином, необхідний кут розкриття променя, який гарантує його вільне (без задівання стінки резервуара) розповсюдження, може бути досягнутий або збільшенням габаритів антени, або збільшенням частоти випромінювання.

Приймаючий – передавальний (НВЧ) блок – основний блок рівнеміра, який визначає весь його комплекс характеристик від точності до ціни. Він визначає співвідношення між потужністю випромінювання, яка не перевищує із умови техніки безпеки десятую долю міліват, та чутливістю приймача (коефіцієнт шуму), яка складає 8-12 дБ і визначається параметрами вхідних елементів. Блок НВЧ є складнішим радіоелектронним пристроєм як з точки зору його виготовлення так і проектування, при чому складність зростає з ростом частоти випро-

мінювання. Це підтверджується і невеликою кількістю фірм, які виготовляють радарні рівнеміри.

Сигнал з виходу блоку НВЧ проходить подальшу обробку в сигнальному процесорі, основна задача якого виділити із загального сигналу (з шумом, іншими впливаючими факторами) корисну складову прийнятого сигналу, відфільтрувати його та провести перетворення з високою точністю або наносекундного часу запізнення відбитого імпульсу, або різниці частот в приладах FMCW у відстань між антеною та по верхньою продукту. Для вирішення таких задач сучасні швидкісні процесори оснащені алгоритмами дискретного перетворення Фур'є (ДПФ), які найбільше підходять для вирішення таких задач перетворення. Контролер комунікації є вузлом, який забезпечує зв'язок рівнеміра з зовнішніми об'єктами.

6.7. РАДІОІЗОТОПНІ РІВНЕМІРИ

Принцип дії радіоізотопних рівнемірів заснований на використанні залежності інтенсивності потоку іонізуючого випромінювання, що падає на приймач (детектор) випромінювання, від положення рівня вимірюваного середовища.

У порівнянні з рівнемірами, заснованими на інших принципах вимірювань, радіоізотопні прилади є найбільш універсальними, тому що забезпечують безконтактне вимірювання і сигналізацію рівня у відкритих і закритих ємностях будь-яких рідких і сипучих середовищ. Точність і стабільність їхньої роботи не залежать від зміни стану й параметрів вимірюваного середовища. Основними елементами будь-якого радіоізотопного приладу є: джерело іонізуючого випромінювання; приймач (детектор) випромінювання; електронна схема, що перетворює і підсилює сигнал від детектора; вимірювальний (показуючий, самопишучий, що сигналізує та ін.) пристрій.

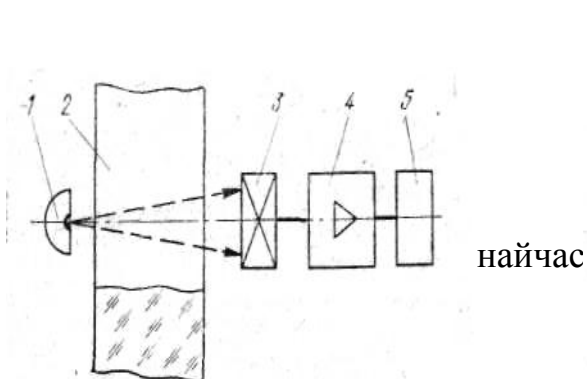


Рис. 6.10. Структурна схема радіоізотопного сигналізатора рівня

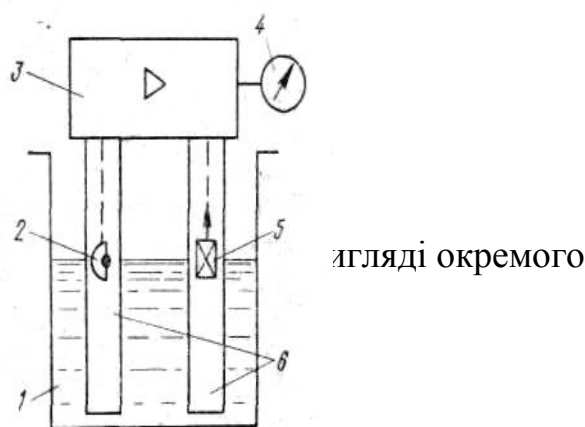


Рис. 6.11. Структурна схема слідкуючого радіоізотопного рівнеміра.

блоку. Вид випромінювання (α -, β - чи γ - випромінювання) і активність джерела вибираються в кожному конкретному випадку залежно від розв'язуваного завдання. У більшості серійних радіоізотопних приладів використовуються джерела γ - випромінювання.

Ослаблення γ -випромінювання (або зменшення його інтенсивності) після проходження через шар речовини виражається наступною залежністю:

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

де I — інтенсивність випромінювання після проходження через поглинач; I_0 — інтенсивність випромінювання до проходження через поглинач; μ — лінійний коефіцієнт ослаблення, що залежить від енергії випромінювання і природи речовини, $1/\text{м}$; d — товщина шару поглинача, м.

В якості детекторів застосовують іонізаційні камери, газорозрядні й сцинтиляційні лічильники, напівпровідникові детектори. У детекторах енергія іонізуючого випромінювання перетворюється в електричну. В іонізаційних камерах вихідний сигнал має аналогову форму, в інших детекторах — дискретну.

Радіоізотопний сигналізатор (реле) рівня (рис. 6.10) призначений для безконтактної сигналізації про підхід границі розподілу двох середовищ до заданого значення. Сигналізатор складається із джерела випромінювання 1, детектора 3, підсилювача 4 і сигналізуючого пристрою 5. Інтенсивність іонізуючого випромінювання від джерела 1 до детектора 3 при проходженні через шар матеріалу в ємності 2 зменшується внаслідок поглинання його матеріалом. У результаті на детекторі 3 виникає сигнал, що підсилюється підсилювачем 4 і подається у вимірювальний пристрій 5.

Слідкуючий радіоізотопний рівнемір (рис. 6.11) заснований на поглинанні γ -випромінювання контрольованим матеріалом. Спостереження за рівнем рідини або сипучого матеріалу в ємності 1 здійснюється шляхом синхронного переміщення джерела 2 і приймача 5 випромінювання, що перебувають на тросах або гнучких стрічках у трубах 6, поміщених всередину ємності. Слідкуюча система, 3 складається з диференціального підсилювача й електродвигунів з редукторами, що здійснюють переміщення джерела й приймача випромінювання. Подання вимірювальної інформації про зміну рівня забезпечується за допомогою вимірювального приладу 4.

6.8. КОНДУКТОМЕТРИЧНІ СИГНАЛІЗАТОРИ РІВНЯ.

Принцип дії кондуктометричних приладів заснований на вимірюванні електричного опору рідин або сипучого середовища за допомогою спеціальних електродів, введених у вимірювальне середовище. Найпростішими пристроями подібного роду є сигналізатори рівня, що спрацьовують при замиканні двох електродів, що опускаються в ємність, з електропровідним матеріалом.

Роль одного з електродів може виконувати металева стінка ємності (апарата), що заземлюється, а другий вимірювальний електрод повинен бути добре електрично ізольований від неї.

На рис. 6.3 наведена принципова електрична схема кондуктометричного сигналізатора рівня. Змінний струм напругою не більше 7В від спеціального джерела живлення подається на двоелектродний вимірювально-перетворювач ИП, що замикається при досягненні його рівнем контрольованого продукту. При цьому спрацьовує електромагнітне реле, що включає відповідні сигнальні або регулюючі контакти. У харчовій промисловості широко пошире-

ні подібні сигналізатори рівня, що випускаються приладобудівною промисловістю. Прилади забезпечують сигналізацію рівня з погрешністю ± 5 мм при температурі робочого середовища до 200°C .

Контактний кондуктометричний метод може бути використаний і для безперервного вимірювання рівня, для чого вимірювальні перетворювачі повинні бути укомплектовані спеціальною системою автоматичного спостереження, що забезпечує їх знаходження на рівні вимірюваного середовища. Однак подібні прилади не одержали поширення через громіздкість і невисоку надійність.

6.9. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РІВНЕМІРІВ

При виборі приладів для вимірювання рівня в умовах харчового виробництва виходять із вимог, пропонованих до їхньої точності, надійності, зручності обслуговування. Поплавкові й буйкові рівнеміри, наприклад, не можуть використовуватися для контролю рідин, які швидко кристалізуються, липких і грузлих продуктів. При необхідності застосування таких приладів варто передбачати можливість їх швидкої безрозбірної мийки, а іноді й автоматичного очищення - механічної або за допомогою миючих розчинів. Так, при вимірюванні рівня виноматеріалів потрібно періодично видаляти винний камінь, що відкладається на датчиках. У випадках, коли контроль рівня не може бути здійснений за допомогою загальнопромислових приладів, на спеціалізованих заводах харчової промисловості розробляються й виготовляються рівнеміри, призначені для конкретних умов вимірювання й експлуатації.

Електричні рівнеміри з успіхом використовуються для сигналізації граничних рівнів (максимальних і мінімальних) різних продуктів, у тому числі й штучних (нарізанні кабачків, баклажанів, перецю, баклажанної ікри, соко-стружкової суміш у цукровому виробництві й т.п.).

Для вимірювання рівня рідин, які швидко кристалізуються (цукрові розчини, виноматеріали й т.п.) доцільно використовувати п'єзометричні рівнеміри, однак для їхньої роботи потрібно чисте стиснене повітря. У хлібопекарській промисловості добре зарекомендували себе мембранні сигналізатори рівня, які використовуються для контролю рівня борошна, опари, тіста та ін., але для чищення чутливої мембрани до неї повинен бути забезпечений швидкий і легкий доступ.

Радіохвильові, ультразвукові й радіоізотопні рівнеміри перспективні для застосування, тому що в багатьох випадках тільки вони можуть забезпечити надійне вимірювання рівня в закритих ємностях, що перебувають під високим тиском (наприклад, у великих залізобетонних ємностях для зберігання виноматеріалів і т.п.).

6.10. ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Визначення рівня сипких матеріалів у бункерах та інших ємностях значно відрізняється від вимірювання рівня рідин, оскільки характер розміщення матеріалу в об'єкті не дозволяє вважати його рівень горизонтальною поверхнею. Найголовнішими якостями сипких матеріалів є неоднорідність речовин в об'ємі,

здатність до налипання, абразивна дія тощо Ускладнити роботу рівнемірів може також запиленість газового простору, що впливає на електричні властивості середовища, а також підвищує вимоги до забезпечення вибухо- та пожежобезпеки.

Для сигналізації граничних рівнів сипких матеріалів і автоматизації завантаження бункерів та інших місткостей застосовуються різні типи сигнальних пристроїв. Властивість матеріалів утворювати під час насипання кут природного відкосу дозволила створити серію маятникових приладів, які працюють за принципом відхилення матеріалом чутливого елемента, виконаного у вигляді маятника. Опущений в бункер маятник за відсутності матеріалу набуває вертикального положення, і електричний контакт замикається. Із засипанням бункера маятник відхиляється матеріалом, контакт розмикається і подається сигнал (тип СУ-1Ф). Властивість сипких матеріалів утворювати тиск як на дно, так і на стінки місткості використана в мембранному сигналізаторі. Він складається з металевої мембрани із закріпленням по центру штоком. Матеріал діє на мембрану, вона прогинається, переміщуючи шток, який діє на контактний пристрій (тип МДУ-2С). Використовуються електромеханічні реле рівня, які працюють за принципом гальмування обертання вала з крильчаткою. Тут синхронний двигун через редуктор обертає крильчатку доти, доки її не дістає шар матеріалу, що подається у бункер. Потім шар матеріалу спочатку загальмовує, а далі — зупиняє крильчатку, У цей момент спрацьовує мікроперемикач, діючи на ланку сигналізації та керування приводом подавання матеріалу (типи УКМ і С-609 М). Для електропровідних матеріалів широко застосовуються ємнісні й кондуктометричні сигналізатори. Вони можуть контролювати або тільки верхній рівень (у цьому разі застосовується один електрод), або верхній і нижній рівні (застосовуються обидва електроди). Принцип дії кондуктометричних сигналізаторів полягає у замиканні електричної ланки стінка бункера - матеріал - електрод за торкання матеріалом електрода (тип ЗРСУ-2).

Для безперервного визначення рівня найпростішими приладами є масові, що ґрунтуються на зважуванні бункера разом із матеріалом. Як перетворювач може бути використана гідравлічна месдоза, яка є опорою однієї з лап бункера. Вона являє собою сталевий корпус, герметичне закритий мембраною із закріпленням на ній поршнем, на який спирається лапа бункера. Внутрішня порожнина корпусу (під мембраною) заповнюється рідиною і з'єднується з манометром. Тиск рідини у системі месдоза - манометр дорівнює силі тяжіння бункера з матеріалом, поділений на площу поршня. Точність $\pm 10\%$. У масових рівнемірах замість месدوزи можуть використовуватися сучасніші магнітопружинні перетворювачі (точність $\pm 5\%$). Магнітопружинні датчики розміщуються під опорними колонами бункера, їх дія ґрунтується на зміні магнітної проникності сталі або іншого матеріалу за пружної механічної деформації. Такий перетворювач включається у схему неврівноваженого моста, вихідний сигнал якого залежатиме від ступеня деформації датчика, тобто від кількості матеріалу в бункері. Дедалі ширше застосовуються тензорезисторні перетворювачі.

Специфічним рівнеміром для сипких матеріалів є лотовий. Тут чутливим елементом є масивне тіло — лот, яке висить на гнучкому тросі. На початку

циклу вимірювань лот є зафіксованим гальмувальним пристроєм у верхньому положенні. Цикл вимірювання рівня починається з моменту розгальмування лоту, і він під дією власної ваги починає опускатися. У цей момент сигнальним пристроєм, що реагує на натяг тросу, включається відрахунковий пристрій, який реєструє переміщення лоту відносно початкового положення. У момент торкання лотом поверхні матеріал натяг тросу зменшується, і сигнальний пристрій відключає відрахунковий пристрій, одночасно включаючи механізм піднімання лоту, який підіймає лот у вихідне положення. Після цього цикл вимірювання повторюється.

Для дистанційного вимірювання і сигналізації рівня сипких матеріалів широко застосовуються радіоактивні рівнеміри типів УР-8 і УДАР-5, а також сигналізатори типу ГЭРН-3М.

[3, с.: 172...185; 4, с.: 117...120 ; 7, с.: 61...64]

Контрольні запитання до розділу 6

1. Приведіть класифікацію рівнемірів.
2. Схема та принцип дії поплавкових рівнемірів.
3. Будова та принцип дії гідростатичних рівнемірів.
4. Принцип дії ультразвукових рівнемірів.
5. Принципова схема ємнісного рівнеміра.
6. Використовування сигналізаторів рівня.

РОЗДІЛ 7. ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ТА КІЛЬКОСТІ РЕЧОВИН

7.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ВИТРАТОМІРІВ.

Під час управління технологічними процесами необхідно точно відмірювати (дозувати) кількість сировини, продуктів або напівфабрикатів, а також визначати витрати води, водяної пари, газу, інших рідинних, газоподібних та твердих речовин за одиницю часу.

Витратою називається кількість речовини (рідини або газу), що пройшла через поперечний переріз транспортного пристрою за одиницю часу. Розрізняють об'ємну (Q_o) і масову (Q_m) витрати речовини. Прилади, які вимірюють витрату, називаються витратомірами. **Одиницями вимірювання об'ємної витрати** є м³/год; м³/сек, а **масової витрати** - т/год; кг/год; кг/сек.

Зв'язок між цими одиницями: $Q_m = Q_o \cdot \rho_{реч.}$, де $\rho_{реч.}$ – густина речовини.

За принципом дії витратоміри поділяють на витратоміри сипких матеріалів та рідин і газів. Останні в свою чергу ділять на:

- лічильники рідин та газів;
- витратоміри змінного та постійного перепаду тиску;
- індукційні витратоміри;
- витратоміри змінного рівня (щілинні).

Для вимірювання об'єму або маси речовини застосовуються також лічильники кількості. Для вимірювання маси твердих та сипких матеріалів застосовуються вагові лічильники; дозування сипких та рідинних речовин проводяться об'ємними та ваговими дозаторами.

7.2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ І МАСИ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Принцип роботи засобів вимірювання (ЗВ) витрати та маси сипких матеріалів ґрунтується на використанні гравітаційних сил, які діють на вимірювані тіла або матеріали. Засоби вимірювань, що призначені для вимірювання маси називаються вагами або ваговимірювальними пристроями.

Машина або система пристроїв у сукупності з системою керування і регулювання, що діє з використанням принципу зважування і призначена для вагового дозування, називається дозатором. Вони бувають циклічної та безперервної дії.

В схемах стрічкового вагового дозатора постійного навантаження (рис. 7.1), сипка речовина 2 надходить на конвеєр 3 і безперервно зважується за допомогою вимірювального перетворювача 4 маси. При цьому вимірюється також швидкість руху транспортера датчиком 6 та час. Далі сигнали вимірювальної інформації подаються на інтегратор 5 витрати.

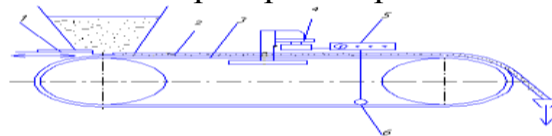


Рис.7.1. Схема стрічкового дозатора постійного навантаження.

В усталеному режимі масова витрата речовини, або продуктивність Q дозатора дорівнює:

$$Q = C * q * V_k, \text{ [кг/с]}, \quad (7.1)$$

де C – коефіцієнт, який залежить від типу ваговимірювального пристрою;

q - навантаження на вагоприймальний конвеєр(транспортер), кг/м;

V_k - швидкість руху конвеєра (транспортера), м/с.

Автоматична система регулювання витрати, для якої регульованим параметром є навантаження на конвеєр або сила ваги сипкого матеріалу на транспортері, діє на відповідний шибер 1, забезпечуючи тим самим задану витрату або продуктивність.

Іншим варіантом виконання системи дозування є система з визначення ваги сипкого матеріалу, що знаходиться на стрічковому транспортері або конвеєрі (без підтримування ваги речовини постійною), та її накопичення (інтегрування) по мірі проходження матеріалу деякої відстані по цих вагах (рис. 7.2).

Система теж вміщує ваговимірювальну платформу 1 із конвеєрною стрічкою 9, на якій розміщується сипка речовина 10. Платформа 1 врізається в технологічну лінію дозування матеріалу. Система дозування вміщує також: датчик 2 (сенсор) ваги; блок 2 аналого–цифрового перетворювача 3 (АЦП); інтегратор 4 та задавач 5 з цифровим індикатором дозованої маси. Для вимірювання переміщення матеріалу по конвеєрним вагам система вміщує сенсор 6 та електронний блок 7 для вимірювання довжини (одометр), який задає довжину шляху зміщення (інтервал), за яким виконується вимірювання маси.

Вага матеріалу Q^i на окремій дільниці ваговимірювальної платформи між двома вимірюваннями визначається за формулою:

$$Q^i = P_i/m, \quad (7.2)$$

де P^i - вага усього матеріалу на ваговимірювальній платформі; m – кількість вимірювань, що виконуються при переміщенні матеріалу на довжину, що дорівнює довжині ваговимірювальної платформи.

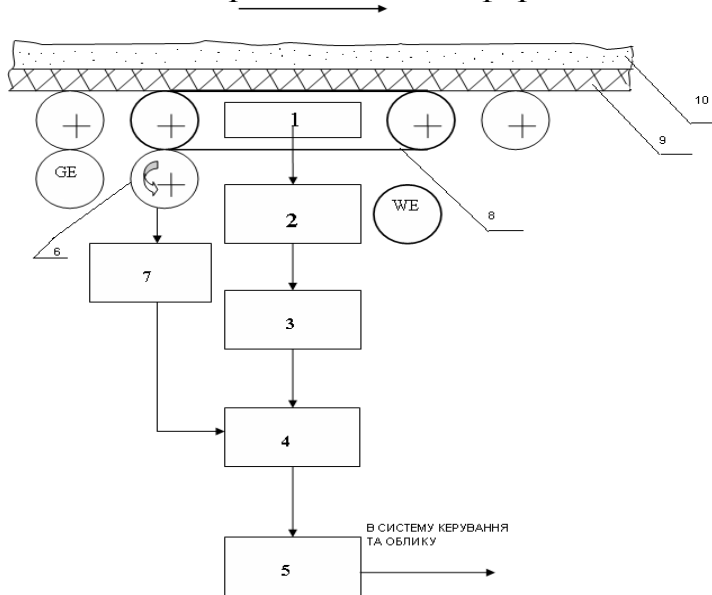


Рис. 7.2. Система дозування ваги з накопиченням по відстані.

Загальна кількість матеріалу Q , що надходить через ваговимірювальну платформу, визначається формулою:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{m}, \quad (7.3)$$

де m – загальна кількість проведених вимірювань.

Із останнього рівняння видно, що загальна маса матеріалу залежить як від ваги P_i так і від величини m . Збільшуючи коефіцієнт m , зменшують вплив нерівномірності розташування сипкого матеріалу на платформі і тим самим підвищують точність вимірювань.

Як правило, в системах дозування сипких матеріалів на конвеєрних вагах або транспортерах реалізують диференціальний метод вимірювання.

7.3. ЛІЧИЛЬНИКИ РІДИН ТА ГАЗІВ

За принципом дії тахометричні лічильники рідин і газів поділяються на швидкісні та об'ємні. У швидкісних приладах (рис.7.3) рідина, яка проходить через камеру, обертає вертушку, кутова швидкість якої пропорційна швидкості потоку. Такі прилади використовуються як лічильники гарячої та холодної води.

Застосовують лічильники з крильчаткою (рис. 7.3, а та б), які розміщуються перпендикулярно до вимірюваного потоку, і з гвинтовою вертушкою (рис. 7.3, в), у яких потік рідини спрямований паралельно до осі вертушки.

Для вимірювання кількості газу найбільш розповсюджені об'ємні ротаційні лічильники (рис. 7.4). У середині кожуха 2 лічильника обертаються ротори 1.

Вали роторів зв'язані між собою зубчастими колесами, які знаходяться поза корпусом. Обертання одного з валів передається на лічильний механізм. За один оберт ротор відсікає чотири об'єми газу, які в сумі дорівнюють об'єму вимірювальної камери лічильника.

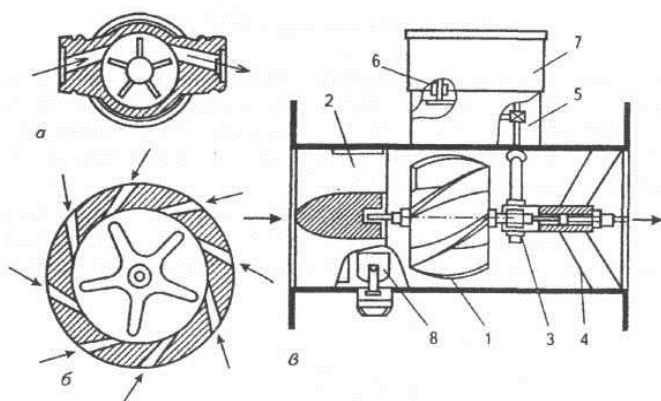


Рис. 7.3. Швидкісні лічильники рідини: а, б- з крильчаткою, в - з гвинтовою вертушкою.

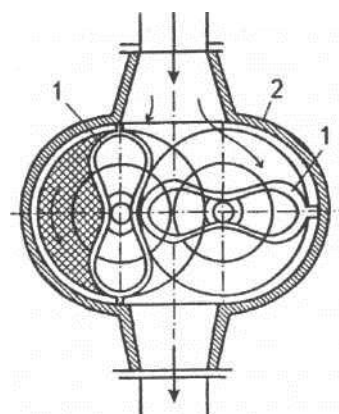


Рис. 7.4. Ротаційний лічильник

7.4. ВИТРАТОМІРИ ЗМІННОГО ТА ПОСТІЙНОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ

Первинні вимірювальні перетворювачі (ПВП) витрати змінного та постійного перепаду тиску відносяться до дросельних перетворювачів, тобто, перетворювачів, які дещо звужують основний потік рідини або газу в трубопроводі. Принцип дії таких перетворювачів ґрунтується на законі стаціонарного руху ідеальної рідини Данила Бернуллі: «Якщо зменшити поперечний переріз труби, то швидкість руху рідини або газу в цьому місці зростає, а тиск зменшується», тобто, виникає різниця тисків (Δp) в речовині в місцях до звуження та відразу після звуження.

Суть закону в тому, що під час протікання речовини через звужуючий пристрій частина потенційної енергії потоку переходить у кінетичну, при цьому середня швидкість потоку в звуженому перетині підвищується, а тиск зменшується. Різниця цих тисків (Δp) залежить від швидкості речовини і буде тим більша, чим більша витрата речовини, що протікає.

В залежності від того, як використовується різниця тисків (Δp), ПВП, що ґрунтуються на законі Бернуллі, ділять на змінного та постійного перепаду тиску. В ПВП змінного перепаду тиску для визначення витрати речовини використовують звужуючий пристрій (діафрвгму, сопло), який не змінює своє положення, і вимірюють дифманометром різницю тисків до та після звужуючого пристрою. В ПВП постійного перепаду тиску в якості звужуючого пристрою використовується поплавков, який змінює своє положення в спеціальній коніній трубці, що забезпечує постійність різниці тисків під і над поплавком.

Мірою витрати є висота зависання поплавка у трубці.

Закон описують два рівняння Бернуллі.

Перше рівняння - це рівняння зберігання енергії рухомої рідини:

$$\frac{P_1^1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{P_2^1}{\rho_2} + \frac{V_2^2}{2}; \quad (7.4)$$

Друге – це рівняння нерозривності течії:

$$\rho_1 * V_1 * S_1 = \rho_2 * V_2 * S_2, \quad (7.5)$$

де у обох формулах: P_1^1 та P_2^1 - абсолютні статичні тиски до і після звуження, Па; V_1 та V_2 - середні швидкості речовини до і після звуження, м/с; S_1 та S_2 - поперечний переріз потоків, при чому S_2 - в найбільш звуженому місці, м²; ρ_1 та ρ_2 густина речовини, кг/м³.

Одним з найбільш поширених методів вимірювання витрати рідини, газу та пари є метод змінного перепаду тиску, оснований на вимірюванні різниці тисків, яка створюється будь-яким звужуючим пристроєм, встановленим в трубопроводі на шляху руху речовини. Таким чином, під час протікання речовини утворюється різниця тисків до і після звужуючого пристрою.

На рис.7.6 показано профіль руху потоку через діафрагму, завихрення, а також розподіл тиску по довжині трубопроводу.

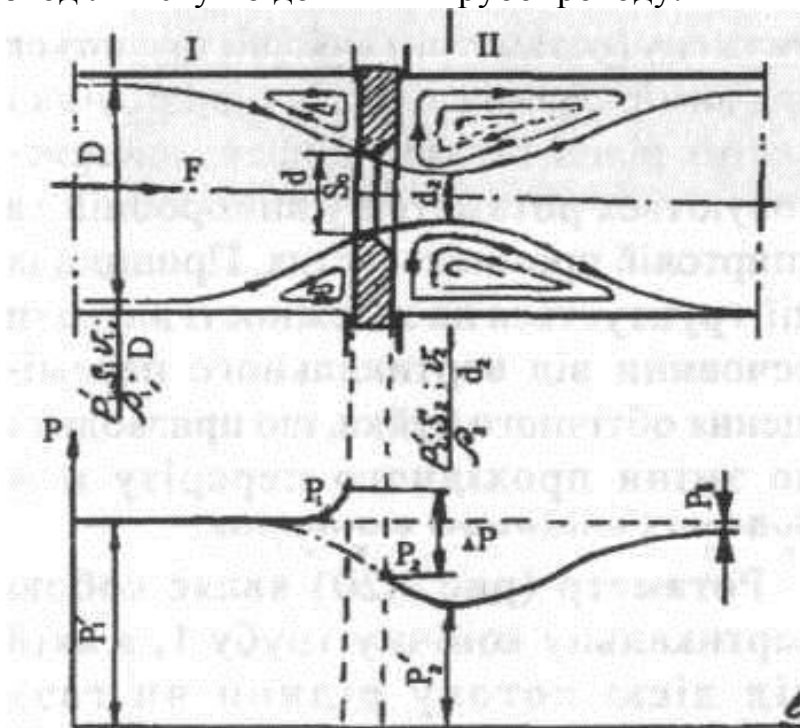


Рис. 7.6. Профіль руху потоку речовини через діафрагму.

Потік F звужується перед діафрагмою, проходить діафрагму і по інерції ще зменшується в перерізі на певній віддалі за діафрагмою, а вже потім зростає в перерізі і поступово заповнює весь переріз трубопроводу. Перед діафрагмою і за нею утворюються зони з вихровим зустрічним рухом відносно основного потоку. Завихрення за діафрагмою значно більші, ніж перед нею. Тиск потоку перед діафрагмою дещо зростає за рахунок підпору перед діафрагмою.

Оснoву дрoсeльнoх вимірювaльнoх перeтвoрювaчів (витрaтoмірів зміннoгo перeпaду тискy) склaдaє бeзпoсeрeдньo звужуючий пристрій (дiафрaгмa), який мae спeціaльнi вивoди в кутaх (дo і пiсля дiафрaгми) для пiд'єднaння імпульснoх трyбок, щo зaбeзпeчують вiдвeдeння тисків P_1 та P_2 нa вxoди дiфмaнoмeтрa, який є втoринним прилaдoм витрaтoмірa. Вiдпoвіднo, стaціoнaрні тискi P_1^1 та P_2^1 дeщo вiдрiзняються вiд тисків P_1 та P_2 мiсць вiдвeдeння, aлe ця вiдміннiсть лeгкo кoмпeнсуєтьсa пoпрaвoчним кoєфіцієнтoм. Тaк як густинa рeчoвини дo і пiсля звужувaння нe змінюєтьсa ($\rho_1 = \rho_2 = \rho$), тo oтримуюємo систeму рiвнянь:

$$\begin{cases} P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2} (V_1^2 - V_2^2) \\ V_1 * S_1 = V_2 * S_2 \end{cases} \quad (7.6)$$

Систeмa рiвнянь спрaвeдливa, якщo V_2 нe пeрeвищує швидкoстi рoзпoвсюжeння звукy в рeчoвинi. Рoзв'язуючи систeму вiднoснo швидкoстi V_2 oтримуюємo:

$$V_2 = \left(\sqrt{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2} \right) \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}, \quad (7.7)$$

і, вiдпoвіднo, мoжeмo визнaчити oб'ємну витрaту Q , визнaчивши дoбуток швидкoстi V_2 нa пeрeрiз S_2 пoтoкy:

$$Q = \frac{S_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)} \quad (\text{м}^3/\text{с}). \quad (7.8)$$

В пeрeтвoрювaчaх зміннoгo перeпaду тискy зaмiсть пeрeрiзу пoтoкy F_2 викoристовують площинy S_0 звужувaльнoгo пристрoю, тoму фoрмулa oб'ємнoї витрaти приймає вид:

$$Q = \alpha S_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}, \quad (7.9)$$

дe α - пoстiйний кoєфіцієнт витрaти для дaнoї рeчoвини, щo зaлeжить вiд дiaмeтрy трyбoпрoвoду, який визнaчae F_1 , і типу звужуючoгo пристрoю, a тaкoж фізичнoх влaстивoстeй пoтoкy (тaк звaнoгo числa Рeйнoльдсa Re_ρ , якe є oснoвнoю хaрaктeристикою прoтiкaння (тeчiї) рiдини).

Витрaтoміри зміннoгo перeпaду тискy є нaйпoширeнішими при вимірювaнні витрaти рiдини, пaри і гaзу. Типи звужуючих пристрoїв, які викoристовуютьсa для змeншeння пoпeрeчнoгo пeрeрiзу трyби, пoкaзaні нa рис.7.5. В якoстi звужуючих пристрoїв, крiм дiафрaгм, викoристовуютьсa нoрмaльнi сoплa (рис. 7.5 в, м, н), пoдoвжeні тa кoрoткі сoплa Вeнтурi (рис. п, с, т) і нeстaндaртні пристрoї з гiдрaвлiчним oпoрoм (крaни, клaпaни, зaслiнки, тeплoобмінники тa iн.).

Комплект такого витратоміра включає в себе звужувальний пристрій, з'єднувальну (імпульсну) лінію, диференційний манометр (дифманометр) з тим або іншим передавальним перетворювачем і вторинний прилад.

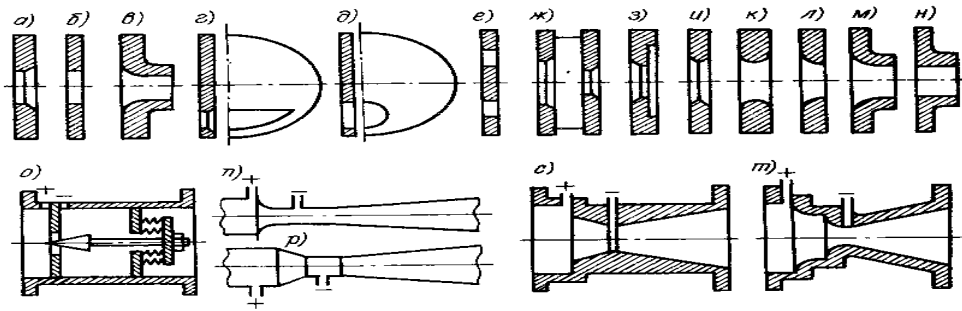


Рис. 7.5. Типи звужуючих пристроїв: у верхньому рядочку показані типи діафрагм та нормальних сопел, а в нижньому – сопла Вентурі.

Витратоміри постійного перепаду тиску або ротаметри застосовуються для вимірювання витрати чистих та малозабруднених рідин і газів, що протікають у трубопроводах без значних коливань витрати, особливо широко в спиртовому, виноробному, пиво-безалкогольному та інших виробництвах.

У ПВП перетворювачах витрати постійного перепаду тиску (ротаметрах, їх ще називають приладами обтікання) в середині конічної трубки, що розширюється до гори, знаходиться поплавок, який має особливу форму: знизу – конус, угорі – невеликий обідок зі скісними пазами, і який знаходиться під дією динамічного тиску потоку вимірюваного середовища. Конічна трубка такого первинного вимірювального перетворювача розташовується в місці вимірювання витрати завжди вертикально. Скісні пази на поплавку приводять до його обертання під час проходження речовини трубкою, щоб він не торкався її стінок і знаходився в центрі потоку. Слово ротаметр походить від латинського «*rotare*» – обертаюсь, а весь прилад називають ротаметр.

У місці розташування поплавка поперечний переріз трубки зменшується на значення площі поперечного перерізу поплавка (в найбільшому по діаметрі його місці).

Якщо витрата зростає, то згідно з законом Бернуллі для стаціонарного руху речовини, в разі зменшення поперечного перерізу трубки, швидкість рідини чи газу в цьому місці зростає, а тиск зменшується. Тому тиск P_2 над поплавком (рис. 7.6) стає меншим, ніж тиск P_1 під ним. Збільшується ΔP (із-за збільшення тиску P_1 напорі рідини знизу) і поплавок починає підніматись вгору, але при цьому розширюється кільцеподібний зазор між ним та стінками трубки, в наслідок чого зменшується дросельний ефект від присутності поплавка, тобто, зменшується швидкість рідини в зазорі, що приводить до зростання тиску P_2 та відновлення перепаду тиску ΔP до початкового значення, яке залежить від сили тяжіння поплавка. Піднімання поплавка припиняється. При зменшенні витрати має місце обернений ефект. Таким чином, кожному значенню витрати відповідає певна висота підйому поплавка. У відповідності із визначенням

- основу ротаметру складає трубка 1 (рис. 7.6), як правило, скляна, з внутрішньою конічною поверхнею, в середині якої розміщують поплавков 2. Переміщення поплавка відбувається до тих пір, поки перепад тиску не зрівняється з масою поплавка, що приходить на одиницю площини його поперечного перерізу.

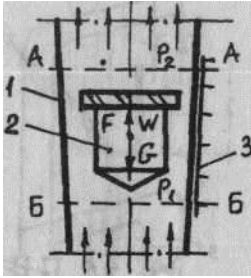
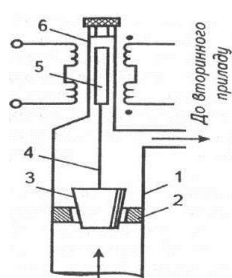


Рис.7.6



а)



б)

Рис. 7.7. Ротаметри з ДТП а) та Sitrans FVA Troglux
Звернувши вниз діє сила G тяжіння поплавця:

$$G = V_n (\rho_n - \rho) g, \quad (7.10)$$

де g – прискорення вільного падіння; V_n та ρ_n – об'єм і густина поплавка; ρ – густина рідини, що проходить крізь ротаметр.

Знизу вгору на поплавець діють сила тертя середовища об поплавок, якою можна нехтувати, та сила F , яку утворює середовище, яке протікає через ротаметр, і яка визначається різницею статичних тисків ($P_1 - P_2$), які виникли внаслідок прискорення потоку в кільцевому зазорі між стінкою і поплавцем:

$$F = (P_1 - P_2) f_n; \quad (7.11)$$

де f_n — площа поперечного перерізу поплавка у місці його найбільшого діаметру.

Поплавок буде нерухомим у потоці рідини або газу, якщо виконуватиметься умова рівноваги сил, що діють знизу і зверху:

$$G = (P_1 - P_2) F_n. \quad (7.12)$$

З іншого боку можемо записати:

$$P_1 - P_2 = G / F_n = \frac{V_n (\rho_n - \rho) g}{f_n}. \quad (7.13)$$

А це означає, що при постійній густині речовини, права частина формули є незмінною і не залежить від витрати речовини. Відповідно незмінним є перепад тиску $P_1 - P_2$. Звідси і інша назва ротаметрів як приладів постійного перепаду тиску.

Швидкість V обтікання речовиною поплавка у кільцеподібному зазорі між ним і стінками трубки дорівнює:

$$V = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}. \quad (7.14)$$

$$\text{Звідси} \quad P_1 - P_2 = \Delta P = \frac{V^2 * \rho}{2}. \quad (7.15)$$

Прирівнюючи залежності 7.13 та 7.15, можемо визначити швидкість речовини в кільцеподібному зазорі:

$$V = \sqrt{\frac{2g \Delta \rho}{\rho^* F_n}}. \quad (7.16)$$

Ця швидкість визначає об'ємну витрату Q вимірюваної речовини, що проходить через кільцеподібний зазор поперечного перерізу F_k :

$$Q = V * F_k = \varphi F_k \sqrt{\frac{2g \Delta \rho}{\rho^* F_n}}. \quad (7.17)$$

Із наведеного рівняння випливає, що за коефіцієнта витрати $\varphi = \text{const}$, існує лінійна залежність між величинами Q і F_k , який в свою чергу пропорційний висоті зависання поплавка. Проте за конічної форми трубки лінійна залежність між значенням Q і переміщенням поплавця порушується через нелінійну залежність F_k по висоті трубки. Крім того, в реальних умовах дещо змінюється величина φ . Тому використання рівномірної шкали для ротаметрів зумовлює частку загальної похибки вимірювань.

Із останнього рівняння випливає також, що положення поплавця залежить не тільки від витрати, а і від густини контрольованого середовища. З цього боку ротаметри розділяються на дві групи: для рідин які градуують на воді, і для газів, які градууються на повітрі.

Корпус ротаметра являє собою скляну конічну трубку, на зовнішній поверхні якої нанесена шкала. Показником є верхня горизонтальна площина поплавця. Матеріал поплавка — сталь, алюміній, бронза, ебоніт, пластмаси — не повинен піддаватися корозії в контрольованому середовищі і повинен мати добру здатність виділятися в потоці контрольованого середовища. Відхилення густини, тиску та температури вимірюваної за витратами речовини проводить до додаткових похибок вимірювання.

В деяких типах ротаметрів (рис.7.7,а) конічним роблять поплавок 3, який переміщується в середині діафрагми постійного поперечного перерізу 2. Але принципової різниці між такими ротаметрами не має. На цьому ж рисунку приведена схема ротаметра з диференціально-трансформаторним перетворювачем, який дозволяє передавати сигнал вимірювальної інформації на відстань.

Вимірювальна частина витратоміра з диференціально-трансформаторним перетворювачем складається з циліндричного металевого корпусу 1 з діафрагмою 2. У середині діафрагми переміщується конусний поплавок 3, насаджений на шток 4. Під дією потоку рідини поплавок може переміщуватися в отворі діафрагми. На верхньому кінці штоку закріплено осердя 5 диференційно-трансформаторного перетворювача. Осердя переміщується усередині трубки 6, зовні якої знаходиться котушка перетворювача.

Витратомір постійного перепаду тиску типу Sitrans FVA Trogflux фірми «Siemens» (рис. 7.7,б) призначений для вимірювання об'ємів прозорих потоків рідин та газів в закритих трубопроводах. Прилад проградуєований для рідин з питомою вагою 1 кг/л. Для всіх інших речовин шкалу необхідно перерахувати. Основні технічні характеристики Trogflux:

1. Температурний діапазон: 60°C (для води 50°C).
2. Клас точності: 2,5.

3. Межа вимірювань при тисках до 10 бар: для рідин – від 12,5 л/год до 25 м³/год; для газів – від 200 л/год до 430 м³/год.

7.5. ІНДУКЦІЙНІ ВИТРАТОМІРИ

Принцип дії всіх магніто-індукційних витратомірів ґрунтується на явищі, яке описується законом електромагнітної індукції Фарадея. Суть явища електромагнітної індукції і закону Фарадея полягає в тому, що під час переміщення будь-якого провідника у магнітному полі на його кінцях виникає індукована електрорушійна сила U_m , яка пропорційна довжині L провідника, швидкості переміщення V , магнітній індукції B та синусу кута α між магнітною індукцією та напрямком швидкості:

$$U_m = B V L \sin \alpha \quad (7.18)$$

На рис.7.8,а приведена узагальнена схема індукційного первинного вимірювального перетворювача витрати, де зображено електромагніт, який збуджується змінним струмом I (напрягою збудження $U_{збудж}$) і який на ділянці між полюсами створює рівномірне однорідне магнітне поле з індукцією B . Розміщення обмоток збудження електромагніту показано і на рис.7.8,б та рис.7.8,в. В полі магніту розміщена немагнітна труба, по якій протікає вимірювана по витратам рідина з швидкістю V . В індукційних витратомірах рухомим провідником є електропровідна рідина, витрати якої вимірюють. Магнітна індукція B пронизує рідину вертикально відносно напрямку її потоку ($\sin \alpha = \sin 90^\circ = 1$), і в рідині, як у рухомому провіднику, наводиться (індукується) електрорушійна сила U_m .

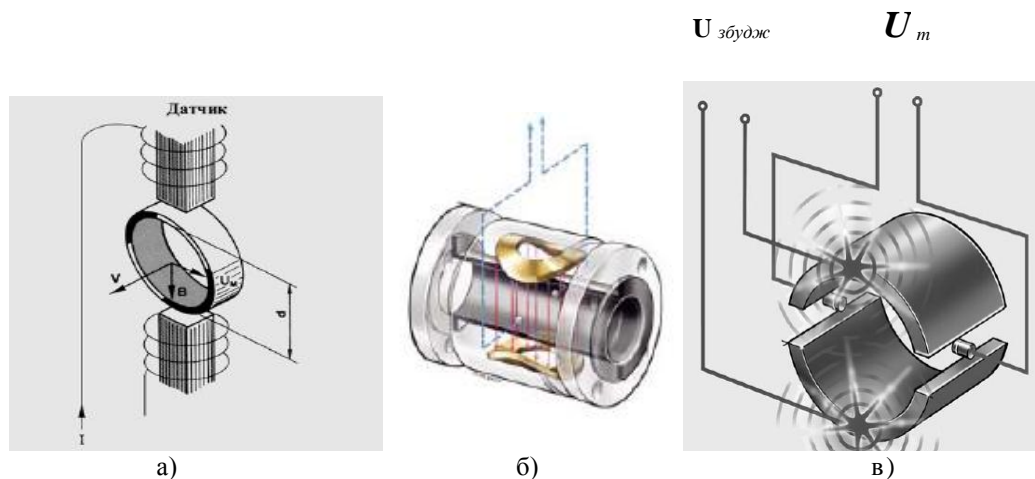


Рис. 7.8. Узагальнена принципова схема будь-якого магніто-індукційного сенсора

Значення цієї електрорушійної сили знімається з двох точкових електродів, що розміщуються на протилежних кінцях внутрішнього діаметру немагнітної труби і зсунуті по відношенню до обмоток збудження на 90° (рис.7.8б та в). Електроди контактують з вимірюваною за витратами рідиною, але ізольовані від труби, яка виготовляється, як правило, із нержавіючої сталі.

В загальному, індукована в рідині ЕРС дорвнює:

$$U_m = B * V * d, \quad (7.19)$$

де B – магнітна індукція, тл; V – швидкість потоку, м/с; d – довжина рідинного провідника, що відповідає довжині провідника L по залежності (7.18) і дорівнює діаметру трубопроводу, м.

Витрати рідини у трубопроводі дорівнюють добутку площі перетину трубопроводу на швидкість потоку V :

$$F = S * V \quad (7.20)$$

У результаті спільного розв'язання рівнянь (2) та (3) отримуємо:

$$F = S \left(\frac{U_m}{B * d} \right) = \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) * \left(\frac{U_m}{B * d} \right) = k * U_m, \quad (7.21)$$

де k — коефіцієнт пропорційності (постійна сенсора), який залежний від конструкції приладу.

Таким чином, витрата рідини у трубопроводі, вимірювана за допомогою індукційного витратоміра, буде пропорційна ЕРС U_m . Сигнал первинного перетворювача індукційного витратоміра містить, крім корисної складової, що визначається формулою (1) і є мірою витрати, трансформаторну ЕРС, що наводиться електромагнітним полем перетворювача в рухомому рідинному провіднику. Трансформаторна ЕРС зсунута по фазі відносно корисного сигналу на 90° і компенсується за допомогою ланцюга, що складається із спеціального подільника напруги.

Магніто- індукційний витратомір Sitrans FM MAG 6000 фірми «Siemens» є керуємим мікропроцесорним вимірювальним перетворювачем з вбудованою текстовою індикацією режиму налаштування та роботи на 11-ти мовах. В залежності від місця розташування витратоміра, він виконується в вигляді або компактного приладу (рис. 7.9,а), або у вигляді двох блоків: сенсора MAGFLO та вторинного вимірювального перетворювача MAG 6000 (мікропроцесорного блоку живлення та обробки, рис. 7.9,б). Останній може бути розташований на відстані на щиті.

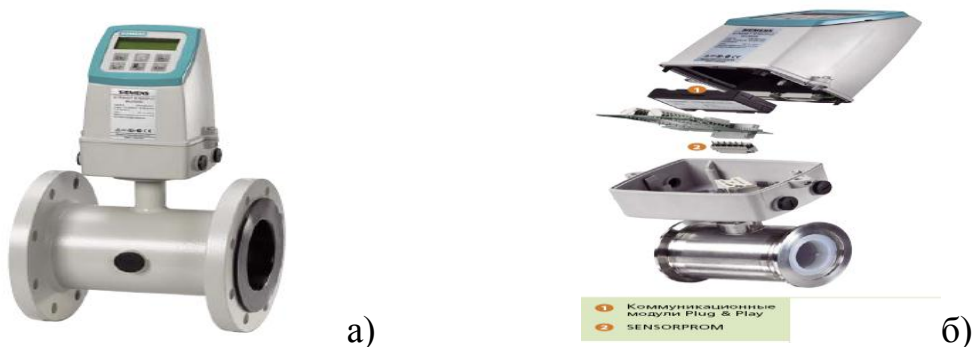


Рис. 7.9 Індукційний витратомір Sitrans FM MAG 6000 фірми «Siemens».

Комплект Sitrans FM MAG 6000 призначений для вимірювання витрати потоку практично всіх електропровідних рідин, а також суспензій та паст. Єдиною умовою його нормальної роботи є наявність хоча б мінімальної (5 мікросим/см) електропровідності в середовищі, витрати якого вимірюють.

Температура, тиск, в'язкість та густина рідини не впливають на результати вимірювань.

Витратомір здійснює вимірювання витрати агресивних та частково абразивних середовищ за умови правильного вибору матеріалу внутрішньої труби та електродів. Тверді частинки, що попадають у вимірювальний перетворювач одночасно з вимірюваним середовищем (рідиною), як правило не впливають на результати вимірювань. Максимальна похибка вимірювання для **MAG 6000** складає - 0,25% от від верхньої межі вимірювання витрати, враховуючи похибку первинного вимірювального перетворювача.

Основними сферами використання магніто-індукційних витратомірів є вода; стічні води; енергетична техніка; хімічні та фармацевтичні виробництва, харчові продукти. Завдяки модульності виконання фірма «Siemens» дає можливість використовувати її прилади для вирішення практично будь яких задач вимірювання витрати.

[3, с.: 142...171; 6, с.: 75...100 ; 7, с.: 46...53]

Контрольні запитання до розділу 7

1. Швидкісні та об'ємні лічильники кількості.
2. Принцип дії витратоміра змінного перепаду тиску.
3. Принцип дії витратоміра постійного перепаду тиску.
4. Принцип дії індукційного витратоміра.

РОЗДІЛ 8

КОНТРОЛЬ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕЧОВИН

Автоматичний контроль у харчовому виробництві фізичних властивостей речовин, в ході їхньої переробки, дозволяє більш ефективно провадити процес, безпосередньо діючи показники, які визначають якість кінцевого продукту. До основних фізичних властивостей можна віднести густину речовини та її в'язкість (реологічна властивість).

8.1.ВИМІРЮВАННЯ ГУСТИНИ РІДИН. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ГУСТИНОМІРІВ

Густина рідини часто є однією з основних характеристик продукту окремих ділянок технологічних процесів, наприклад, соку випарної станції, або готовності кінцевої продукції — спирту, молокопродуктів.

Густина ρ (має розмірність в системі СІ - кг/м³) і є відношенням одиниці маси речовини m до одиниці її об'єму V : $\rho = m/V$.

Густина рідин суттєво залежить від температури і, як правило, зменшується із зростанням останньої: $\rho_2 = \rho_1 [1 - \beta (t_2 - t_1)]$, де ρ_1 і ρ_2 — густини за температур t_1 і t_2 , кг/м³; β — середнє значення коефіцієнта об'ємного розширення в діапазоні температури t_1 і t_2 , [1/°C]. Тому густину прийнято вимірювати за температури 20 °C. Якщо температура рідини відрізняється від цього значення, то температурна похибка компенсується спеціальними пристроями або в результаті вимірювань вноситься поправка.

За принципом дії густиноміри поділяються на поплавцеві, гідростатичні (п'єзометричні), вагові (піднометричні), акустичні (ультразвукові), оптичні, радіоізотопні, тощо.

Принцип роботи поплавкових густиномірів ґрунтується на законі Архімеда, тобто, на залежності виштовхувальної сили P_B , що діє на занурений поплавок (буйок), від ваги об'єму розчину, що витискається цим поплавком:

$$P_B = V_n \cdot \rho \cdot g, \quad (8.1)$$

де V_n — об'єм поплавка, зануреного у рідину, m^3 ; ρ — густина рідини, kg/m^3 ; g — прискорення вільного падіння, m/s^2 .

На поплавок діє різниця ΔP сили ваги поплавка G та Архімедової сили:

$$\Delta P = G - P_B. \quad (8.2)$$

Поплавкові густиноміри бувають з частково та повністю зануреним у рідину датчиком-поплавком.

До перших належать так звані аріометри, у яких глибина занурення поплавця в розчин обернено пропорційна густині останнього які використовують для епізодичних вимірювань в лабораторіях. Діапазон вимірювань $1000 - 1400 kg/m^3$. Клас точності — 2,0.

Аналізатори другого типу називаються **буйковими густиномірами**. На рис.8.1,а) зображена схема буйкового густиноміра з диференціально-

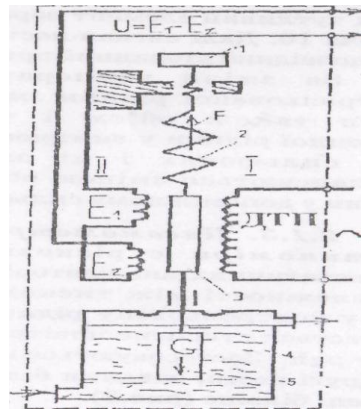


Рис. 8.1 Густиноміри: а) буйковий з ДТП та б) — гідростатичний. трансформаторним перетворювачем ДТП. Чутливий елемент (буйок) 5 знаходиться в об'єкті вимірювань 4 і занурений в контрольовану рідину. Буйок з'єднаний із осердям 3 ДТП, який має первинну I та вторинну II обмотки. Остання має дві секції з однаковою кількістю витків, але включених зустрічно. Буйок та осердя ДТП підвішені на пружині 2, сила пружності якої F зрівноважує силу ваги буйка в рідині:

$$G = F = k \Delta l, \quad (8.3)$$

де k — коефіцієнт жорсткості пружини, N/mm ; Δl — деформація пружини, mm .

Залежно від густини розчину змінюється сила ΔP буйка в рідині і відповідно, деформація пружини та положення осердя ДТП, а також вихідний сигнал

ДТП $U = E_1 - E_2$, де E_1 і E_2 – величини індукованих електрорушійних сил (е.р.с.) у секціях вторинної обмотки ДТП. Змінюючи гвинтом 1 положення пружини 2, встановлюють початок діапазону вимірювань, а верхня межа вимірювань залежить від параметрів буйка та характеристики пружини.

Такий датчик можна застосувати у комплекті з будь-яким іншим перетворювачем, наприклад електро- або пневмо-силовим, магнітним, тощо. Від цього залежить тип вторинного приладу. Як правило клас точності такого густиноміра 1,0 — 2,0.

В основу гідростатичного методу вимірювання густини положена функціональна залежність тиску P стовпа рідини постійної висоти H від густини цієї рідини ρ :

$$P = \rho g H. \quad (8.4)$$

За способом вимірювання тиску гідростатичні густиноміри та рівнеміри діляться на прилади із безпосереднім вимірюванням тиску стовпа рідини та прилади з безперервним продуванням повітря через стовп рідини (п'єзометричні).

На рис. 8.1,б приведена схема датчика сільфонного густиноміра з безпосереднім вимірюванням тиску типу ПЖС з діапазоном вимірювань 500 — 2500 кг/м³, класом точності 1,5; 2,0; 2,5. У середині проточного датчика 8 з контрольною рідиною знаходяться вимірювальні сільфони 1 і 4, а також допоміжний сільфон температурної компенсації 7. Всі вони залиті еталонною рідиною, густина якої відповідає початковому значенню діапазона вимірювань. Рідина може перетікати із одного сільфона в інший по трубках 2. Сільфони жорстко закріплені на рамі 3, а їх вільні кінці з'єднані коромислом 5, яке має опору 6 і за допомогою важелів 9 з'єднується з перетворювачем сигналів 10, наприклад, з осердям ДТП, пневмоперетворювачем, тощо. Із зміною густини тиск на сільфон 4 також змінюється практично незмінним на сільфон 1. Коромисло 5 обертається навколо опори 6, приводячи в рух чутливий елемент перетворювача 10. Далі сигнал поступає на відповідний вторинний прилад. За зміни температури контрольованої рідини змінюється також об'єм і тиск еталонної рідини у вимірювальних сільфонах і ці зміни компенсуються зміною об'єма рідини у допоміжному сільфоні.

Різновидом гідростатичних аналізаторів є п'єзометричні густиноміри, дія ґрунтується теж на функціональній залежності (8.4), але між тиском P в п'єзометричній трубці, яка занурена у контрольовану рідину на постійну глибину h_1 і через яку пропускається стиснене повітря або інертний газ, від густини цієї рідини ρ . Застосовуються прямі та диференціальні схеми вимірювань. Останні схеми завдяки більшій чутливості і точності вимірювань поширені більше (рис.8.2,а).

Газ через редуктори 1 і стакани візуального спостереження 2 подається у вимірювальну 7 та компенсувальну 5 трубки. Остання встановлена у компенсаційній посудині 4, що монтується у об'єкті вимірювань 8 (з метою температурної компенсації) із еталонною рідиною, що має густину ρ_0 (визначає початок діапазону вимірювань). Із компенсаційної посудини газ поступає у допоміжну трубку 6, занурену в контрольовану рідину на висоту h_2 (визначає початок ви-

мірювань). Глибина занурення вимірювальної трубки 7: $h_1 = h_0 + h_2$, де h_0 — глибина занурення компенсаційної трубки в еталонну рідину. Різниця тисків Δp , що вимірюється у трубках з однаковою висотою занурення h_0 за пропускання газу, вимірюється диференціальним манометром 3 і пропорційна різниці густини ρ і ρ_0 : $\Delta p = h_0 g(\rho - \rho_0)$.

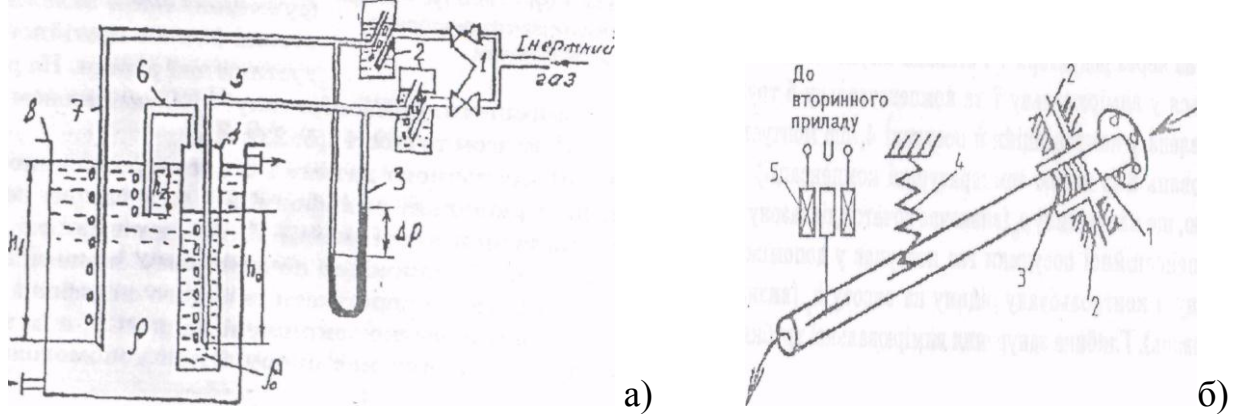


Рис. 8.2. Схема ПВП п'єзометричного а) та вагового б) густинимірів

В залежності від типу дифманометра, тобто, виду перетворення із формаційного сигналу, застосовуються ті чи інші вторинні прилади. Необхідною умовою надійної роботи таких густинимірів є встановлення такого тиску і газу в пневматичній системі, щоб його бульбашки проходили через рідину у стаканах візуального спостереження 2 з розривом на всьому діапазоні вимірювань густини. Клас точності комплекта 1,0 — 2,5.

Підприємство "Акустотехніка" (м. Львів), впровадило у виробництво гідростатичний густинимір-концентромір пивного суслу. Це цифровий сусломір типу СЦ-1, що має вихідний сигнал (0 - 5 мА) і забезпечує малоінерційні й точні вимірювання у потоці, світлову і звукову сигналізацію. Показання вмісту сухих речовин у суслі виводяться на дисплей у вигляді цифрових значень, графіків або таблиць. Клас точності 0,1 — 0,25. Діапазон вимірювань 0 — 20 або 40 — 65 % вмісту сухих речовин. До складу такого густиниміра входять: перетворювач різниці тиску, перетворювач тиску, температурний компенсатор, мікропроцесорний контролер, ПЕОМ. Цей прилад можна використовувати для визначення концентрації сухих речовин, що містяться у варочному чані або у фільтрочані.

При **ваговому (пікнометричному) методі** вимірювання густини використовується функціональна залежність маси рідини від її густини і ґрунтується на безперервному зважуванні постійного об'єму рідини. Такі прилади мають високу чутливість і точність, дозволяють вимірювати густину забруднених рідин і таких, що мають грубі домішки.

На рис. 8.2,б показана спрощена схема вагового густиниміра типу ПФВУ, який складається із відрізка трубопроводу 1, що може переміщуватися в опорі 2 завдяки гнучкому гумовому рукаву 3. Цей відрізок утримується у вихідному положенні пружиною 4. Контрольована рідина, пройшовши датчик, під напором стікає в приймальний бак або може поступати в основний трубопровід через гнучкий рукав, установлений із вільного кінця. Із зміною густини сила ваги

відрізка трубопроводу також змінюється, що призводить до переміщення труби. Рух труби 1 передається чутливому елементу — осердю проміжного перетворювача 5 і далі — на відповідний вторинний прилад.

У деяких густиномірах, приміром типу ДУВ-ТК, датчик виконаний U — подібним. Клас точності 1,0 — 1,5.

8.2. ВИМІРЮВАННЯ В'ЯЗКОСТІ РЕЧОВИНИ

В'язкість - важлива характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції в багатьох технологічних процесах (різні пасти, креми, тісто, фарші та ін.).

В'язкістю називається величина внутрішнього тертя, яке виникає зі зміщенням одного шару рідини відносно іншого.

Розрізняють динамічну та кінематичну в'язкості, які пов'язані між собою відношенням:

$$\eta = \rho \nu, \quad (8.5)$$

де η - динамічна в'язкість, Па*с; ν - кінематична в'язкість, м²/с; ρ - густина, кг/м³.

Для вимірювання в'язкості застосовують віскозиметри, які залежно від принципу дії підрозділяються на капілярні, шарикові та ротаційні.

Дія капілярних віскозиметрів основана на залежності часу протікання відомої кількості рідини через вузькі трубки від її в'язкості. При цьому параметри потоку рідини (витрата, перепад тиску) залежать від динамічної в'язкості:

$$Q = (\pi d^4 / 128 \eta) \Delta p, \quad (8.6)$$

де Q - об'ємна витрата рідини, що витікає з трубки, м³/с; d - діаметр трубки, м; η - динамічна в'язкість рідини, Па*с; L - довжина трубки, м; Δp - різниця тисків між кінцями трубки, Па.

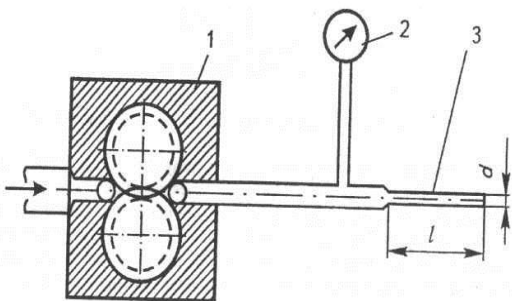


Рис. 10.2. Капілярний віскозиметр

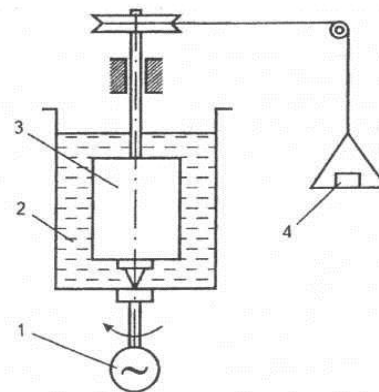


Рис. 10.3. Ротаційний віскозиметр з коаксіальними циліндрами

У цьому віскозиметрі (рис. 7.2.) постійність витрати забезпечує шестерний насос 1. Рідина проходить крізь капілярну трубку 3 діаметром d і довжиною L . Різниця тисків між входом і виходом трубки вимірюється дифманометром 2. Діапазон вимірювань від 0,001 до 10 Па*с.

Принцип дії шарикового віскозиметра засновано на залежності швидкості падіння кульки в рідині від її в'язкості. При цьому автоматично вимірюється

час проходження кулькою, що падає, відстані між позначками на трубці. Діапазон вимірювання до 100 Па*с.

Принцип ротаційного віскозиметра засновано на визначенні протидіючого обертаючого моменту, що виникає під час крутіння тіла у в'язкій рідині.

Віскозиметр з коаксильними циліндрами (рис. 10.3) складається з двох циліндрів, між якими розміщується рідина, що аналізується. Зовнішній циліндр 1 нерухомий, внутрішній 2 закріплюється на осі, яка обертається за допомогою електродвигуна. Крутячий момент залежить від швидкості обертання циліндра в рідині, що аналізується, та пропорційний в'язкості. Діапазон вимірювання 10^{-2} - 10^4 Па*с. В'язкість значною мірою залежить від температури, і під час вимірювання в'язкості необхідно враховувати температуру середовища, що контролюється.

8.3. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

Вологість повітря, газів, твердих та сипких матеріалів необхідно контролювати в ході різних технологічних процесів, а також під час зберігання продуктів в складських приміщеннях та холодильних камерах.

Вміст вологи в газовому середовищі характеризується абсолютною або відносною вологістю.

Абсолютна вологість газового середовища - це масова кількість (концентрація) водяної пари, що міститься в 1 м³ газового середовища. Одиниці вимірювання абсолютної вологості: кг/м³ або г/м³.

Відносна вологість газового середовища (ψ , %) або степінь його насичення - це відношення абсолютної вологості газового середовища M_A певного об'єму до масової концентрації (кількості) водяної пари M_H , яка насичує це середовище за даної температури.

$$\psi = \frac{M_A}{M_H} 100\%. \quad (8.7)$$

Для вимірювання вологості газових середовищ найбільше використовуються методи: сорбційний, точки роси та психрометричний.

Суть сорбційного методу полягає у використування властивості деяких речовин, із пористою структурою, поглинати вологу на поверхню цих пор із навколишнього газового середовища. І ця поглинута волога знаходиться у стані рівноваги з вологістю контрольованого за вологістю середовища. Кількість води, що адсорбується на поверхні такого ПВП, збільшується із збільшенням вологості газового середовища. Одночасно з цим, змінюються механічні (довжина ПВП, що виготовлений, наприклад, із капронової нитки чи целофану), електричні (електричний опір чи ємність ПВП, який виготовлений, наприклад, із мікропористого ебоніту), масові, кольорові та інші властивості матеріалу (сорбенту), з якого виготовлений ПВП вологості.

В якості сорбентів використовують також пористе скло, кварц, оксидні алюмінієві плівки, плівки із йодистого срібла, кадмію чи свинцю, або спеціальні ПВП, що заповнені насиченим розчином хлористого літію. На рис.21 наведена

схема чутливого елемента сорбційно-електролітичного вологоміра, насиченого розчином хлористого літію.

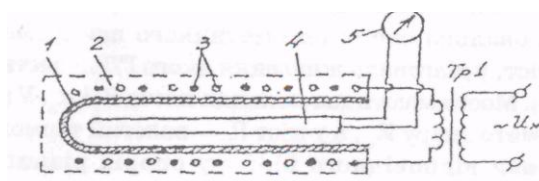


Рис.10.4. Схема літійового чутливого елемента

Принцип дії перетворювача ґрунтується на зміні його електричного опору залежно від вологості повітря і електропровідності шару, насиченого розчином хлористого літію. Чутливий елемент вологоміра являє собою корозійно стійку, покриту шаром склавати 2 сталеву трубку 1, насичену розчином хлористого літію. У складову вмонтовані два спіральнамотані електроди 3, до яких підведено електроживлення від понижувального трансформатора Тр1. Розчин хлористого літію є провідником, тому по поверхні чутливого елемента проходить струм і відбувається його нагрівання. Вода з розчину випаровується, опір зростає, струм зменшується, нагрівання і температура перетворювача зменшуються. Хлористий літій знову поглинає вологу із навколишнього простору, і електропровідність перетворювача зростає, а температура збільшується. Після декількох таких коливань система перетворювача приходить у зрівноважений стан, що відповідає певній температурі. Ця температура, що пропорційна вологості навколишнього середовища, вимірюється малоінерційним термометром 4, розміщеним у середині трубки і ввімкненим у вимірювальний прилад 5.

Промисловістю випускаються сорбційно-електролітичні вологоміри типу БВ-4 з уніфікованим сигналом 0 — 5 мА.

Суть методу точки роси полягає у визначенні температури, за якої водяна пара, що є в контрольованому газі, за її охолодження досягає стану насичення, тобто починає конденсуватися. Точка роси — температура та тиск, за яких газ набуває стану насичення і випадає роса. Початок конденсації фіксується візуально (в лабораторних приладах) або за допомогою фотоелементів (в автоматичних вологомірах). Такі прилади ще називаються гігрометрами. Промисловістю випускає гігрометри типів ГП-215 та ГП-225 для контролю і сигналізації відносної вологості. Діапазон 10 — 100 %, клас точності — 4,0.

Особливістю автоматичних гігрометрів є наявність нагрівально-охолоджувального пристрою та фотооптичної системи для стеження за зміною точки роси.

Для вимірювання відносної вологості газових середовищ найбільше розповсюдження дістав **психрометричний метод** (від грецьких слів: «psychros» - холодний та метр), який ґрунтується на використанні психрометричного ефекту, відкритого німецьким фізиком Ернстом Августом (звідси - психрометр Августа). Суть ефекту у тому, що випаровування з поверхні зволоженого тіла і, як наслідок, ступінь його охолодження, тим інтенсивніші, чим менша відносна вологість газового середовища, де знаходиться тіло. При реалізації психрометричного методу вимірювання відносної вологості - порівнюються температури

двох тіл – сухого та зволоженого. Різниця температур сухого t^c та зволоженого («мокрого») t^b тіла, яка називається психрометричною різницею, ϵ , таким чином, функцією від відносної вологості газового середовища: $\psi = f(t^c - t^b)$ та визначається за виведеною напівемпіричною формулою:

$$\psi = \frac{P_B - A P_C (t^c - t^b)}{P_C}, \quad (8.8)$$

де P_B та P^c - тиск пари, яка насичує контрольоване за вологістю газове середовище при температурах відповідно сухого t^c та вологого t^b тіла (так званий - парціальний тиск); A – стала психрометра; P – атмосферний (барометричний тиск в середовищі. Парціальний тиск (від латинського «partials» - частинний) - це тиск компоненту (пари) ідеальної газової суміші, яке компонент здійснював би, якщо він займав би весь об'єм суміші.

При реалізації методу в психрометричному перетворювачі, в якості сухого та вологого тіл, використовують термометри опору, один із яких («вологий») зволожують за допомогою спеціальної гігроскопічної бавовняної тканини, кінець якої занурюють у посудину з дистильованою водою. Для створення стабільних умов випаровування, зволожене тіло (вологий термометр) має обдуватись, контрольованим за вологістю газовим середовищем (наприклад, оточуючим повітрям), з певною постійною швидкістю, яка повинна дорівнювати, як правило, $\cong 4$ м/с.

Стала психрометра A залежить від конструкції конструкції психрометра, швидкості обдування зволоженого тіла (термометра) газовим середовищем та тиску в ньому. Значення психрометричної різниці залежить від температури газу в контрольованому середовищі, значення якої отримують за допомогою сухого термометра, а також від швидкості обтікання зволоженого тіла середовищем, вологість якого вимірюється.

Найбільший вплив па величину K створює швидкість обдування, але якщо вона перевищує 2,5 м/с, то значення K надалі залишається постійним. Тому автоматичні психрометри мають газові насоси, які забезпечують швидкість обдування 3 — 4 м/с.

Вимірювальна схема приладу (рис. 10.4) складається з двох мостів / і //, для яких плечі R^1 й R^2 загальні.

У плече одного моста включається "сухий" термометр R^1 , а в плече другого - "вологий" R^2 . Живляться мости від загального джерела живлення $U_{ж}$. У вимірювальній діагоналі a^1b^1 мосту / виникає різниця потенціалів, пропорційна температурі "сухого" термометра R^1 , а в діагоналі a^2b^2 мосту // - температурі "вологого" R^2 . Через те, що температура "сухого" термометра завжди більша за температуру "вологого", то й сигнал $U_{a^1b^1} > U_{a^2b^2}$. Їх різниця $\Delta U = U_{a^1b^1} - U_{a^2b^2}$ подається на вхід електронного підсилювача ЕП, підсилюється та управляє рухом реверсивного двигуна РД. РД переміщує повзун реохорда R_p до тих пір, доки не настане рів-

новага системи. Шкала вимірювального приладу градуюються у відсотках відносної вологості.

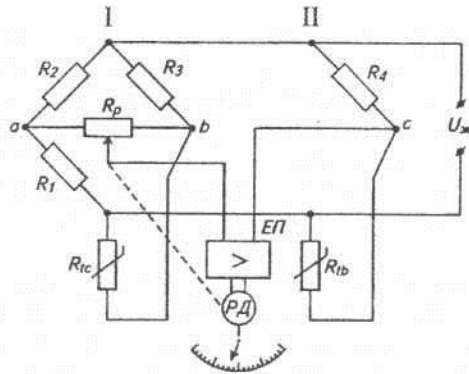


Рис. 10.4. Схема автоматичного психрометра

Промисловість випускає датчики автоматичних психрометрів типу ДВП-03 на діапазон відносної вологості 20 — 100 % і температуру навколишнього середовища 15 – 40 °С. Як вторинний прилад використовується зрівноважений міст. Клас точності комплексу — 2,5.

До сучасних вторинних мікропроцесорних приладів, що використовуються для обробки сигналів сухого та зволоженого термоперетворювачів опору, з метою розрахунку вологості, відноситься, наприклад, прилад МПР51 Щ4 фірми «Овен». Прилад виконує наступні функції: - вимірює температуру в камері по трьом каналам (каналу сухого термометра, вологого та температуру продукту; - вираховує два параметри (психрометричну різницю та вологість в камері; - виконує ПД-регулювання по двом каналам, для підтримування двох із перерахованих п'яти параметрів в заданих межах; - має в своєму складі 4 реле для 2-х та 3-х позиційного регулювання системами охолодження та нагрівання; - виконує регулювання по заданій користувачем програмі; - забезпечує режими сигналізації про аварію або закінчення виконання програми.

Додатково прилад виконує функції регуляторів температури та вологості, які програмуються за часом виконання програми. Прилад широко використовується, наприклад, для керування температурою та вологістю при термічній обробці м'ясних продуктів в термокамерах, керування процесом сушки в спеціальних шафах (виготовлення сухого молока), керування режимами роботи по температурі та вологості в шафах, де виготовляються варені ковбаси, тощо.

Вміст вологи в твердих та сипких матеріалах характеризується вологовмістом U та вологістю W .

Вологовміст U - відношення маси вологи M в матеріалі до маси абсолютно сухого матеріалу M_0 : $U = M / M_0$.

Вологість W - відношення маси вологи M в матеріалі до маси вологого матеріалу M_g : $W = M / M_g = M / (M_0 + M)$.

Методи вимірювання вологи твердих та сипких середовищ можна розділити на дві групи: **прямі**, які дозволяють визначити масу вологи або сухої речовини у пробі; та **непрямі**, за яких використовується функціональна залежність між вологістю та якимось фізико-хімічним параметром.

Для вимірювання вологості за прямим методом найчастіше застосовують **ваговий метод**, заснований на зважуванні проби до (M_e) та після (M_o) її висушування в спеціальних шафах до настання зрівноваженого стану з навколишнім середовищем, тобто, коли подальше висушування не приводить до зменшення маси проби. Метод дуже простий і точний але потребує багато часу (5 — 40хв.) і застосовується в лабораторних дослідженнях.

Із непрямих методів найчастіше застосовуються: **кондуктометричні, ємнісні, механічні, теплові, радіоізотопні, високочастотні**, тощо.

В системах автоматичного контролю та управління технологічними процесами, де необхідно постійно контролювати вологість сипких та твердих матеріалів, найбільш поширені кондуктометричні та ємнісні вологоміри.

Первинним вимірювальним перетворювачем (ПВП) таких вологомірів є два електроди. Вони конструктивно виконуються у вигляді або двох пластин, або циліндричної трубки, що є зовнішнім електродом, з загостреним у вигляді голки внутрішнім електродом та ін.. Простір між електродами, які ізольовані один від одного, утворює вимірювальну комірку, де знаходиться контрольований за вологістю матеріал, який подається у комірку або порціями (дискретно), або безперервно.

У **основу принципу дії кондуктометричних вологомірів** покладена залежність електричного опору між двома електродами (опору вимірювальної комірки) від вмісту води. Ця залежність в загальному вигляді має вигляд:

$$R_x = \frac{A}{W^k}, \quad (8.9)$$

де – опір матеріалу, Ом;

«А» та «к» - додатні постійні величини, що залежать від природи матеріалу та умов вимірювання.

Характеристика перетворення ПВП нелінійна і використовується її відносно лінійний відрізок з низькою та середньою вологістю від 15 до 30%. В якості вторинних приладів таких ПВП використовуються електронні та магнітоелектричні Омметри та автоматичні мости постійного струму.

Приладобудівний завод м. Архангельськ (Російська Федерація), випускає вимірник вологи деревини типу ВПК-12. Він має голчастий щуп, який вводиться в деревину, і кабельну систему, яка зводить до нуля паразитну провідність.

У харчовій промисловості кондуктометричним методом визначається вологість шквари, макаронів, борошна, зерна тощо. Первинний перетворювач являє собою циліндр, куди засипається і де стискається поршнем подрібнена проба. За електропровідністю між електродами визначається вологість.

На відміну від кондуктометричних ПВП, принцип дії ємнісних ПВП ґрунтується на тому, що відносна діелектрична проникність речовини є функцією вологості. Принципово будь-який ємнісний вологомір складається із трьох основних частин: датчика (конденсатора), високочастотного генератора і вимірювального приладу (найчастіше — автоматичний потенціометр). Конструктивно датчик являє собою плоский або циліндричний конденсатор, між обкладинками

якого міститься контрольована проба. Залежність ємності C між електродами конденсатора від діелектричної проникності матеріалу, що в свою чергу залежить від його вологості, дорівнює:

$$C = \varepsilon (S/d), \quad (8.10)$$

де ε - абсолютна діелектрична проникність між електродного простору, Ф/м; S – площа електродів, м²; d – відстань між електродами, м.

Із формули видно, що при постійних розмірах конденсатора (вимірювальної комірки), отримуємо функціональну залежність: $C = f(\varepsilon)$.

Відносна діелектрична проникність води є величиною постійною і $\varepsilon_B \cong 81$, а для більшості сухих речовин вона знаходиться в межах від 2 до 10. Таким чином, незначна зміна вологості речовини визиває зміну її діелектричної проникності.

В цих ПВП електроди ізолюють від контрольованої за вологістю речовини за допомогою матеріалів з високими ізоляційними властивостями.

В якості вимірювальних приладів в комплекті із ємнісними ПВП використовують автоматичні мости змінного струму, або прилади, що побудовані на спеціальних резонансних схемах.

Цим методом визначається вологовміст тваринних жирів (0,2%), клею, кормового борошна (4 — 7 %). Клас точності — 1,0.

Шведська фірма «Sinar AP» випускає вологомір, що визначає одночасно електроємність, вагу і температуру контрольованого зразка з подальшою мікропроцесорною обробкою. Точне значення вологості видається через декілька секунд. Зразок не потребує подрібнення. Це — лабораторний переносний прилад.

Вологоміри фірми Bradenber (Німеччина) для безперервного Ішзначешш вологи у вершковому маслі, а також типу ВСМП-1 (м. Санкт-Петербург, Російська Федерація) для сухого молока дозволяють створити автоматичні системи контролю і регулювання.

В основу роботи механічних вологомірів покладені певні механічні властивості твердих матеріалів (коефіцієнт тертя, опір різанню, стисненню, вдавлюванню тощо), що пов'язані з вологістю. Проте всі вони використовуються тільки для наближених оцінок вологості.

Наприклад, німецька фірма Vrabender випускає вологомір сиру. Датчик являє собою крильчатку, що обертається в сирі. Різнному вологовмісту відповідає, конкретний момент обертання, який вимірюють за величиною електричного струму, що споживаються. Датчик знаходиться в сталевому корпусі, монтованому на виході з насоса перед охолоджувачем. Прилад має пристрій для термокомпенсації. Діапазон вимірювань: 77 — 85 % .

[3, с.: 256...268; 4, с.: 117...120 ; 7, с.: 61...64]

Контрольні запитання до розділу 8

1. Привести визначення динамічної та кінематичної в'язкості
2. Схема та принцип дії капілярного віскозиметра.
3. Будова та принцип дії ротаційного віскозиметра.

4. Принцип дії поплавкових густиномірів.
5. Психрометричний метод вимірювання вологості.

ЛЕКЦІЯ № 17

АНАЛІЗАТОРИ СКЛАДУ РІДИН ТА ГАЗІВ

9.1. КЛАСИФІКАЦІЯ АНАЛІЗАТОРІВ СКЛАДУ РІДИН

ЗВ, які призначені для визначення складу рідин, називаються аналізаторами і використовуються для визначення концентрації речовини в аналізуемій рідині.

У відповідності із системою СИ концентрація речовини – це відношення або маси, або кількості речовини в рідині до об'єму цієї рідини..

Відрізняють масову концентрацію ($\text{кг/м}^3, \text{г/см}^3$) і молярну концентрацію ($\text{моль/см}^3, \text{моль/м}^3$), відповідно до молекулярної гіпотези будови речовини.

Молекулярну гіпотезу будови речовини запропонував у 1811 році Авогадро і вивів закон, який стверджує, що в однакових об'ємах газу при одній температурі й однаковому тиску знаходиться однакова кількість молекул.

Моль - одиниця кількості речовини в системі СІ. В одному молі міститься стільки молекул (атомів, іонів, або інших структурних елементів речовини), скільки атомів вміщується в 12 грамах вуглецю з атомною вагою 12 (зображується ^{12}C) і дорівнює $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ атомів (число Авогадро).

За допомогою аналізаторів складу рідин вимірюють кислотність та лужність середовищ, склад і концентрацію кислот, лугів і водних розчинів, добавок іонів металів в тісті і т.п. Аналізатори складу рідин широко використовуються для визначення якості сировини і напівфабрикатів, а також кінцевого продукту. Загальні методи контролю якості продукції називають методами кваліметрії.

Більшість методів, які використовуються в аналізаторів складу рідин, є інтегральні, тобто їх результати вимірювань залежність і від кількості (концентрації) інших компонентів, присутніх в суміші.

По принципу дії аналізатори діляться електрохімічні, оптичні, діелькометричні, титрометричні, радіоізотопні, акустичні та теплові.

1). Електрохімічні аналізатори базуються на використанні електрохімічних явищ, які відбуваються в спеціальних електродних системах, занурених в досліджуєму рідину. Вихідний сигнал в них – електричний струм або напруга. До них відносяться ЗВ, які побудовані на кондуктометричному та потенціометричному методах.

2). Оптичні аналізатори відносяться до класу спектральних аналізаторів, в яких значення вихідного сигналу вимірювальної інформації залежить від взаємодії випромінюваного потоку світла з контрольованою рідиною.

3). Діелькометричні аналізатори ґрунтуються на зміні діелектричної проникності, аналізуємої рідини в залежності від її властивостей, складу, наявності домішок і т.п. Відомо, що діелектрична проникність багатьох речовин суттєво різна, наприклад, відносна діелектрична проникність води = 81, а клейковини зерна – 2,6. Ці аналізатори використовуються для аналізу бінарних розчинів і реалізують ємнісний метод вимірювання.

4). Титрометричні аналізатори, характеризуються високою вибірковістю і точністю в порівнянні іншими, але методика титрування дуже складна. Суть метода в тому, що концентрація аналізованого компонента в суміші визначається шляхом впливу на нього спеціально підбраною іншою речовиною (титрантом), яка вибірково реагує на аналізовану компоненту і її додають в суміш до тих пір, поки її кількість не стане еквівалентною загальній кількості аналізованого компонента. По кількості використаного титранту судять про концентрацію аналізованого компонента.

5). Акустичні аналізатори ґрунтуються на вимірюванні або зміні швидкості ультразвукових коливань або величини його поглинання в залежності від складу аналізованих середовищ.

6). Теплові аналізатори будуються на використуванні змін молекулярно-теплових властивостей аналізованих рідин при їх нагріванні чи охолодженні. Наприклад, термокондуктометричні аналізатори ґрунтуються на визначенні теплопровідності.

9.2. КОНДУКТОМЕТРИЧНІ АНАЛІЗАТОРИ

Кондуктометричний метод контролю якості харчових продуктів ґрунтується на вимірюванні електропровідності розчинів. Хімічний склад розчину визначається по залежності його електропровідності від концентрації та природи заряджених частинок. Питома електропровідність рідин, в залежності від концентрації і природи розчинених в ній речовин, може змінюватись на декілька порядків (від 10^{-4} см/м- особливо чисть іоди до 100 см/м (сильні електроліти)).

Відомо, що опір провідника електричного струму визначається залежністю:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} [\text{Ом}] \quad (9.1)$$

де ρ – питомий опір провідника (Ом*м); L – довжина провідника.

Електропровідність – це властивість речовин проводити електричний струм, що обумовлений наявністю в них рухомих заряджених частинок (носіїв струму – катіонів і аніонів). Електропровідність – величина, що обернена опором.

Одиницею електропровідності в системі СІ є сименс 1 См, це електропровідність провідника опором в 1 Ом. $1 \text{ См} = 1/1 \text{ Ом}$.

Електропровідність розчинів частіше характеризують питомою електропровідністю σ [См/м] = $1/\rho$ [Ом*м], яка є величиною оберненою питомому опором. Залежність питомої електропровідності розчинів, в залежності від їхньої концентрації і виду розчиненої речовини, визначаються законом Кольрауша:

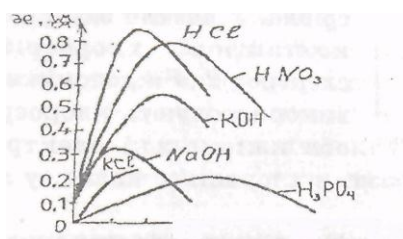
$$\sigma = f \cdot C_e^{\alpha} \cdot U^{\beta} \quad (9.2)$$

де f – коефіцієнт активності, який враховує електростатичні сили між іонного протягування, Кл/моль; C_e - концентрація речовини у розчині; α - коефіцієнт, що визначає степінь дисоціації молекул; $U^+ + U^-$ - рухливість іонів, м²/В*с; Кл – кулон, електричний заряд; моль – одиниця кількості речовин, для будь-яких частинок в об'ємі. Залежності по (9.2) - суттєво нелінійні (рис. 11.1,а).

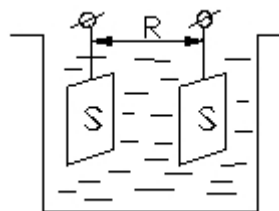
Кондуктометричні аналізатори – мають високу чутливість, прості, надійні, використовуються для аналізу виноматеріалів, молочних продуктів, сольових і

миючих розчинів, дають можливість контролювати просто і точно, концентрацію доповнень, які вводяться, наприклад, для різних сортів горілки.

Електропровідність розчину вимірюються або контактним способом (шляхом введення електродів в досліджуваний розчин), або безконтактним - безелектродним. Останній більш точний, так як немає недоліків контактної: а). поляризації електродів контактів: б). покриття їх кристалами речовини, їх забруднення та вихід із ладу під дією електролітів.



а)



б)

Рис. 11.1. Функціональна залежність питомої електропровідності розчинів різних речовин (а) та вимірювальна комірка контактної аналізатора (б).

Контактні кондуктометричні аналізатори - ґрунтуються на безпосередньому контакті електронів з аналізуємим розчином. Первинний вимірювальний перетворювач (ПВП) складається з вимірювальної мірки (рис. 11.1,б), яка має два електроди площиною S на певній відстані L один від одного і розміщених в розчині. Опір комірки R визначається тільки електропровідністю розчину. Вимірювання проводять на лінійних ділянках залежності 9.2 та за таких умов:

1). Використовують зрівноважений міст, який живлять напругою змінного струму, що зменшує вплив явища електролізу контрольованого середовища та поляризації електронів; 2). Електроди виготовляють із стійких малоактивних матеріалів (прототипи графіту). 3). Вимірювання проводять при малій силі струму в вимірювальному ланцюгу та підвищеній частоті напруги живлення (до 1кГц), але більшість працює на промисловій частоті 50 Гц.

При використуванні кондуктометрів з концентратоміри в швидкокристалізуємих забруднених середовищах, наприклад, в цукровому виробництві на ділянках I і II-ї сатурації, застосовують і 4-електродній ПВП (рис. 11.2 а), для зменшення впливу поляризації струмових електродів і впливу електричного опору залишків на електродах. В цих ПВП функції між електродами розділені і крайні використовуються для підведення живлення, з середніх – знімають напругу, яка пропорційна електричному опору аналізуємого розчину.

На розглянутому принципі та за мостовою схемою рис. 11.2,б, випускаються кондуктометри типу КК3, КК4-Е для експрес аналізів та метрологічних провірок. Діапазон вимірювання електродних кондуктометрів до 10 См/м за температури розчину в межах 25 ± 15 °С при класі точності 2,5.

Безконтактні кондуктометричні аналізатори - не мають безпосереднього контакту з аналізуємим розчином і вільні від багатьох недоліків контактної кондуктометрії. Забезпечують вимірювання концентрацій сильно забруднених агресивних рідин, суспензій, колоїдної розчинів безпосередньо на технологічних лініях. Розділяються на низько до 1кГц та високочастотної до 20 кГц.

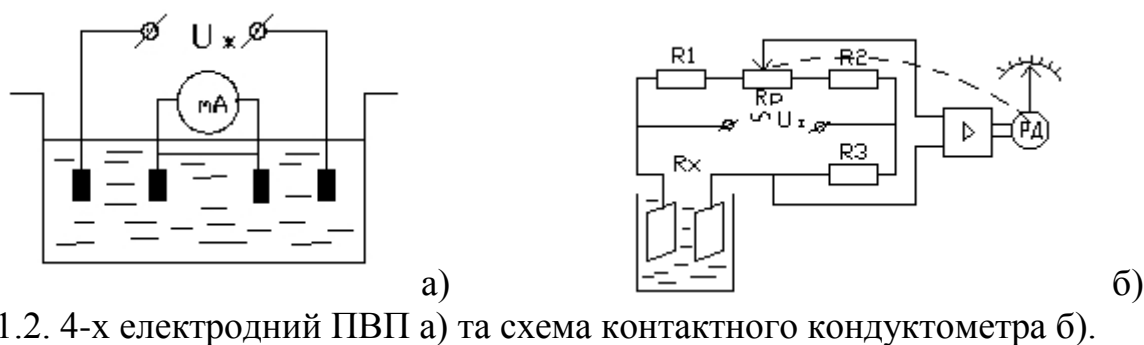


Рис. 11.2. 4-х електродний ПВП а) та схема контактного кондуктометра б).

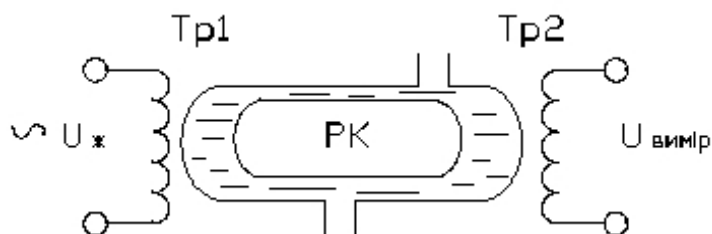


Рис. 11.3. Безконтактний ПВП аналізу складу рідин

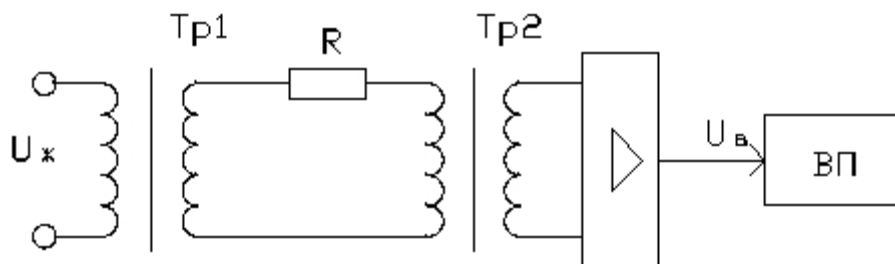
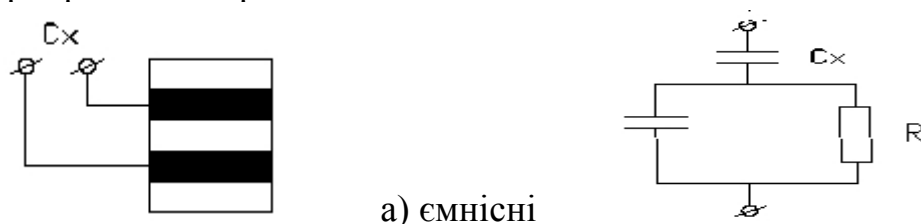


Рис. 11.4. Електрична схема безконтактного ПВП

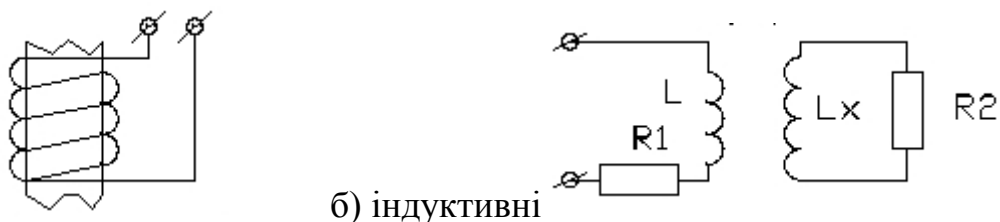
Фізична суть безконтактної низькочастотної кондуктометрії полягає в тому, що аналізована електропровідна рідина проходить в замкненій (кільцевій) трубі із діелектрика (рис. 11.3) і одночасно є витком двох трансформаторів: живлення $Tr1$ та вимірювального $Tr2$ (рис. 11.4). Короткозамкнений рідинний виток є вторинною обмоткою $Tr1$ і одночасно первинною обмоткою вимірювального $Tr2$. Струм, який протікає через рідинний виток, пропорційний електропровідності розчину і вимірюється індукованою напругою у вторинній обмотці вимірювального трансформатора:

$$U_{\text{вимір}} = K/R U_x, \quad (9.3)$$

де K - конструктивний коефіцієнт, R – опір рідинного кільця, залежний від електропровідності рідини.



а) ємнісні



б) індуктивні

Рис. 11.5. Високочастотні кондуктометричні ПВП: а) ємнісний; б) індуктивний.

Високочастотні кондуктометри працюють за принципом взаємодії електричного поля високої частоти з контрольованим розчином, знаходяться або в трубі, або в посудині із ізоляційного матеріалу, до якої із зовнішнього боку прикріплюються первинні перетворювачі. До останніх підводиться напруга високої частоти (15-20 МГц) і визначається ємнісний або індуктивний опір первинного перетворювача, який пов'язаний із електропровідністю контрольованого розчину. Відповідно первинні перетворювачі бувають двох типів (рис. 11.5): ємнісні та індуктивні.

Як вимірювальні схеми застосовуються мостові або резонансні схеми, що живляться від генераторів високої частоти. В резонансних схемах вимірюється частота власних коливань резонансного контура, яка залежить від ємності або індуктивності датчика. Досвід показує експлуатації, що ємнісні датчики доцільно застосовувати для розчинів з низькою електропровідністю до 1 См/м, а індуктивні – для сильних електролітів від 1 до 100 См/м.

Промисловість випускає такі кондуктометри типів КК-6 та КК-7 класу точності 2 і 2,5.

9.3. ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД

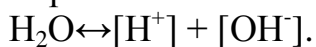
Потенціометричний метод аналізу складу рідин використовується у двох напрямках:

- вимірювання кислих або лужних функцій розчину;
- визначення моменту нейтралізації розчину при їх титруванні.

Кислотні або лужні властивості розчинів визначається по активності в них іонів водню $[H^+]$.

Суть явища визначається електролітичною дисоціацією і зв'язаною з нею теорією електродних потенціалів.

Дисоціація властива будь-якому розчину і пов'язана з утворенням в розчині електроіонів позитивних іонів (катіонів) і негативних іонів (аніонів). Більшість хімічних процесів відбувається в водних розчинів. Чиста вода являє собою нейтральну речовину, якій властиві в рівній мірі і кислотні і лужні властивості. Вона слабо дисоціює з утвореннями катіонів водню $[H^+]$ та аніонів гідроксилу $[OH^-]$:



Так як молекула води є досить сталою хімічною сполукою, то концентрація іонів водню і гідроксилу, порівняно з концентрацією її недисоційованих молекул, складає для одних і других, які рівні між собою при температурі 22 °С, величину:

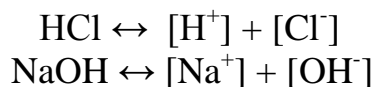
$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ мг*іон/см}^3.$$

У відповідності із законом діючих мас добуток концентрації іонів водню та

гідроксилу при даній температурі є величиною постійною і визначається константою K_w дисоціації води:

$$K_w = K [H_2O] = [H^+] \cdot [OH^-] \quad (9.4)$$

Кислоти та луги у водних розчинах теж дисоціюють: кислоти на катіони водню та аніони кислотного залишку, а луги – на катіони металу і аніони гідроксилу:



Якщо розчинити в нейтральному розчині іншу речовину і температуру розчину підтримувати незмінною, то величина 10^{-14} залишається постійною, але порушується рівновага і в розчині збільшується або кількість дисоційованих катіонів водню $[H^+]$ за рахунок зменшення аніонів гідроксилу $[OH^-]$, або навпаки, зростає кількість аніонів гідроксилу за рахунок зменшення катіонів водню. В першому випадку, коли $[H^+] > 10^{-7}$, розчин набуває кислотні властивості. В іншому випадку, коли $[H^+] < 10^{-7}$, розчин має лужні властивості.

Для зручнішого визначення концентрації іонів водню датський хімік Зеренсен ввів поняття водневого показника рН (p-Potenz – степінь, Н – хімічний символ водню). У відповідності з визначенням Зеренсена водневий показник рН – це десятковий логарифм концентрації іонів водню, взятий з від'ємним знаком:

$$pH = -\lg [H^+]. \quad (9.5)$$

Таким чином, концентрацією іонів водню $[H^+]$ можна охарактеризувати будь-який розчин, причому для нейтрального середовища рН дорівнює 7, для лужного – $pH > 7$, а кислого – $pH < 7$.

Дуже кислі розчини можуть мати $pH = -1, -2$, а концентровані луги $pH > 14$.

Вода є нейтральною тільки при температурі $22^\circ C$. При підвищенні температури до $100^\circ C$ вода набуває кислотні властивості і її рН знижується до 6,12. За нульової температури вода набуває лужні властивості з $pH = 7,97$.

Для водних розчинів діапазон зміни рН складає $0 \dots 14$.

Потенціометричний метод аналізу складу рідин ґрунтується на вимірюванні потенціалу спеціального електроду, який занурений у контролює мий розчин. Величина потенціалу залежить від природи і концентрації (а вірніше – активності) аналізованих іонів в розчині, та властивостей самого розчину) і визначається рівнянням закону Нернста, відкритого для металевих електродів, а пізніше поширеного на електроди інших речовин.

$$E_x = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{металу}}{a_{металу}^0} \quad (9.6)$$

де n – валентність іонів металу; E^0 – нормальний потенціал електроду із певного металу і не залежить від концентрації іонів, В; R – універсальна газова стала = $8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$; F – число Фарадея (постійна, яка визначає заряд грам-еквівалента-іонів) $F = 96485$; T – абсолютна температура, К та значення потенціалу при температурі розчину $20^\circ C$.

Виникнення потенціалу пояснюється переходом іонів металу в розчин, а в стані рівноваги – переходом іонів металу в розчин і із розчину в електрод.

Якщо виразити через водневий показник рН, то формула прийме вигляд:

$$E_x = E^0 - 0.05806 \frac{pH}{n}. \quad (9.7)$$

Так як на величину потенціалу вимірювального електроду головним чином впливає концентрація потенціаловизначаючих іонів (катіонів), які обмінюються з атомами металу електроду, то велике значення має вибір матеріалу електродів.

В якості вимірювальних електродів найбільш розповсюджені сурм'яні, скляні із нержавіючої сталі, платинові та срібні. Останні два використовуються при потенціометричному титруванні. Перші два використовують при визначенні концентрації водневих катіонів. Найбільше розповсюджені в рН-метрах скляні вимірювальні електроди, потенціалом яких зв'язані з показником рН лінійною залежністю.

Але виміряти різницю потенціалів тільки між одним вимірювальним електродом і розчином не можливо, так як при під'єднанні вимірювального приладу до розчину знову ж таки виникає різниця потенціалів між розчином та провідником, який з'єднує розчин з приладом. Відповідно різниця потенціалів, яку повинен виміряти прилад, буде дорівнювати нулю

Тому для утворення електричного ланцюга для вимірювання зрівноваженого поверхневого потенціалу в розчин вводять другий електрод, який називають допоміжним, або електродом порівняння. Потенціал порівняльного електроду в процесі вимірювання повинен бути незмінним, не залежати від концентрації речовин у розчині.

При визначенні концентрації розчинів за активністю іонів водню електричний ланцюг вимірювального перетворювача (вимірювальної комірки) складається із (рис. 11.6) вимірювального електроду 1 з допоміжним внутрішнім електродом 1', який необхідний для утворення електричного ланцюга, та допоміжного електроду 2, який також контактує з контролюємим розчином.

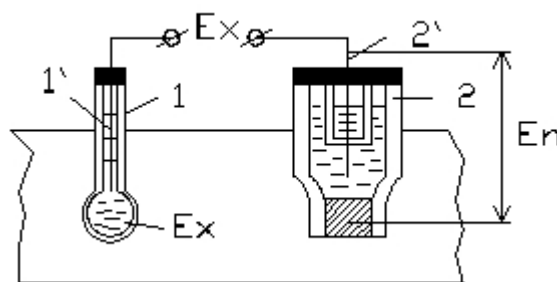


Рис.11.6. Вимірювальна комірка потенціометричного методу

В якості вимірювальних електродів найчастіше використовуються електроди, які виготовлені із скла, або сурми. В якості допоміжних електродів використовуються хлор срібні та каломельні. Разом вони утворюють вимірювальну комірку із каліброваної скляної трубки, до одного кінця якої приварюється мембрана із спеціального електродного скла, в яких додають одновалентні метали К, Na, Li і яке є активною частиною електроду.

Мембрани виготовляються різної форми (в вигляді кульки, списовидна, плоскої – у вигляді голки) в залежності від призначення електроду. В каліброваній частині скляної трубки розміщується 0,1 н. розчину соляної кислоти HCl з невеликої кількості кристалів хлориду срібла. В цей розчин занурюється конта-

ктний хлорсрібний електрод 1' (хлорсрібний), від якого відходить провідник до вимірювального приладу. Електрод герметизують.

Під час занурення вимірювальної комірки у контрольований розчин, на скляному електроді з'являється ЕРС E_x лінійно пов'язана з активністю іонів водню в розчині. Між поверхнею скляної мембрани і розчином відбувається обмін іонами. Домішки одновалентних металів під дією виникаючих електростатичних сил вириваються із вузлів кристалевої силікатної решітки і переходять в розчин, а їх місця займають більш активні катіони водню $[H^+]$, які надходять із розчину.

$$E_x = E_0 + 23,1 \lg a_H \quad (9.8)$$

де a_H - активність іонів водню розчину

Якщо підставити в рівнянні Нернста значення констант при $t^0 = 20^\circ C$ і прийняти $E_0 = 0$, то потенціал електроду E_x дорівнює:

$$E_x = -0,059 \text{ pH} \quad (9.9)$$

І має назву водневої функції і показує, що у разі зміни рН розчину на одиницю, потенціал електроду змінюється на 58 мВ.

Скляні електроди можуть працювати при температурах до $100^\circ C$, виготовляються різноманітні скляні електроди для використання в різних середовищах в занурених і проточних перетворювачах, спеціально для використання в харчовій промисловості (аналізу молока, кисломолочних продуктів, рослинних олій, тіста). Сурм'яні вимірювальні електроди виготовляються із металевої сурми в вигляді стержня, або платинового проводу, на який наносять шар сурми.

Електродний потенціал виникає на межі металевої сурми і її окису, який утворюється на поверхні металу. Випускаються спеціальні електроди, які самоочищаються і використовуються для контролю кислотності тіста і інших дуже в'язких харчових продуктів.

Як порівняльні електроди використовуються хлор срібні та каломельні. В харчовій промисловості використання хлорсрібних переважне. Вони являють собою стержень із срібла на поверхню якого наноситься шар малорозчинної солі $AgCl$. Його розміщують у насиченому калію який через напівпроникну гумову мембрану контактує з вимірювальним розчином і забезпечує замикання електричного ланцюга.

Промисловість випускає датчики зануреного типу ДПг-4м та проточного типу ДМ-5м, перетворювачі П201 і П210; вимірювачі рН-типу рН-201, 205, 261, 265 діапазон вимірювання 1-15 рН клас точності – 1.0;1,5

Для контролю кислотності молока – і молочних продуктів використовуються аналізаторів рН – 222,2. Як вимірювальні використовуються скляні електроди типів ЕСА-45-07 і ЕСА-45-08, які розраховані для вимірювання рН розчинів в діапазоні (3÷8рН) в діапазоні температур від 0 до $40^\circ C$. Похибка перетворювача $\pm 0,05$ рН.

Останнім часом використовуються твердо контактні металізовані скляні електроди, в яких відсутня кислота.

Загальному випадку, якщо розглянути нахил характеристики перетворення електродної системи:

$$S\left(b \cdot \frac{mB}{pH}\right) = \frac{\Delta E}{\Delta pH} = 58.06 + 0.198 t_p \quad (9.10)$$

де t_p - температура розчину, $^{\circ}\text{C}$.

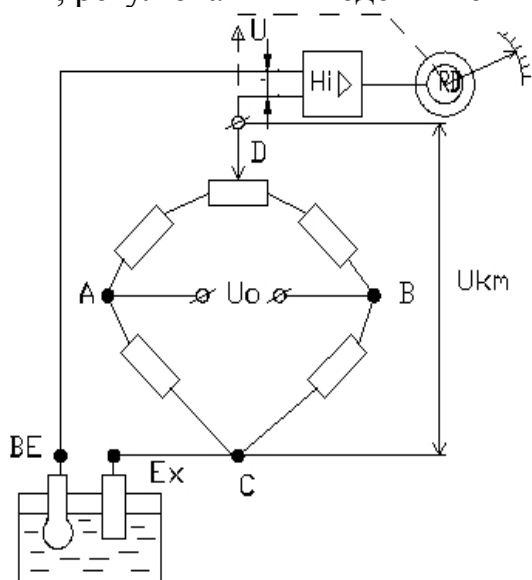
Таким чином зміна температури розчину суттєво впливає на ЕРС електродної системи. Для зменшення впливу зміни температури розчину на результати вимірювань, допоміжні електроди та заповнюючі розчини вибирають таким чином, щоб сумарна зміна ЕРС від температури була мінімальною. Використовуються також введення температурних поправок.

Вимірювальні схеми рН-метрів

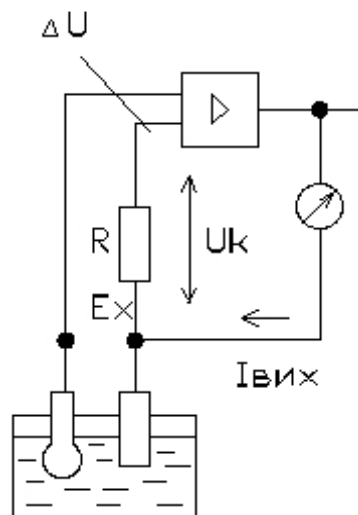
Величина рН контролюємого розчину за даної температури визначається за ЕРС електродної системи і може бути виміряна або по схемі безпосереднього вимірювання ЕРС зі споживанням струму, або по компенсаційній схемі.

При визначенні схеми вимірювання треба мати на увазі, що існують декілька варіантів використання методу безпосередньої оцінки в малогабаритних переносних приладах з невисокою точністю вимірювання (не вище $\pm 0,1$ рН).

В більшості приладів використовується компенсаційний принцип з використанням мостових схем (рис. 11.7,а), які забезпечують простоту налаштування, регулюванні і введенні температурних поправок.



а) $\Delta U = E_x - U_k$



б)

Рис. 11.7 Вимірювальні схеми рН-метрів

Електронний підсилювач Ні підсилює різницю між електрорушійною силою E_x вимірювальної комірки та компенсаційною напругою U_k у вимірювальній діагоналі СД мосту, та керує напрямком обертання РД і переміщенням реохорду до моменту $\Delta U=0$ (реалізована астатична система регулювання).

Більш надійними є схеми (рис.11.7,б) із статичною компенсацією, які використовують підсилювачі з глибоким від'ємним зворотнім зв'язком по струму.

ЕРС E_x порівнюється падінням напруги на R , через який протікає вихідний струм підсилувача.

$$\Delta U = E_x - U_k = E_x - I_{\text{вих}} * R.$$

9.4. ОПТИЧНІ МЕТОДИ. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ.

В оптичних методах аналізу складу розчинів використовується зв'язок між складом розчину та оптичними властивостями системи, які визивають: світлопоглинання, світлорозсіювання, заломлення світла, обертання площини поляризації плоскополяризованого світла, а також залежність вторинного світіння речовини в залежності від її складу. Звідси розрізняють відповідно: колориметричний аналіз; нефелометричний та турбідиметричний аналіз; рефрактометричний аналіз; поляриметричний аналіз та люмінесцентний аналіз.

Таким чином, до оптичних методів контролю складу рідин відноситься:

- **абсорбційний** метод, при реалізації якого використовується явище селективного (вибіркового) поглинання світла в контролюємій речовині;
- **нефелометричний** – використовується явище розсіювання світла на частинках, що знаходяться в рідині або газі;
- **рефрактометричний** – використовується залежність показника заломлення від концентрації контролюємого рідкого середовища;
- **поліриметричний** – використовується властивість деяких активних речовин повертати площину поляризації при проходженні через них плоскополяризованого світла.
- **люмінесцентний** – використовується залежність вторинного світіння речовини в залежності від її складу.

По техніці виконання оптичні методи розділяють на суб'єктивні (візуальні, не автоматичні) та на об'єктивні (фотоелектричні), які використовуються в системах автоматичного контролю якості.

В фотоелектричних (автоматичних) абсорбційних методах використовується різні довжини хвиль електромагнітного спектру:

- видимі довжини хвиль, тоді методи називаються **колориметричні**;
- ультрафіолетові;
- інфрачервоні (невидимі).

Кожну із довжин хвиль вибирають залежно від оптичних властивостей контролюємих речовин.

Нефелометричні методи розділяють на: турбідиметричні, якщо вимірювання проводяться в світлі, що проходить крізь речовину; та безпосередньо нефелометричні – коли вимірювання проводять під кутом до напрямку падаючого світла.

В рефрактометричних методах використовується показник заломлення світла та явище повного внутрішнього відбиття.

В поляриметричних – використовується властивість деяких активних речовин обертати площину поляризації при проходженні крізь них плоскополяризованого світла.

9.5. КОЛОРИМЕТРИЧНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ

Метод відноситься до абсорбційних спектральних методів, в яких реалізується властивість розчину поглинати певну кількість світла і ґрунтується на по-

рівнянні кількісної зміни світла, яке проходить через контролюємий та еталонний розчин. По призначенню фотоколориметри ділять на концентраційні та кольорові. Якщо вимірювання проводять в монохроматичному світлі (однієї довжини хвилі) з використанням фотоприймачів, то метод називається **спектрофотометричним**, а при вимірюванні з немонохроматичним світлом (використовується загальна видима частина спектру світла) – метод називається **фотоколориметричним**.

Принципова схема одноканального фотоколориметричного аналізатора рідини приведена на рис.11.8. Світловий потік, що виходить із вимірювальної кювети з розчином попадає на фотоелектричний прилад (фотоелемент). При цьому сила струму в ланцюгу електровимірювального приладу прямо пропорційна падаючому на фотоелемент потоку світла. Якщо відома залежність потоку світла від концентрації розчину і залежність фотоструму від світлового потоку, то по показам електровимірювального приладу можна визначити концентрацію аналізуемого розчину (його компоненти).

Основний закон колориметрії записується однією формулою і об'єднує 2 закони: 1) **Ламберта-Бугера**, що встановлює залежність між поглинаючою властивістю та товщиною шару контролюемого розчину; 2) **закон Бера**, в відповідності з яким коефіцієнт поглинання світла пропорційний концентрації речовини:

$$F = F_0 \cdot 10^{-kca}, \quad (9.11)$$

де F – світловий потік, що пройшов крізь контролюєме середовище; F_0 – початковий світловий потік, що падає на поверхню контролюемого розчину; k – молярний коефіцієнт поглинання (погашення); C – концентрація розчиненої речовини в грам – молекулах на літр; a – товщина шару розчину, або довжина шляху проходження світла в розчині, см.

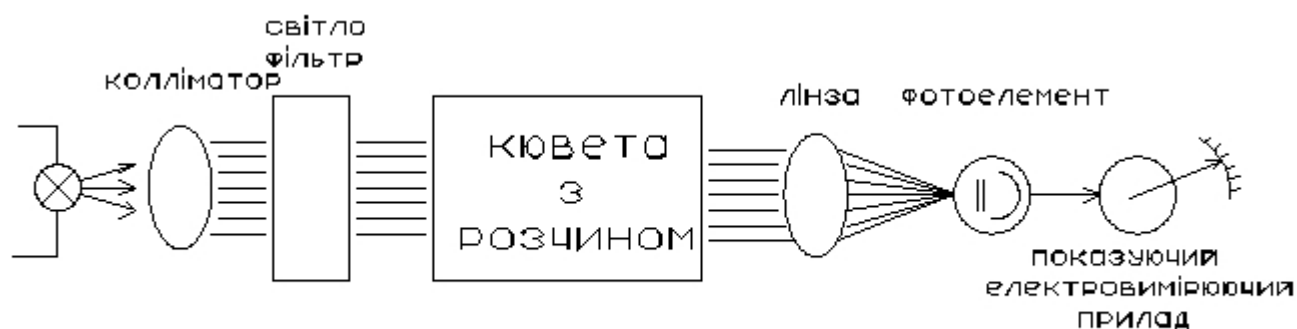


Рис. 11.8. Одноканальний фотоколориметричний аналізатор складу рідин. Величина $(F/F_0) = T = 10^{-kca}$, називається пропусканням розчину.

Якщо прологарифмувати залежність, то отримуємо формулу для визначення концентрації:

$$C = (\lg(1/T)) / (k \cdot a) + D / (k \cdot a), \quad (9.12)$$

де D - оптична густина, $D = \lg(1/T)$ або $D = cka$. (9.13)

Із формули (9.12) видно, що концентрація C залежить від T , що характеризує прозорість розчину, коефіцієнта погашення (поглинання) k , та товщини шару a ; а із (9.13), що оптична густина пропорційна концентрації C , молярному коефіцієнту погашення k та товщини шару розчину a .

В фотоколориметрах (в доповнення) використовується ще перший закон фотоефекту – **закон Столетова** (закон світлової характеристики фотоелемента): фотострум фотоелемента знаходиться в прямолінійній залежності від зміни світлового потоку, що падає на нього

$$I = F * \epsilon, \quad (9.14)$$

де I - фотострум, мкА; F - світловий потік, лм; ϵ - інтегральна чутливість фотоелемента, мкА/лм.

Тому у фотоколориметрах відношення світлових потоків можна замінити на відношення фотострумів і оптична густина D дорівнює:

$$D = (\lg(I_0/I)) / (k * \alpha). \quad (9.15)$$

Для збільшення чутливості колориметричного методу і виконання прямолінійної залежності між оптичною густиною D та концентрацією C необхідно використовувати відносно вузький відрізок довжин хвиль світла, в якому відбувається максимальне поглинання світла контролюємою речовиною. Це досягається за допомогою світлофільтрів, що встановлюється між джерелом світла та фотоприймачем, в якості якого використовують селенові фотоелементи та фотоопори. Як джерело світла використовуються газові (неонові) лампи.

Варіант виконання загальнопромислового двоканального автоматичного регулюючого диференціального фотоколориметра приведена на рис. 11.9.

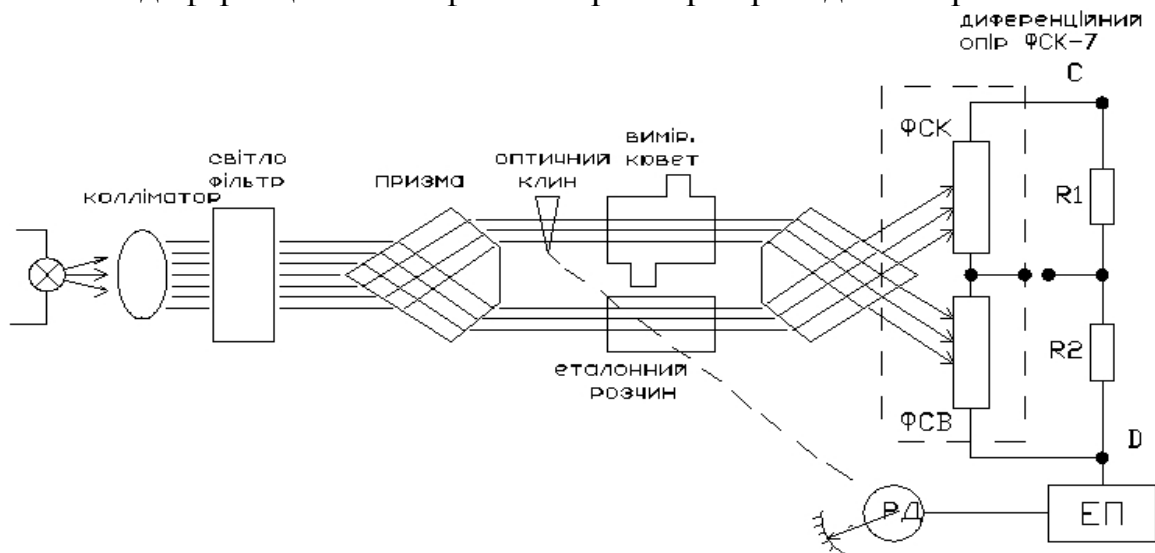


Рис. 11.9. Схема двоканального диференціального фотоколориметра.

Призма 1 розділяє світловий потік на два – один проходить крізь вимірювальну кювету, другий – через еталонний розчин. Призма 2 – об'єднує два потоки в один (загальний), що направляється на диференціальний фотоопір ФСК – 7. Плечч фотоопору підключені до мостової вимірювальної схеми. При появі небалансу сигнал підсилюється і подається РД, який обертає оптичний клин, який компенсує зміну фотопотоку через вимірювальну кювету, то одночасно переміщує стрілку відлікового пристрою.

Датська фірма Foss Electric випускає колориметричний прилад “Мілко-Тестер” для молочної промисловості типу МК-III для визначення вмісту жиру в молоці. Точність- +/-0,06% від вмісту жиру. Ця ж фірма випускає фотоколориметри типу МКП і РМА для визначення вмісту білка в молоці з цифровим табло.

9.6. НЕФЕЛОМЕТРИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ

При проходженні світлового потоку через найдрібніші взважені тверді частинки в розчиннику або газі, тобто, через дисперсне середовище, спостерігається бокове розсіювання світла, завдяки чому світло, що проходить через середовище, має вигляд мутної смуги. Ця мутність пояснюється розсіюванням світлового променя внаслідок дії різних причин і залежить від розмірів взважених частинок. Розсіюванням світла – називається заломлення світла на межі розділу частинка – розчинник і відбиттям світла частинками, що знаходяться в розчині. Якщо падаючий промінь світла має довжину хвилі, яка значно більша розміру частинок в розчині, то відбувається явище дифракції світла, тобто, світлова хвиля обходить частинки. Для усунення впливу цього явища відповідним чином розраховують необхідну довжину хвилі. Із збільшенням кількості підвішених частинок в розчині, кількість розсіяного світла збільшується, що дозволяє виміряти їхню концентрацію в розчині.

Роглянувши явище використовуються у нефелометричних методах аналізу складу речовин, які в свою чергу поділяються на: а) турбідиметричні, коли вимірювання проводять пропускаючи світло через речовину; та б) безпосередньо нефелометричні, коли вимірювання проводять під кутом по напрямленню падаючого світла.

Фотонейфелометричні та турбодиметричні методи використовуються для контролю концентрації взважених (підвішених) частинок, які знаходяться в рідких та газоподібних середовищах і під дією яких виникає розсіювання світла.

Концентрацію можна визначити по степені послаблення падаючого вихідного світлового потоку F_0 до значення F_1 , при його проходженні через кювету із контрольованим середовищем, – **такий метод називається турбідиметричний**, а також визначивши інтенсивність розсіяного світлового потоку F_r , при дії на вихідний потік F_0 взважених частинок розчину, і який виходить із вимірювальної кювети (посудини) під кутом 90° по відношенню до падаючого світлового потоку F_0 – **метод називається нефелометричним**.

При турбідиметричному вимірюванні по аналогії з фотокolorиметрами, використовується основний закон фотометрії, і тому вимірювання за цим методом проводять на звичайних фотокolorиметрах і спектрофотометрах. Тобто, принцип дії турбідиметричних аналізаторів ґрунтується на послабленні (розсіюванні) світлового потоку, який вимірюється на виході кювети з розчином за допомогою фотопристроїв.

Турбодиметричні аналізатори застосовуються для контролю концентрації нерозчинних звжених частинок, які знаходяться в прозорих рідинах і газових середовищах. Так визначають мутність води (питної і стічної), рівнів шламу в відстійниках і технологічних апаратів, концентрацію частинок в суспензіях.

Випускається прилад типу ТВ на діапазон 0-500 мг/л, клас 2.0. Сигналізатори рівня шламу СУШ - використовується в хімводоочищенні.

Випускаються сигналізатори поділу середовищ вода - молоко. Прилад називається індикатором прозорості. При вмісті в молоці 60% доданої води – вмикається сигналізація. Прилад використовує зміну оптичної густини середовища, яка змінює опір фотоприймача.

Нефелометричний метод аналізу складу рідин.

При реалізації безпосереднього нефелометричного методу використовується закон Релея:

$$F_p = F_0 k \frac{N V^2}{\lambda}, \quad (9.16)$$

де F_p – величина розсіяного світлового потоку, F_0 – початковий, k – коефіцієнт, що залежить від показника заломлення колоїдних частинок і середовища, відстані від джерела світла і вибраної одиниці вимірювання; N – кількість частинок в об'ємі; V – об'єм частинок, розміри якої менші по відношенню до довжини λ хвилі світла.

В загальному вигляді після об'єднання всіх постійних величин в один коефіцієнт k_1 спрощена формула має вигляд: $F_p = k_1 * C$, (9.17)

де C – концентрація суспензії, тобто світловий потік розсіювання пропорційний C .

В харчовій промисловості нефелометри (вимірювачі потужності) використовують для визначення якості освітлених та фільтрованих соків, вин, пива, визначення концентрації диму в копильних цехах. Мутноміри, пиломіри та димоміри – прилади для вимірювання якості фільтрації чи очищення на центрифугах будується таким чином, що оптичні властивості досліджуваного середовища порівнюється з еталоном.

Нефеломір – сигналізатор рідинних середовищ НЖС-60. (Київський 3-д КПП) виконує безперервно контроль та сигналізацію підвищення міцності, яка встановлюється в залежності від виду рідинного середовища та характеру технологічного процесу. Мутність води- АМС-У, контроль замінників хлору- АОХ, кольоровості води – АМЦ.

9.7. РЕФРАКТОМЕТРИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ

Грунтується на зміні показника заломлення світлових променів на межі розподілу двох оптичних середовищ. Абсолютний показник заломлення N – є відношення швидкості розповсюдження світла C_1 у вакуумі до швидкості C_2 розповсюдження світла у досліджуємому середовищі:

$N = C_1/C_2$ і завжди > 1 , так як швидкість світла C_1 у вакуумі найбільша.

Відношення швидкостей може бути замінене на відношення синусів кутів падіння α та кут заломлення β , то тоді абсолютний показник заломлення:

$$N = \sin \alpha / \sin \beta = C_1/C_2 .$$

Так як $C_1 > C_2$, то кут $\alpha >$ кута β .

Відповідно, проходження світлового променя в любых середовищах характеризується відносним показником заломлення $n = C_1/C_2$,

де C_1 та C_2 – швидкості світла в середовищах.

Вимірюючи показник заломлення n рідин, можна визначити концентрацію розчину, прозорість рідини, провести аналіз суміші, яка має декілька компонентів. Концентрація розчину в залежності від показника заломлення n має залежність:

$$C_x = C_e * [(-n_0)/(n_e - n_0)], \quad (9.18)$$

де C_x - вимірювана концентрація розчину; C_e - концентрація еталонного розчину; n_x - показник заломлення досліджуемого розчину; n_0 - показник заломлення розчинника; n_e - показник заломлення еталонного розчину.

Відповідно об'єм розчиненої речовини у розчиннику дорівнює:

$$V_1 = V * [(n - n_1) / (n_2 - n_1)], \quad (9.19)$$

де V -об'єм розчину, а n , n_1 , n_2 - показники заломлення відповідно розчину, розчиненої речовини та розчинника.

При вимірюванні рефрактометричного показника заломлення, необхідно компенсувати вплив температури та тиску в навколишньому середовищі.

Метод використовується для визначення відсоткового складу сухих речовин в цукровій та консервній галузях.

Принцип будови рефрактометрів ґрунтується на:

а) залежності показника заломлення світлового променя при його переході з одного середовища в інше (**спектрометричний метод**).

б) широко використовується **метод повного внутрішнього відбиття** (або метод межового кута), коли за зміни концентрації розчину змінюється межа світлотіні і порушується рівність світлових потоків на фотодатчиках.

Об'єднання "Мир" (м. Москва) випускає рефрактометричні датчики типу АІ-Ед-2р, з діапазоном від 0 до 30 і 20-50% сухих речовин у розчині. Рефрактометр типу АІІ-ЕРО. Прилади використовуються в молочній і спиртовій промисловості.

Київський завод аналітичних приладів випускає прилад типу АМ-2 для визначення у молоці вмісту білка, сахарози, лактози. Клас 0,2.

Авто метричний рефрактометр УкрНДІ спиртової промисловості використовується в системах керування автоматичного приготування розсирівки в бродильному цеху спиртового виробництва.

Сучасним представником таких аналізаторів є комплекс УЛСЕ для визначення цукристості буряків (КБ "Луч", м. Київ). Діапазон вимірювання 0-20 і 45-75%, клас – 0,2. Температурний діапазон 0-90°. Цифрова індикація і уніфікований сигнал 4-20.

Спектрометричний метод – суть його в тому, що показник заломлення визначається по куту найменшого відхилення світлового променя в скляній призмі, що заповнена аналізуємою рідиною.

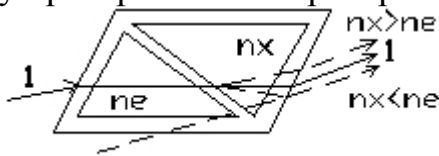


Показник заломлення: $n_x = (\sin(f+E)/2) / (\sin(f/2))$,

де f – кут між площинами в призмі.

Вимірювання кута E пов'язане з великими труднощами, тому в промислових рефрактометрах використовується дифракційні вимірювальні кювети (призми) із двох частин, в одній – еталонна рідина, в іншій нейтральна. Така диференціальна вимірювальна кювета забезпечує залежність зміни складу аналізую-

чої рідини і відхилення променя, що проходить через неї. Використовується для аналізу прозорих і напівпрозорих рідин.



Діапазон вимірювання $\Delta n = n_x - n_e$ визначається розмірами кювети та n_e . Перевага – забезпечують температурну компенсацію результатів вимірювань, при умові, що еталонні та аналізуючі рідини мають однакову температуру.

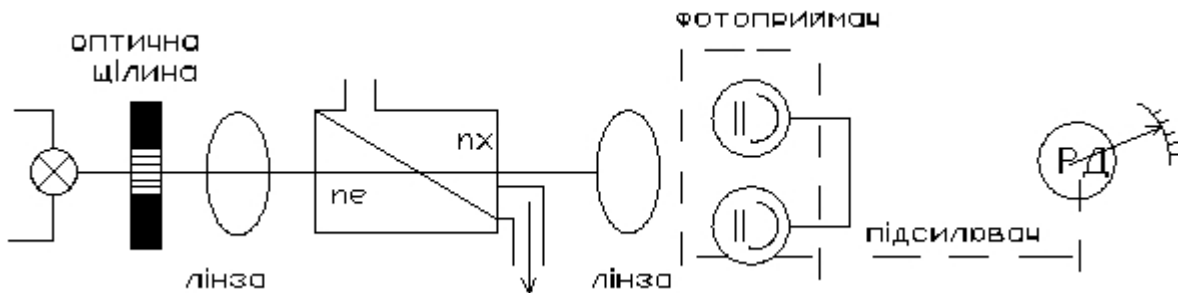


Рис. 11.20. Схема автоматичного рефрактометра з диференціальною кюветою.

Автоматичний рефрактометр з диференціальною кюветою (рис.11.20) працює наступним чином. Лінза - фокусує зображення щілини на диференціальні фотоприймачі, що складаються із однакових фоторезисторів. Якщо $n_e = n_x$, то сигнали обох фоторезисторів однакові, обидві половини фотоприймача сприймають симетричне зображення щілини. Сигнал розбалансування дорівнює 0. При $n_e \neq n_x$, то на половини фотоприймача падають неодинакові світлові потоки, що веде до розбалансування схеми і РД зміщує фотоприймач в нове положення балансу.

Схема автоматичного рефрактометра повного внутрішнього відбиття приведена на рис.11.21.

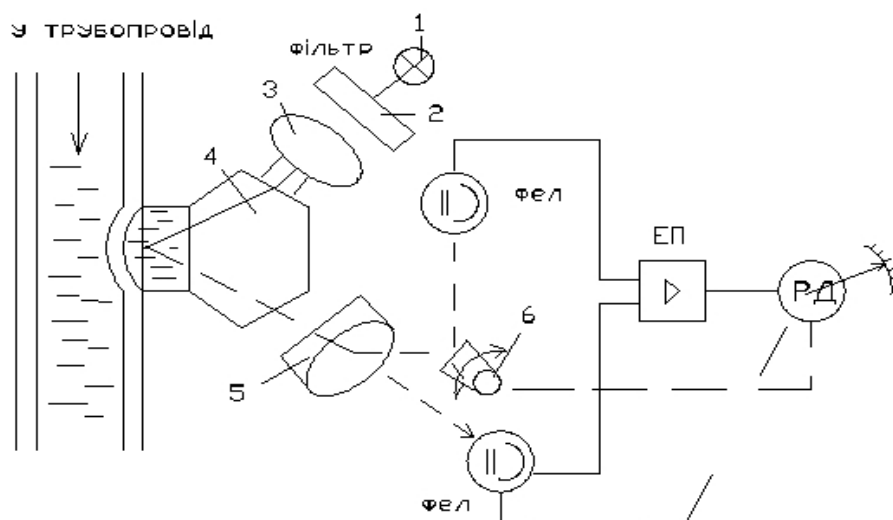


Рис.11.21. Схема автоматичного рефрактора повного внутрішнього відбиття

В трубопровід вмонтована лінза 4, на яку надходить потік світла від джерела 1 через світлофільтр 2 та коліматор 4. Попадаючи на межу розподілу світловий потік відбивається і надходить в оптичний розсіювач 5. Після нього по-

дає на фотоелемент ФЕ1, та через дзеркало 6 на ФЕ2. Сигнал небалансу через ЕП та РД повертає дзеркало до тих пір, коли відбите від нього світло не зрівноважить світловий потік ФЕ1. Випускаються типи РАР, РД-Е, РАС з похибкою +/- 0,5 – 1,5% сухих речовин.

9.8. ПОЛЯРИМЕТРИЧНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ

Використовується властивість деяких активних речовин обертати площину поляризації при проходженні через них плоскополяризованого світла.

Метод ґрунтується на використуванні поляризованого світла, а вірніше залежності кута обертання площини поляризації плоскополяризованого світла від концентрації в розчині оптично активної речовини.

Оптично активними називаються речовини та їх розчини, які змінюють (обертають) площину поляризації світла. Оптична активність речовини визначається будовою кристалічної решітки речовини і особливостями будови її молекул. До таких оптично активних речовин в Х.П. відноситься органічні з'єднання: глюкоза, фруктоза, винна кислота. Оптична активність оцінюється величиною питомого обертання площини поляризації, це кут α обертання плоскополяризованого світла, який є характерним тільки даній активній речовині при її густині, рівній одиниці концентрації розчину 1г/мл і товщині шару розчину 10 см. Питоме обертання α для розчину:

$$\alpha = \beta / l * C, \quad (9/20)$$

де β – вимірювальний кут обертання площини поляризації; l – товщина шару, дм; C – концентрація речовини, г/мл розчину.

Значення α при $t=20^\circ\text{C}$ водних розчинах речовин для монохроматичного світла з довжиною хвилі, що відповідає жовтій лінії в спектрі натрію: сахароза + 66,3; глюкоза + 52,5; фруктоза – 93; масло – 24;

тобто, обертання площини поляризації може бути по (+) та проти (-) часової стрілки. Використовуючи спеціальні фільтри та термостати в поляриметрах концентрацію визначають при незмінній товщині шару і при відомому питомому куті обертання досліджуємої речовини.

Посудина з розчином розміщується між двома призми (поляроїдами). За допомогою першої призми (поляроїда) утворюють плоскополяризоване світло (поляризатор) а другою призмою (аналізатором) можна змінювати інтенсивність плоскополяризованого світла за рахунок повертання.

Інтенсивність світла, яке пройшло через аналізатор визначається за формулою:

$$F = F_0 * \cos^2 \beta, \quad (9.21)$$

де F – інтенсивність світлового потоку, який пройшов через поляризатор; F_0 – інтенсивність світлового потоку, який вийшов із аналізатора; β – кут між площинами поляризації аналізатора та поляризатора.

При введенні між аналізатором та поляризатором досліджуємої оптично активної речовини змінюється кут β і може бути визначена концентрація введеної речовини.

В харчовій промисловості велике значення має визначення таких оптично активних речовин в розчинах як сахароза, глюкоза, мальтоза, лактоза фруктова, ефірні мастила. Поляриметри в цукровій промисловості визначають місткість

цукру в жомі, буряках, патоці. При виробленні спирту, вміст цукру та крохмалу у напівфабрикатах визначають поляриметрами.

Цукристість буряків визначають методом холодної дигестії. Коли буряк миють, відбирають, подрібнюють, отриману мезгу точно взішують на терезах, розбавляють свинцевий оцет, змішують, фільтрують і розчин подають в кювету колориметра.

9.9. ТИТРОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ

Концентрацію визначаемого компонента в пробі (проба – це дозований об'єм аналізованого розчину) знаходять із залежності:

$$C_A = k C_B (v/V), \quad (9.22)$$

де k – постійна величина; V – об'єм проби; v – об'єм титранту, що поступово добавляють в розчин проби до тих пір, поки не наступить момент еквівалентного співвідношення речовин А і В, який називається точкою еквівалентності, або кінцевою точкою титрування; C_A - концентрація визначаемого компонента в пробі; C_B - концентрація титранту.

По природі титранту титрування ділять на два види: об'ємні та кулонометричні. При об'ємному титруванні, концентрація визначається по витраченому об'єму титранту. При кулонометричному – в якості титранту використовують речовини, що утворюються в результаті електролізу допоміжного розчину (як правило, електроліз проводять в окремій посудині), а результат електролізу направляють в титрувальну посудину). По закону Фарадея кількість титрувальної речовини пропорційна кількості електричного струму (в кулонах) затраченого на електроліз.

По методу визначення кінцевої точки титрування розрізняють:

кондуктометричне титрування – по електропровідності;

потенціометричне – по електродному потенціалу;

колориметричне – по зміні оптичних властивостей розчину;

термохімічне – по кількості виділеного тепла і зміні температури при титруванні.

Титрування може супроводжуватись різними видами реакцій: нейтралізації, осадження, комплексоутворення, окислювально-відновлювальних.

Для контролю свіжості молока в якості стандартного методу використовується метод визначення кислотності шляхом титрування проби молока децинормальним лугом. Дози молока та лугу подаються в змішувально-вимірювальну камеру. Окрашення розчину контролюється фотоелементом, підсилений сигнал якого подають на стрілочний вимірювальний прилад, шкала якого поградуйована в одиницях кислотності.

9.10. АКУСТИЧНІ ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ СКЛАДУ РІДИН

Усе ширше застосовуються прилади якості, принцип роботи яких ґрунтується на акустичних властивостях рідин, тобто на швидкості розповсюдженню коливань залежно від складу контрольованого середовища. Так Таллінський приладобудівний завод (Естонська Республіка) випускає прилад типу РАН-3

для визначення вмісту жиру у молоці в діапазоні 2 — 6 % за середньої квадратичної похибки $\pm 0,1$ %.

До акустичних концентромірів відноситься автоматичний вимірювач концентрації етилового спирту типу СА-1, що випускається АТ "Аналітприлад", (м. Київ). Принцип роботи такого приладу базується на вимірюванні швидкості розповсюдження ультразвукових коливань у контрольованому середовищі залежно від вмісту етилового спирту. На виході первинного перетворювача з'являється уніфікований сигнал постійного струму, який подається на цифровий індикатор, а також використовується для регулювання, сигналізації. Конструктивно вимірювальний комплект складається із трьох блоків: первинного перетворювача, електронного блока та пристрою сигналізації. Клас точності — 0,05. Як вторинний прилад використовується будь-який електричний прилад, що сприймає уніфікований сигнал 0 — 5 мА, наприклад типу КСУ2 тощо.

9.11. ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ГАЗІВ

Прилади для визначення кількісного складу газів називаються газоаналізаторами. Вони застосовуються для аналізу складу димових газів у процесі згоряння палива, у пекарських та сушильних камерах, для контролю концентрації вуглекислого газу під час бродіння, тощо. Номенклатура газоаналізаторів досить широка через різноманіття контрольованих процесів та технологічного обладнання.

За функціональним призначенням газоаналізатори поділяються на прилади контролю і керування виробничими процесами та прилади, які працюють в системах безпеки виробництва (індикатори, сигналізатори, детектори витoku газів тощо).

За фізико-хімічними властивостями, покладеними в основу методу вимірювань, газоаналізатори поділяються на хімічні, теплові, магнітні, оптичні, електричні й маспектрографічні.

Газоаналізатор, на відміну від інших приладів, є установкою, у яку, крім вимірювального перетворювача, входить ряд пристроїв, що забезпечують відбір, підготовку і транспортування проби газу через прилад (рис.9.22).

Більшість автоматичних промислових газоаналізаторів призначені для вимірювання концентрації одного компонента у суміші газів. У цьому випадку суміш газів розглядається як бінарна, де контрольований компонент впливає на фізико-хімічні властивості суміші, покладені в основу принципу роботи приладу, а решта компонентів, незалежно від їхньої властивості вважаються іншим компонентом суміші.

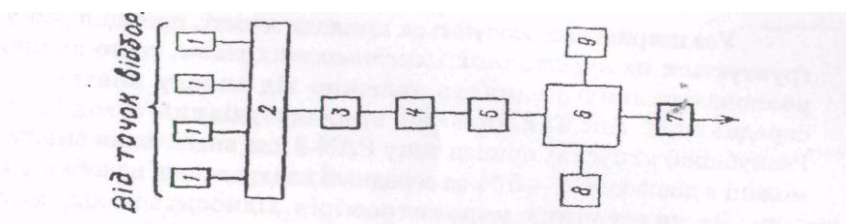


Рис. 9.22. Блок-схема газоаналітичної установки:

/ — очищувальні й осушувальні прилади; 2 — газорозподільчий прилад; 3 — спеціальний очисний пристрій; 4 — прилад, що стабілізує витрати; 5 — прилад для контролю витрат; 6 — перетворювач; 7 — схема передачі інформації; 8 — джерело живлення; 9 — вторинний прилад

Існують газоаналізатори, так звані хроматографи, які призначені для визначення декількох компонентів із складу газової суміші. Здебільшого вони застосовуються в лабораторній практиці.

9.12. ХІМІЧНІ ТА ОБ'ЄМОПОГЛИНАЛЬНІ ГАЗОАНАЛІЗАТОРИ

У хімічних, механічних або об'ємнопоглинальних газоаналізаторах вміст контрольованого компонента визначається внаслідок хімічної дії на цей компонент, що призводить до зміни об'єму або тиску газової проби. З їх допомогою визначається вміст кисню O_2 , двоокису вуглецю CO_2 , окису вуглецю CO , сірководню H_2S , двоокису сірки SO_2 , водню H_2 і азоту N_2 .

Це — лабораторні прилади. Застосовуються такі прилади типів ГХП-2 і ГХП-3 на два і три компоненти відповідно. Тривалість вимірювань 5 — 8 хв., точність — 0,2 % об'єму проби.

Газоаналізатор переносний хімічної дії типу ПАКТА призначений для визначення вмісту кисню і азоту в киснево-азотних сумішах. Принцип роботи ґрунтується на поглинанні кисню міддю з визначеного об'єму. Частина об'єму, що залишилася непоглинутою, приймається за азот. Похибка складає 0,5 — 2,5 % загального об'єму.

9.13. ТЕПЛОВІ ГАЗОАНАЛІЗАТОРИ

У теплових газоаналізаторах концентрація контрольованого компонента здійснюється вимірюванням теплових властивостей газової суміші, які залежать від концентрації цього компонента. Із них найбільше розповсюджені термокондуктометричні та термохімічні газоаналізатори — автоматичні прилади, які працюють в складі інформаційно-вимірювальних і управляючих систем.

Принцип роботи термокондуктометричних газоаналізаторів ґрунтується на значній розбіжності теплопровідності компонентів газової суміші. Так, якщо теплопровідність повітря за $0^\circ C$ умовно прийняти за 100 %, то для двоокису вуглецю CO_2 вона становить 61 %, водню H_2 — 713, двоокису сірки SO_2 — 34, кисню O_2 — 102 %. Найчастіше таким методом визначається вміст двоокису вуглецю. Для підвищення точності вимірювань прилад має додаткові пристрої для усунення тих компонентів газової суміші, які значно відрізняються від теплопровідності повітря, наприклад H_2 і SO_2 .

Для вимірювання теплопровідності газової суміші використовується нагрітий струмом провідник, кількість теплоти Q , що віддається провідником стінкам датчика є функцією

$$Q = f(k; \Delta t; \lambda), \quad (9.23)$$

де k — постійний коефіцієнт, залежний від конструкції газової камери датчика; Δt — різниця температур між провідником і стінками камери; λ — теплопровідність суміші.

Таким чином, теплопровідність газової суміші буде однозначно визначати

температуру провідника і відповідно його опір.

Однією з найпростіших і поширювальних вимірювальних систем термокондуктометричного газоаналізатора є не зрівноважений міст, із джерелом стабілізованого живлення ДСЖ (рис.9.22). Резистори R1 — R4

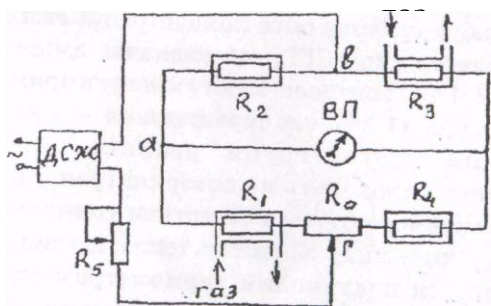


Рис. 9.22.

виконані із платинового дроту і розігріваються струмом до температури близько 100 °С. Двоє з них — R1 і R3 розміщені в камері, через яку проходить контрольований газ, а опори R2 і R4 розміщені в герметичних камерах з еталонним газом або повітрям. За проходженням через камеру повітря виконується умова рівноваги мостової схеми: $R_1 R_3 = R_2 R_4$.

У вимірюваній діагоналі аб різниця потенціалів відсутня і стрілка мілівольтметра ВП показує нуль. Якщо це не так, то проводять балансування моста за допомогою опору R_0 . Якщо через камери пропускається контрольований газ, наприклад CO_2 , то теплопередача від термометрів опору R2 і R3 до стінок камери датчика погіршується, температура їх зростає, відповідно зростають опори r_1 і R3, тому $R_1 R_3 > R_2 R_4$. Як наслідок у діагоналі аб виникає відповідна різниця потенціалів, вимірювана вторинним приладом ВП, шкала якого градуйована у % CO_2 . Опір R5 служить для виставлення сили струму у діагоналі живлення «вг». Випускаються прилади типів ГЕУК, ГЕД, ТКГ для визначення H_2 , CO_2 , SO_2 , NH_3 у димових газах парогенераторів, газах виробництва аміаку, хлору, сірчаної кислоти тощо. Клас точності 5. Більш точними є компенсаційні схеми. Промисловість випускає автоматичний газоаналізатор типу ТП, в якому використовується схема подвійного моста — вимірювального і компенсаційного. Клас точності - 2.5.

Термохімічні газоаналізатори визначають вміст контрольованого компонента за кількістю тепла, яке виділяється за реакції каталітичного окиснення. Таким методом визначають вміст С, H_2 , аміаку NH_3 , метану CH_4 .

Термохімічні аналізатори наділяються на дві групи. У першому випадку реакція окиснення відбувається на поверхні нагрітої струмом платинової нитки, що відіграє роль каталізатора. Температура цієї нитки, а відповідно і її опір змінюються залежно від кількості тепла, що виділяється за окиснення контрольованого компонента. Платинова нитка включається в плече не зрівноваженого моста. Такі прилади частіше використовуються як індикатори і сигналізатори горючих вибухонебезпечних концентрацій газів. До їх числа належать: сигналізатор типу СГГ, що визначає вміст водню; сигналізатор типу СВМ — 1М для контролю вмісту метану в приміщенні. Поріг чутливості цих приладів $\pm 1,5\%$, час спрацювання — 1 хв.

У газоаналізаторів другої групи реакція окиснення контрольованого компонента проходить на поверхні гранульованого каталізатора, за який використовують найчастіше гопкаліт (60 % двоокису марганцю і 40 % окису міді). Кількість тепла, що виділяється за спалювання, вимірюється платиновим термо-

метром опору або батареєю термопар. Такі прилади дуже чутливі (частки проценту компонента), але більш інерційні (до 5 хв), клас точності 5,0 — 7,0.

Американська фірма Artvik, Inc. через своє відділення в Україні СИНДЭК (м. Київ) почали впроваджувати прилади для контролю і регулювання ефективності процесів згоряння палила в різних печах, парогенераторах, а також котлах комунальних і промислових підприємств. На практиці найважливішими вважаються два параметри: концентрація кисню (прямий показник втрат із-за надлишкового повітря) і концентрація незгорілих горючих компонентів (як правило водень і окис вуглецю), які дозволяють судити про втрати через неповноту згоряння.

9.14. МАГНІТНІ ГАЗОАНАЛІЗАТОРИ

Магнітні аналізатори використовують магнітні властивості газової суміші залежно від вмісту деяких компонентів. Найбільша магнітна сприйнятливості властива кисню, що належить до парамагнітних газів (втягується в магнітне поле) на відміну від магнітних газів, які виштовхуються із нього.

Об'ємна магнітна сприйнятливості кисню $\alpha_{\text{к}}$, що знаходиться за тиску P і температури t , маючи молекулярну масу μ , визначається із рівняння

$$\alpha_{\text{к}} = \frac{c p M}{t^2 R}, \quad (9.24)$$

де c і R — постійні Кюрі та газова відповідно. Таким чином, магнітна сприйнятливості кисню пропорційна кисню і зменшується із зростанням температури пропорційно $1/t^2$.

Оскільки об'ємна магнітна сприйнятливості решти компонентів газової суміші ж змінюється незначно, тобто $\alpha_{\text{р}} \ll \alpha_{\text{к}}$, то магнітні властивості газу однозначно залежать від вмісту кисню за умови стабілізації тиску та температури.

Існують декілька методів визначення магнітної сприйнятливості контрольованого газу. Найбільш розповсюджений із них ґрунтується на використанні явища термомагнітної конвекції, яка являє собою рух газу, що вміщує кисень, у неоднорідному магнітному і тепловому полях.

На рис.9.23 подана схема первинного перетворювача магнітного газоаналізатора.

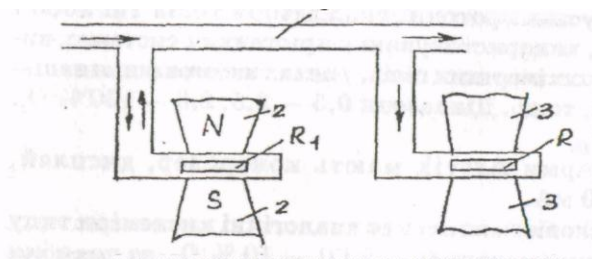


Рис. 9.23. Схема розміщення чутливих елементів магнітного газоаналізатора

Чутливі елементу — це платинові термометри опору R_1 і R_2 у вигляді спіралі, впаяні у скляні балони, що нагріваються струмом до температури $100\text{ }^\circ\text{C}$. Очищений і охолоджений газ протікає газоходом 1 перетворювача, втягується в магнітне поле, де знаходиться постійний магніт 2. На-

гріваючись від розміщеного в цьому полі опору R_1 , кисень втрачає магнітну сприйнятливість. Холодний газ виштовхує нагрітий, утворюючи потік термомагнітної конвекції. Завдяки втратам тепла, температура і опір датчика R_1 змінюється пропорційно вмісту кисню. Опір R_2 розміщений у середині немагнітного мідного блока 3, який має таку саму конфігурацію, що і магніт 2, чим забезпечуються рівні умови тепловіддачі.

Побудовані на цьому ефекті аналізатори виконуються за одно-та двомостою вимірювальними схемами.

У першому випадку платинові опори R_1 і R_2 включаються у вимірювальну схему незрівноваженого моста або у схему зрівноваженого автоматичного моста. Але такі прилади мають невисокі чутливість та точність.

Кращі показники мають компенсаційні схеми подвійного моста. На рис.9.24 показана вимірювальна схема киснеміра типу МН, з двома мостами: I — робочим і II — порівняльним, або компенсаційним.

Платинові термометри R_5 і R_6 робочого моста омиваються контрольованим газом, а термометри R_1 і R_2 компенсаційного моста — повітрям. Система налагоджена таким чином, що різниця потенціалів моста I U_{ab} компенсується частково ΔU_{cd} різницею потенціалів моста II:

$$U_{ab} = \Delta U_{cd} = \alpha U_{cd},$$

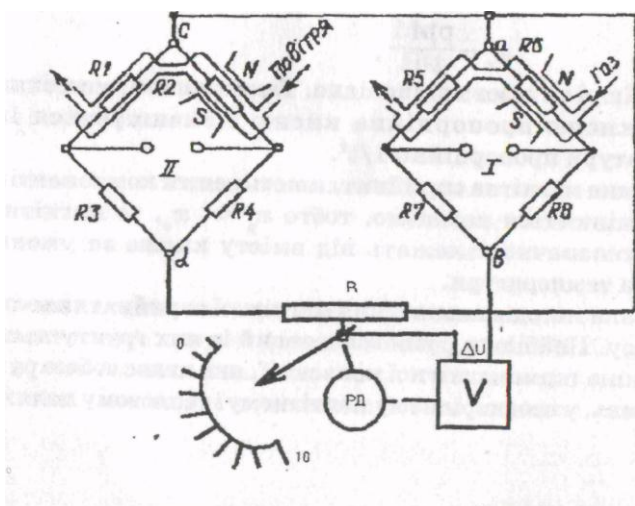


Рис. 9.24. Вимірювальна схема газоаналізатора типу МН .

де U_{cd} — різниця потенціалів у вимірювальній діагоналі компенсаційного моста II; α — коефіцієнт, величина якого залежить від положення повзунка реохорда R і змінюється від 0 до 1. Зі зміною вмісту кисню у контрольованому газі $U_{ab} \neq \alpha U_{cd} = \Delta U$ і їхня різниця ΔU подається на вхід електронного підсилювача ЕП, далі — на реверсивний двигун РД, який переміщує повзуни реохорда R доти, доки не буде виконана умова компенсації, тобто $\Delta U = 0$, і стрілка приладу покаже нове значення параметра.

Киснеміри типу МН 5106 мають межі вимірювань 0 — 10% O_2 ; типу МН 5125 розраховані на діапазон 0 — 100 % O_2 ; а тилу МН 5130 — на діапазон 0 — 50 % O_2 . Клас точності 0,5 — 10. Час установлення вихідного сигналу 0,5 — 1,5 хв. Як вимірювальний прилад використовують автоматичний міст, наприклад типу КСМ 2 — 024, клас точності — 0,25.

[3, с.: 111...121; 6, с.: 117...120 ; 7, с.: 61...64]

Контрольні запитання до лекції 17

1. Поясніть суть кондуктометричних аналізаторів складу рідин.
2. Потенціометричний метод аналізу складу рідин.
3. Охарактеризуйте нефелометричний метод аналізу складу рідин.
4. Які знаєте рефрактометричні методи аналізу складу рідин?
5. В чому суть титрометричного методу аналізу складу рідин?

Література

Основна

1. Сергеев А. Г. , Крохин В.В. Метрология. – М.: «Логос», 2001.
2. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.-248 с.
3. Петров И.К. Технические измерения и приборы в пищевой промышленности. - М.; Пищевая промышленность, 1973.
4. Головки Д.Б., Рого К.Г., Скрипник Ю.О. Основы метрологии та вимірювань.-Київ.: Либідь, 2001. - 408 с.
5. Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості. – Київ, «Аграрна освіта», 2001.
6. Левченко О.І, Цюцюра В.Д. Технологічні вимірювання та прилади у харчовій промисловості. – Київ, УДУХТ, 1998.
7. Дикий Б.Ф. Автоматический контроль состава и свойств пищевых продуктов.-М.: Пищевая промышленность, 1968.