

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет комп'ютеризованих технологій машинобудування та дизайну

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни

**МЕТРОЛОГІЯ, СЕРТИФІКАЦІЯ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ
ПРОДУКЦІЇ**

для здобувачів освітнього ступеня бакалавр
за спеціальностями галузі знань 13 Механічна інженерія
денної форми навчання

Черкаси 2021

УДК 548

Затверджено вченою радою ФКТМД,
протокол № _____ / _____ від __. __. 2020 р.
згідно з рішенням кафедри
фундаментальних дисциплін та
прикладного матеріалознавства,
протокол № 5 від 05.04.2020 р.

Упорядники: Бутенко Т.І., к. т. н., доцент Колінько
С.О., к. ф.-м. н., доцент
Ващенко В.А., д.т.н., професор

Рецензент: Яценко І.В. д.т.н., професор

Конспект лекцій з дисципліни «Метрологія, сертифікація та контроль якості продукції» для здобувачів освітнього ступеня бакалавра за спеціальностями галузі знань 13 «Механічна інженерія» денної форми навчання [Електронний ресурс] / [Упоряд. : Т.І. Бутенко, С.О. Колінько., Ващенко В.А.]; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2021. – 99 с.

Містить основні положення та визначення у метрології з урахуванням нових стандартів ДСТУ. Наведено аналіз похибок вимірювань фізичних величин. Розглянуто методи вимірювань, принципи роботи, побудова та порядок застосування найбільш поширених засобів вимірювань загального призначення; питання сертифікації; наукова, технічна, нормативна та організаційна складові метрологічного забезпечення.

Призначений для студентів спеціальностей галузі знань 13 Механічна інженерія.

Навчальне електронне видання
комбінованого використання

Конспект лекцій
з дисципліни «**Метрологія, сертифікація та контроль якості продукції**»
для здобувачів освітнього ступеня “бакалавр”
за спеціальностями галузі знань 13 Механічна інженерія
денної форми навчання.

Упорядники: Бутенко Тетяна Іванівна,
Колінько Сергій Олександрович,
Ващенко Вячеслав Андрійович.

В авторській редакції.

© Т. І. Бутенко, С. О. Колінько, В.А. Ващенко, упорядкування, 2021.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
НАВЧАЛЬНО – ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН.....	7
Модуль 1. Метрологія — наука про вимірювання. Фізичні величини та їх одиниці. Принципи та методи вимірювання. Похибки вимірювань фізичних величин. Засоби вимірювальної техніки та похибки. Еталони. Еталонні засоби вимірювальної техніки. Методи підвищення точності вимірювань.....	10
Тема 1. Метрологія — наука про вимірювання. Короткий історичний нарис про розвиток метрології. Метрологія: основні поняття та визначення. Значення метрології для науково-технічного прогресу та промисловості. Міжнародні метрологічні організації. Державні метрологічні організації. Актуальні проблеми метрології.....	10
Тема 2. Фізичні величини та їх одиниці. Види фізичних одиниць. Системи фізичних одиниць величин. Міжнародна система одиниць. Основні одиниці системи СІ. Похідні одиниці системи СІ. Кратні та частинні одиниці.....	15
Тема 3. Принципи та методи вимірювання. Основні поняття про вимірювання. Класифікація вимірювань. Принципи та методи вимірювання. Електричні методи вимірювання неелектричних величин.....	22
Тема 4. Похибки вимірювань фізичних величин. Похибки вимірювань. Класифікація похибок вимірювання. Опис випадкових похибок. Моменти випадкових похибок. Оцінка істинного значення вимірюваної величини. Математична обробка результатів вимірювань.....	28
Тема 5. Засоби вимірювальної техніки та похибки. Засоби вимірювальної техніки. Характеристики засобів вимірювальної техніки. Похибки засобів вимірювальної техніки. Метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки. Класифікація засобів вимірювальної техніки.....	45
Тема 6. Еталони. Загальні поняття про еталони. Класифікація еталонів. Еталони одиниці довжини, маси, часу, сили електричного струму, температури, сили світла.	56
Тема 7. Зразкові засоби вимірювальної техніки. Загальні відомості про повірочні схеми. Способи перевірки засобів вимірювальної техніки.....	62
Тема 8. Методи підвищення точності вимірювань. Аналіз похибок засобів вимірювання. Метод стабілізації параметрів статичних характеристик. Метод структурної надмірності. Метод зменшення випадкової складової похибки. Метод зменшення систематичної складової похибки. Метод	

зменшення випадкової і систематичної складових похибок. Структурні методи зменшення мультиплікативних і адитивних похибок.....	66
Модуль 2. Державна метрологічна служба України. Державна система стандартизації України. Основи сертифікації.....	71
Тема 9. Державна метрологічна служба України. Метрологічне забезпечення єдності вимірювань. Основні цілі та завдання метрологічного забезпечення. Метрологічна служба України. Структура метрологічної служби України. Державна метрологічна служба. Метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій. Відомча метрологічна служба. Державний метрологічний контроль і нагляд.....	71
Тема 10. Державна метрологічна служба України. Державні випробування засобів вимірювальної техніки. Повірка, ревізія та експертиза засобів вимірювальної техніки. Державна служба єдиного часу і еталонних частот. Державна служба стандартних зразків складу і властивостей речовин та матеріалів. Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів.....	76
Тема 11. Основи сертифікації та систем якості. Розвиток сертифікації. Міжнародна система сертифікації. Сертифікація в Україні. Основні визначення та терміни в галузі сертифікації. Національна система сертифікації УкрСЕПРО.....	79
Тема 12. Особливості управління якістю продукції. Основи акредитації. Загальні правила і порядок проведення робіт з сертифікації Державна система Укр СЕПРО.....	88
Тема 13. Атестація виробництва та вимоги до нормативних документів на продукцію, що сертифікується. Порядок акредитації випробувальних лабораторій та вимоги до них. Контроль якості продукції. Системи управління якістю.....	92
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.....	98

ВСТУП

Науково-технічний прогрес у науці та техніці значно посилив роль метрології як науки про вимірювання. Прогрес багатьох напрямків науки і техніки і передусім розробка нових сучасних засобів вимірювання та їх практичне використання неможливі без випереджувачого розвитку метрології. Одним із важливих завдань метрології є забезпечення єдності вимірювань та достовірності їх результатів, оскільки останнім часом різко підвищилися вимоги до точності вимірювань, збільшилася кількість вимірюваних величин. Мета навчання - поглиблення набутих та надання студентам спеціальних знань про методи теоретичних і емпіричних досліджень, етапи науково-дослідних робіт, структуру метрологічного забезпечення, наукові, нормативні та організаційні компоненти цього забезпечення.

Основним завданням вивчення дисципліни даної дисципліни є: систематизація набутих та надання спеціальних знань з метрології, сертифікації та контролю якості продукції студентам у такому об'ємі, які б задовольняли попит на бакалавра з матеріалознавства у сучасному народно-господарському комплексі України.

В результаті вивчення курсу студент має набути таких компетенцій:

- знати фізичні величини та їх характеристики. Уміти підбирати державні стандарти з основних одиниць фізичних величин міжнародної системи одиниць та прилади або обладнання з метою дослідження властивостей матеріалів та фізико-технічних процесів обробки;

- уміти підбирати необхідний інструмент і вимірювальне обладнання, вміти працювати з ними, використовувати існуючі підходи щодо метрологічного забезпечення досліджень з метою отримання достовірних результатів вимірювання;

- уміти працювати з технічною документацією до вимірювального обладнання і інструменту, складати алгоритм роботи з використанням даного інструменту і обладнання;

- уміти використовувати сучасні комп'ютерні методи для обрахунку результатів вимірювання;

- уміти обробляти отримані результати, використовуючи стандарти, аналізувати і осмислювати їх достовірність з урахуванням опублікованих матеріалів;

- уміти подавати підсумки виконаної роботи у вигляді звітів, рефератів, наукових статей, доповідей і заявок на винаходи тощо згідно з установленими вимогами із залученням сучасних засобів редагування і друку.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

знати:

- основні закони за зазначеними розділами дисципліни;
- способи досягнення єдності і точності вимірювань;
- методи визначення і контролю показників якості;

- основні методи одержання й обробки результатів метрологічних вимірювань;

- структуру державної метрологічної служби України;
- організацію стандартизації в Україні;
- види стандартів і їхнє застосування;
- порядок розробки нормативних документів;
- схеми та порядок проведення сертифікації;
- основні положення і структуру державної системи сертифікації

УкрСЕПРО;

- вимоги до лабораторій і порядок їхньої акредитації;
- теоретичні основи управління і забезпечення якості продукції на підприємствах;

вміти:

- користуватися необхідною нормативною документацією в процесі розробки і застосування стандартів на продукцію, послуги, здійснювати пошук необхідної інформації в цьому напрямку;
- користуватися вимірювальними інструментами, пристосуваннями і т.п. та опрацьовувати отримані результати;
- застосовувати елементи систем якості.

НАВЧАЛЬНО-ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

№ п/п	НАЗВА ТЕМИ	НАЗВИ ПІДТЕМ
1.	Метрологія — наука про вимірювання. Короткий історичний нарис про розвиток метрології.	Метрологія: основні поняття та визначення. Значення метрології для науково-технічного прогресу та промисловості. Міжнародні метрологічні організації. Державні метрологічні організації. Актуальні проблеми метрології.
2.	Фізичні величини та їх одиниці.	Види фізичних одиниць. Системи фізичних одиниць величин. Міжнародна система одиниць. Основні одиниці системи СІ. Похідні одиниці системи СІ. Кратні та частинні одиниці.
3.	Принципи та методи вимірювання.	Основні поняття про вимірювання. Класифікація вимірювань. Принципи та методи вимірювання. Електричні методи вимірювання неелектричних величин.
4.	Похибки вимірювань фізичних величин. Похибки вимірювань.	Класифікація похибок вимірювання. Опис випадкових похибок. Моменти випадкових похибок. Оцінка істинного значення вимірюваної величини. Математична обробка результатів вимірювань.
5.	Засоби вимірювальної техніки та похибки.	Засоби вимірювальної техніки. Характеристики засобів вимірювальної техніки. Похибки засобів вимірювальної техніки. Метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки. Класифікація засобів вимірювальної техніки.
6.	Еталони.	Загальні поняття про еталони. Класифікація еталонів. Еталони

		одиниці довжини, маси, часу, сили електричного струму, температури, сили світла.
7.	Зразкові засоби вимірювальної техніки..	Загальні відомості про повірочні схеми. Способи повірки засобів вимірювальної техніки
8.	Методи підвищення точності вимірювань	. Аналіз похибок засобів вимірювання. Метод стабілізації параметрів статичних характеристик. Метод структурної надмірності. Метод зменшення випадкової складової похибки. Метод зменшення систематичної складової похибки. Метод зменшення випадкової і систематичної складових похибок. Структурні методи зменшення мультиплікативних і адитивних похибок.
9.	Державна метрологічна служба України. Метрологічне забезпечення єдності вимірювань. Основні цілі та завдання метрологічного забезпечення. Метрологічна служба України.	Структура метрологічної служби України. Державна метрологічна служба. Метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій . Відомча метрологічна служба. Державний метрологічний контроль і нагляд.
10.	Державна метрологічна служба України. Державні випробування засобів вимірювальної техніки.	Повірка, ревізія та експертиза засобів вимірювальної техніки. Державна служба єдиного часу і еталонних частот. Державна служба стандартних зразків складу і властивостей речовин та матеріалів. Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів.
11.	Основи сертифікації та систем якості. Розвиток сертифікації.	Міжнародна система сертифікації. Сертифікація в Україні. Основні визначення та терміни в галузі сертифікації. Національна система сертифікації УкрСЕПРО.
12.	Особливості управління якістю	Основи акредитації. Загальні

	продукції..	правила і порядок проведення робіт з сертифікації Державна система Укр СЕПРО
13.	Атестація виробництва та вимоги до нормативних документів на продукцію, що сертифікується.	Порядок акредитації випробувальних лабораторій та вимоги до них. Контроль якості продукції. Системи управління якістю.

Лекція 1

МЕТРОЛОГІЯ — НАУКА ПРО ВИМІРЮВАННЯ

План лекції

1. Основні поняття та визначення метрології.
2. Міжнародні метрологічні організації.
3. Державні метрологічні організації.
4. Актуальні проблеми метрології.

1. Основні поняття та визначення метрології

Метрологія — це наука про вимірювання, методи та засоби забезпечення єдності вимірювань і способи досягнення необхідної їх точності.

Єдність вимірювань — стан вимірювань, коли результати виражені у прийнятих одиницях, а похибки вимірювань прийняті із заданою ймовірністю.

Точність вимірювань означає максимальну наближеність їх результатів до істинного значення вимірюваної величини.

Основні визначення і поняття у метрології закріплені законодавчою метрологією, що обумовлює єдиний підхід до визначення змісту основних наукових положень і визначень (**ДСТУ 2681—94**).

Метрологія має важливе значення для науково-технічного прогресу, оскільки без вимірювань, без постійного підвищення їх точності неможливий розвиток жодної з галузей науки і техніки. Завдяки точним вимірюванням стали можливими численні фундаментальні відкриття. Наприклад, вимірювання густини води з підвищеною точністю обумовило відкриття у 1932 р. важкого ізотопу водню — дейтерію, мізерний вміст якого у звичайній воді здатний збільшувати її густину.

Поряд з метрологією формувалися теоретичні основи вимірювальної техніки в цілому та окремих видів вимірювань, наприклад, електричні, оптичні, механічні. Нові засоби вимірювальної техніки розробляються на основі сучасних досягнень у галузі математики, фізики, радіоелектроніки, біології, теорії автоматичного управління, теорії зв'язку тощо. Перелічені галузі науки у свою чергу використовують досягнення теорії вимірювань, метрології, вимірювальної техніки.

2. Міжнародні метрологічні організації

Розширення культурних і економічних зв'язків між державами світу потребувало вирішення одного із невідкладних завдань — **забезпечення міжнародної єдності вимірювань і одноманітності мір**.

Першим кроком до вирішення цієї проблеми стало впровадження наприкінці XVIII ст. у Франції метричної системи мір.

Вищим органом Міжнародної метричної конвенції є Генеральна

конференція з мір і ваги (ГКМВ), яка збирається **один раз на 6 років** для обговорення наукових проблем з метрології та прийняття необхідних заходів щодо розповсюдження та вдосконалення метричної системи. Структурна схема органів міжнародної метричної конвенції наведена на рис. 1.1.

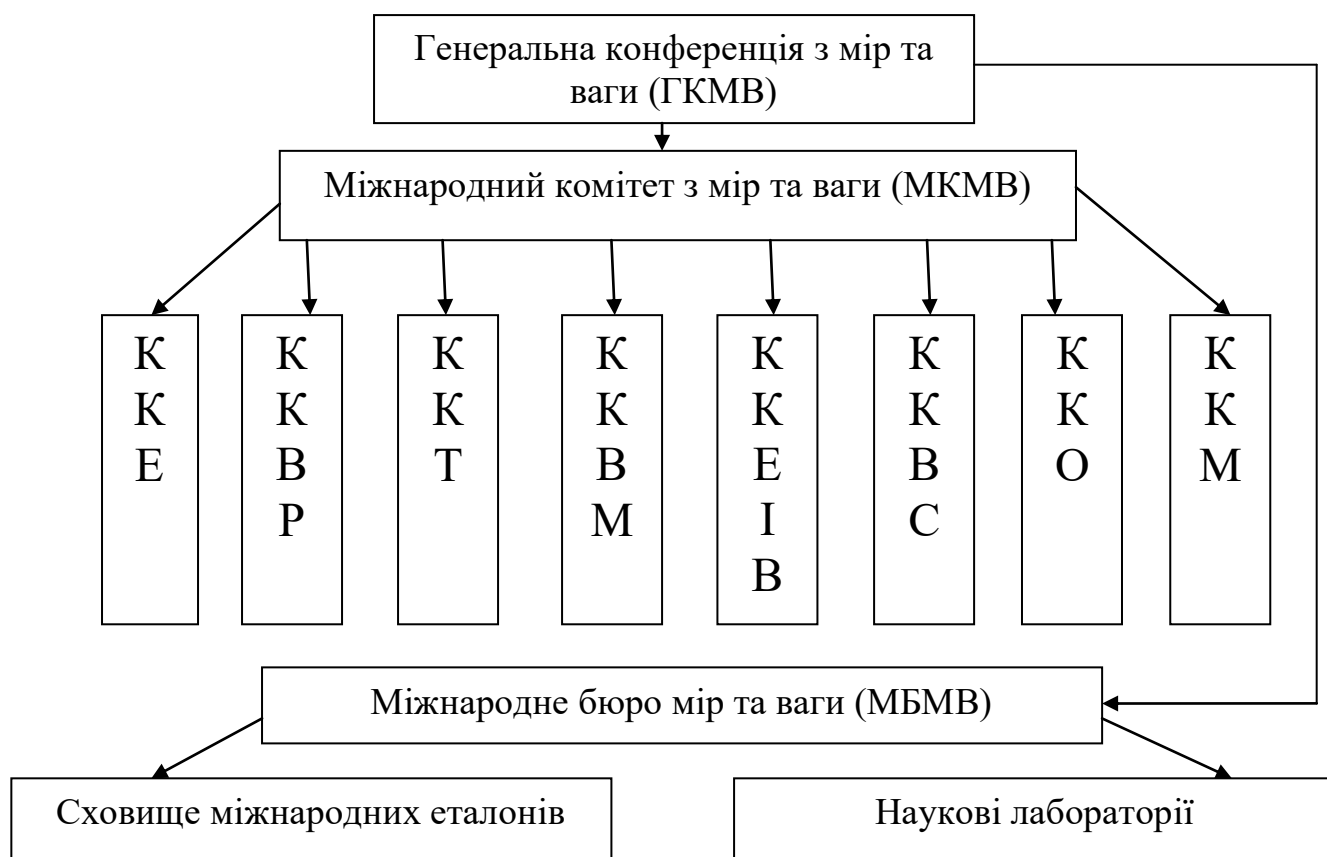


Рисунок 1.1 – Органи міжнародної метричної конвенції:
 консультативні комітети: ККЕ — з електрики; ККФР — фото-і радіометрії; ККТ — з термометрії; ККВМ — з визначення метра; ККВС — з визначення секунди; ККЕІВ — еталонів Іонізуючого випромінювання; ККО — з одиниць; ККМ — з визначення маси

Одним із важливих положень Метричної конвенції є Підтвердження нею згоди держав на утворення **Міжнародного бюро мір і ваги (МБМВ)** як наукового постійно діючого метрологічного закладу для наукової роботи та сприяння поширенню метричної системи мір у міжнародному масштабі.

Діяльністю МБМВ керує Міжнародний комітет мір і ваги (МКМВ), який щороку заслуховує і затверджує звіт про роботу бюро, його плани та фінансування тощо. При МКМВ працюють 8 консультативних комітетів (див. рис. 1.1).

Міжнародне бюро мір і ваги розташоване у Севрі (поблизу Парижа). В його спеціальних приміщеннях зберігаються міжнародні еталони метра, кілограма, електричних і світлових одиниць, радіоактивності тощо. Бюро організовує регулярні міжнародні звіряння національних еталонів довжини,

маси, електрорушійної сили, електричного опору, сили світла, світлового потоку, джерела іонізаційного випромінювання та інших зразків мір.

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

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

У складі Міжнародної організації законодавчої метрології є **Міжнародне бюро законодавчої метрології**, розташоване у Парижі. Його роботою керує комітет законодавчої метрології. У Міжнародній організації законодавчої метрології функціонує 66 секретаріатів-доповідачів, які розробляють як загальні питання законодавчої метрології, так і питання щодо окремих видів приладів (ваги, тахометри, манометри, спиртометри та ін.).

Нині Міжнародну Метричну конвенцію підписали 44 держави, а метрична система мір визнана й узаконена 129 державами.

3. Державні метрологічні організації

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

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

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

Міжнародна рада з питань стандартизації, метрології та сертифікації координує і розробляє рішення щодо проведення організаційних, методичних і

науково-дослідних робіт з питань стандартизації, метрології та сертифікації. До її складу входять представники держав-учасниць, які від імені держав наділяються правом бути членами ради і уповноваженими представниками держав для виконання функцій, покладених на Раду.

Робочим органом Ради є постійно діючий технічний секретаріат, який знаходиться у Мінську.

Вищим органом з питань стандартизації, метрології та якості продукції є **Державний комітет України** з питань стандартизації, метрології та сертифікації (Держстандарт України).

Держстандарт України здійснює державне управління забезпеченням єдності вимірювань в Україні і організовує проведення фундаментальних досліджень в галузі метрології, створення та функціонування еталонної бази України, проведення перевірок засобів вимірювальної техніки та ін.

Рішення Держстандарту України з питань метрології є обов'язковими для виконання центральними та місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, підприємствами, організаціями, громадянами — суб'єктами підприємницької діяльності та іноземними виробниками.

На початку ХХІ століття Україна реалізує свій державний суверенітет з метою визначення свого місця серед міжнародного товариства і забезпечення миру, стабільності, добробуту українському народу, а також заради активної участі у світовій торгівлі та науковому співробітництві.

Процес вступу України до СОТ розпочався 30 листопада 1993 року, 16 травня 2008 року Україна стала повноправним членом цієї Організації.

Набуття Україною членства в СОТ створило необхідні передумови для підписання у червні 2010 року Угоди про вільну торгівлю з Європейською асоціацією вільної торгівлі (Норвегія, Швейцарія, Ісландія та Ліхтенштейн), яка набрала чинності з 1 червня 2012 року; стало потужним стимулом для започаткування переговорів з Європейським Союзом щодо створення зони вільної торгівлі. Політичну частину Угоди про асоціацію з Європейським Союзом України було підписано 21 березня 2014 року. Економічну частину цієї угоди було підписано 27 червня 2014 року.

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

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

З метою підвищення ефективності метрологічної діяльності створюється

наукова, технічна та організаційно-правова база метрології. За станом на 1998 рік у сфері метрології діє понад 40 національних нормативних документів (ДСТУ) і понад 350 Міжнародних стандартів (ГОСТів).

4.Актуальні проблеми метрології

Науково-технічний прогрес прямо пов'язаний з інтенсивним розвитком метрології і точних вимірювань, необхідних як для розвитку природних і точних наук, так і для створення нових технологій та вдосконалення засобів технічного контролю. Все це ставить перед метрологією низку важливих і невідкладних завдань.

У галузі одиниць вимірювань одним із важливих завдань є уніфікація їх на базі широкого впровадження Міжнародної системи одиниць (СІ). Незважаючи на універсальність цієї системи, ще багато одиниць вимірювання є позасистемними і потребують систематизації та уніфікації.

Значно підвищуються вимоги до засобів вимірювання найвищого рівня — еталонів. Точність вимірювання у промисловості у багатьох випадках наближається до граничних технічних меж. На черзі використання знань фундаментальних наук, атомних сталей (енергетичних переходів, випромінювань та ін.), які характеризуються високою стабільністю, для розробки нових, більш досконалих і точних еталонів, а також засобів вимірювальної техніки.

Зросли вимоги до самої системи передачі розміру одиниці фізичної величини від еталона зразковим засобам вимірювання, а від них — технічним засобам за умови найменшої втрати точності, особливо у промислових процесах. Сучасні еталони і способи передачі розміру одиниці фізичної величини мають бути бездоганними і відповідати вимогам еталона.

Невідкладним завданням є забезпечення точних вимірювань досить малих і достатньо великих значень тиску, температури, частоти, витрат та інших параметрів.

Актуальною сьогодні є проблема розробки інтелектуальних датчиків і на їх базі систем автоматичного контролю, прогнозування та діагностики наукових досліджень.

Як наукова основа вимірювальних систем метрологія повинна забезпечувати надійність, достовірність і правильність вимірювальної інформації, а також законодавчо регламентувати єдність вимірювань у державі, єдність методів і одноманітність засобів контролю за технологічними процесами і продукцією. Метрологія, узагальнюючи практичний досвід вимірювань, регулює розвиток вимірювальної техніки та методів вимірювань.

Лекція 2

ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ ТА ЇХ ОДИНИЦІ

План лекції

1. Види фізичних величин.
2. Системи фізичних одиниць величин.
3. Міжнародна система одиниць.
4. Основні одиниці системи СІ.
5. Похідні одиниці системи СІ. Кратні та частинні одиниці.

1. Види фізичних одиниць

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

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

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

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

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

Друга група величин характеризується тим, що відношення порядку й

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

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

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

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

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

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

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

2. Системи фізичних одиниць величин

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

У 1882 році вчений К. Гаусе запропонував методикку побудови системи величин і одиниць як сукупності основних та похідних. Він побудував систему величин, у якій за основу були прийняті три довільні, незалежні одна від одної величини: довжина, маса та час. Решта величин визначалась за допомогою вибраних трьох. Цю систему величин, що відповідним чином пов'язана з трьома основними величинами (довжиною, масою і часом), К. Гаусе назвав абсолютною системою. Основними одиницями він запропонував увести міліметр, міліграм і секунду.

З подальшим розвитком науки і техніки виникли інші системи одиниць фізичних величин, які відрізнялися одна від одної одиницями фізичних величин.

Система СГС

У 1881 році Першим Міжнародним конгресом електриків була прийнята система одиниць фізичних величин СГС, до складу якої основними одиницями увійшли: **сантиметр** — одиниця довжини; **грам** — одиниця маси і **секунда** — одиниця часу, а також похідні: дина — одиниця сили та ерг — одиниця роботи. Для вимірювання потужності у системі СГС була прийнята одиниця — ерг за секунду, для вимірювання кінетичної в'язкості — стокс, динамічної в'язкості — пуаз.

Вимірювання тиску в системі СГС прийняте у динах на квадратний сантиметр.

Для механічних і магнітних вимірювань сьогодні є чинними сім видів СГС, із яких найпоширенішими є такі: СГСЕ, СГСМ, СГС (симетрична) та ін.

Значна кількість фізичних констант і нині виражаються у одиницях СГС.

Система МКГСС

Наприкінці XVIII ст. кілограм було прийнято за одиницю ваги. Використання кілограма як одиниці ваги, а пізніше як одиниці сили наприкінці XIX ст. обумовило формування нової системи одиниць фізичних величин з **трьома** одиницями: **метр** — одиниця довжини, **кілограм-сила** (кгс) — одиниця сили і **секунда** — одиниця часу (система МКГСС). Кілограм-сила — це сила, яка надає масі в один кілограм прискорення $9,80665 \text{ м/с}^2$ (нормальне прискорення вільного падіння).

Система МКГСС набула значного поширення у механіці та техніці і неофіційно називалася "технічною". Однією з причин широкого використання системи виявилася зручність подання сили в одиницях ваги і розмір основної одиниці сили — кілограм-сила. Проте незважаючи на поширення МКГСС дедалі більше виявляються її недоліки, зумовлені використанням її як головної одиниці сили, а не маси.

Система МТС

Основними одиницями системи МТС є: одиниця довжини — **метр**, одиниця маси — **тонна** і одиниця часу — **секунда**. Система вперше була прийнята у 1919 році у Франції.

Прийняття тонни за основну одиницю маси здавалося вдалим, бо забезпечувало відповідність між одиницями довжини та об'єму і одиницею

маси: одна тонна відповідала одному кубічному метру. Крім того, одиниця роботи і енергії у цій системі (кілоджоуль) і одиниця потужності (кіловат) збігалися з відповідними кратними практичними електричними одиницями.

У системі МТС за одиницю сили прийнято стен (сн), що дорівнює силі, яка надає масі в одну тонну прискорення 1 м/с^2 , а за одиницю тиску — п'єза (сн/м²).

Проте у нашій країні ця система не знайшла практичного застосування і не увійшла до Держстандарту, а в 1961 році була законодавчо відмінена й у Франції.

Абсолютна практична система електричних одиниць

Абсолютна практична система електричних одиниць була ухвалена у 1881 році Першим Міжнародним конгресом електриків як похідна від системи СГСМ і призначалася для практичних вимірювань електричних та магнітних величин. Електричні й магнітні одиниці системи СГС виявилися досить незручними для практичного використання, бо одні були надто великими, інші — надто малими. В абсолютній практичній системі електричні й магнітні одиниці були утворені із відповідних одиниць системи СГСМ перемноженням їх на 10 у відповідній степені.

Позасистемні одиниці

Поряд із системними одиницями фізичних величин у практиці вимірювання використовувалися одиниці, які не входили до складу жодної із систем — так звані позасистемні одиниці. Значного поширення набули одиниці тиску: атмосфера, бар, міліметр ртутного стовпа, міліметр водяного стовпа. Позасистемними одиницями часу є хвилина, година; одиницями довжини — ангстрем, світловий рік, парсек; одиницями площі — ар, гектар; одиницями електричної енергії — електрон-вольт, кіловат-година; одиницями акустичних величин — децибел, фон, октава та ін.

Проте при уніфікації одиниць і ухваленні єдиної системи одиниць кількість позасистемних одиниць має бути скорочена до мінімуму. До того ж багато позасистемних одиниць є кратними системі СІ і можуть використовуватися для практичних вимірювань (тонна, міліметр, мікрон та ін.).

3. Міжнародна система одиниць

Наявність численних систем одиниць фізичних величин, а також значної кількості позасистемних одиниць спричинило багато незручностей при переході від однієї системи одиниць в іншу, а отже, потрібно було якнайшвидше уніфікувати одиниці вимірювання. Необхідна була єдина система одиниць фізичних величин, яка була б зручною для практичних вимірювань у різних галузях вимірювань ТС зберігала б принцип когерентності.

Так, система МКГСС успішно використовувалася у механіці та прикладних науках, але не узгоджувалась з практичними електричними одиницями. Розміри одиниць системи СГС широко використовувалися у фізиці, але були надто незручні для використання у техніці.

У 1954 році X Генеральна конференція з мір і ваги встановила шість основних одиниць (метр, кілограм, секунда, ампер, градус Кельвіна, свічка) практичної системи одиниць для міжнародних відносин. На цей час членами Метричної конференції стали близько 40 найрозвинутіших держав. Одночасно Міжнародний комітет з мір і ваги створив КОМІСІЮ щодо розробки єдиної Міжнародної системи одиниць. Система одержала назву Міжнародної системи одиниць, скорочено СІ (SI — початкові букви французької мови Systeme International).

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

Міжнародна система одиниць прийнята Міжнародним союзом фізиків, Міжнародною електротехнічною комісією та іншими міжнародними організаціями. Організація об'єднаних націй з освіти, науки і культури (ЮНЕСКО) закликала усі країни ухвалити Міжнародну систему одиниць. Сьогодні **115** держав приєдналися до Метричної конвенції, і в більшості країн система СІ визнана чинною законодавчо.

У 1981 році в СРСР уведено в дію стандарт ГОСТ 8.417—81 "Одиниці фізичних величин", у якому за основу взято Міжнародну систему одиниць, і затверджено до обов'язкового виконання.

У 1997 році Держстандарт України ухвалив постанову про введення у державі Міжнародної системи одиниць ДСТУ 3651.097 "Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні назви, положення та позначення".

4. Основні одиниці системи СІ

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

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

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

Визначення основних одиниць відповідно до рішення Мінеральної конференції з мір і ваги:

метр — довжина шляху, який проходить світло у вакуумі за $1/29979245$ частину секунди;

кілограм — одиниця маси, що дорівнює масі Міжнародного прототипу кілограма;

секунда — $9\,192\,631\,770$ періодів випромінювання переходу між двома

надтонкими рівнями основного стану атома цезію-133;

ампер — сила незмінного струму, який, проходячи через для паралельних прямолінійних провідники нескінченної довжини і занадто малого круглого перерізу, що розміщені на відстані метра один від одного у вакуумі, утворив би між провідниками силу в 2×10^{-7} Н на кожний метр довжини;

кельвін — одиниця термодинамічної температури — $1/273,16$ частини термодинамічної температури потрійної токи води;

кандела — сила світла, що випромінюється з площі у $1/600\,000$ м² перерізу повного випромінювача у перпендикулярному до цього перерізу напрямку при температурі затвердіння платини та тиску 101 325 Па;

Моль — кількість речовини, яка вміщує стільки ж молекул (атомів, частинок), скільки вміщується атомів у нукліді вуглецю-12 масою в 0,012 кг.

Основні одиниці системи СІ

Величина	Одиниця вимірювання	Скорочені позначення одиниць	
		Українські	Латинські
Довжина	метр	м	m
Маса	кілограм	кг	kg
Час	секунда	с	s
Сила електричного струму	ампер	А	A
Термодинамічна температура	кельвін	К	K
Сила світла	кандела	кд	kd
Кількість речовини	моль	моль	mol

5. Похідні одиниці системи СІ

Крім основних одиниць СІ є велика група похідних одиниць, які визначаються за законами взаємозв'язків між фізичними величинами або ж на основі визначення фізичних величин. Відповідні похідні одиниці СІ виводяться із рівнянь зв'язку між величинами. Залежно від наукового напрямку утворені похідні одиниці для простору, часу, механічних, теплових, електричних, магнітних, акустичних, світлових величин та величин іонізуючого випромінювання (додаток 1).

Поряд з основними та похідними одиницями Міжнародної системи СІ є ще позасистемні одиниці. Вони широко застосовуються у повсякденному житті. Крім названих, є ще позасистемні одиниці тимчасового використання (морська миля, яка дорівнює — 1852 м, гектар — $10\,000$ м², ар — 100 м², бар — 10^8 Па та

ін.), а також відносні та логарифмічні величини.

Найпрогресивнішим способом утворення кратних та частинних одиниць є прийнята у метричній системі мір десяткова кратність між великими і малими одиницями. Десяткові кратні та частинні одиниці від одиниць СІ утворюються шляхом використання множників та приставок від 10^{+18} до 10^{-24} .

Лекція 3 ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ

План лекції:

1. Основні поняття про вимірювання.
2. Класифікація вимірювань.
3. Принципи та методи вимірювання.

1. Основні поняття про вимірювання

Вимірювання — це процес експериментального відшукування значень фізичної величини за допомогою спеціальних засобів вимірювання. **Точні й вірогідні** вимірювання фізичних величин, технологічних параметрів мають велике значення для науки, техніки та управління технологічними та тепловими процесами харчової промисловості.

Відповідно до стандарту ДСТУ 2681—94, вимірювання є відображенням вимірюваних величин, їх значень шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів.

Число, яке виражає відношення вимірюваної величини до одиниці вимірювання, називається числовим значенням вимірюваної величини. Воно може бути цілим або дробовим, але обов'язково абстрактним числом. Значення величини, прийняте за одиницю вимірювання, називається розміром цієї одиниці.

Якщо A — вимірювана величина, U — одиниця вимірювання, g — числове значення вимірюваної величини, то результат вимірювання A можна записати у вигляді такого рівняння:

$$A = gU. \quad (3.1)$$

Формула 3.1 називається основним рівнянням вимірювань. Права частина рівняння називається результатом вимірювання і завжди має розмірність одиниці фізичної величини, а число g показує, скільки разів одиниця вимірювання U вміщується у вимірюваній величині. Тому при написанні результату вимірювання поряд з числовим значенням вимірюваної величини слід ставити позначення відповідної одиниці.

Якщо при вимірюванні величини A замість одиниці U взяти іншу одиницю — U_1 , то формула 3.1 матиме такий вигляд:

$$A = g_1 U_1, \quad (3.2)$$

Спільно розв'язуючи ці два рівняння, одержимо:

$$gU = g_1 U_1$$
$$g_1 = g(U/U_1). \quad (3.3)$$

Із формули 3.3 видно, що для переходу від результату вимірювання g , вираженого в одиницях U , до результату g_1 вираженого в одиницях U_1 необхідно g помножити на співвідношення прийнятих одиниць.

2. Класифікація вимірювань

На результати вимірювань впливає досить багато чинників: зовнішні умови, методи, технічні засоби вимірювання, стан експериментатора та ін. Зважаючи на численність різних чинників та умов проведення експерименту, вимірювання можна класифікувати за характером зміни вимірюваної величини в часі, за способом одержання числового значення, точністю та ін.

- 1) За характером зміни вимірюваної величини в часі вимірювання можна розділити на статичні та динамічні.

Статичні вимірювання — це вимірювання, при яких протягом певного проміжку часу вимірювана величина майже не змінюється або ж її значення змінюється поступово відповідно до процесу виробництва. Статичні вимірювання (рис. 3.1) використовуються, як правило, для встановлення взаємозв'язку між фізичними величинами одного і того самого об'єкта дослідження. Вони застосовуються у пасивних експериментах і забезпечують задовільний рівень наочності при зміні вимірюваних величин за певний проміжок часу (годину, зміну, добу).

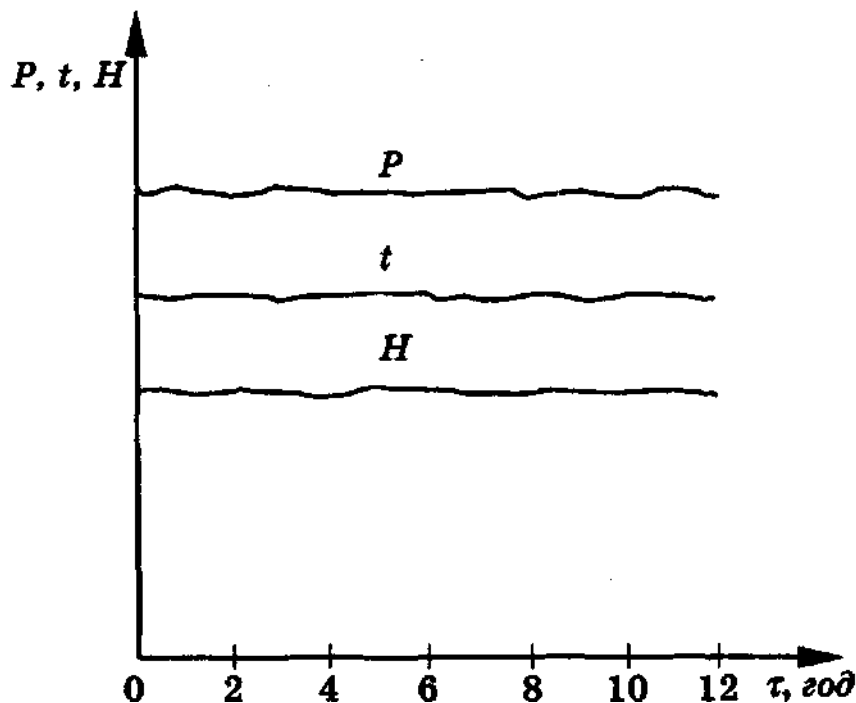


Рисунок 3.1— Статичні характеристики вимірюваних величин — тиску, температури та рівня за проміжок часу

Динамічні вимірювання — вимірювання, які показують зміну вимірюваної величини в часі при різних збуреннях, що впливають на об'єкт дослідження або ж на засіб вимірювання. Динамічні вимірювання дають можливість вивчати динамічні властивості об'єкта і засобів вимірювальної

техніки, особливо первинних перетворювачів (датчиків).

На рис. 3.2 показано перехідний процес вимірюваної величини X_d у часі t при різкій зміні вимірюваної величини на вході приладу. Як видно з графіка, показання приладу Y_d досягають сталого значення Y лише через певний час і наближаються до нього поступово відповідно до експоненціального закону. Різниця між показаннями приладу Y_d і дійсним значенням вимірюваної величини Y називається **динамічною похибкою**: $\Delta_d = Y - Y_d$. На графіку (рис. 3.2) показані параметри, які характеризують динаміку процесу вимірювання.

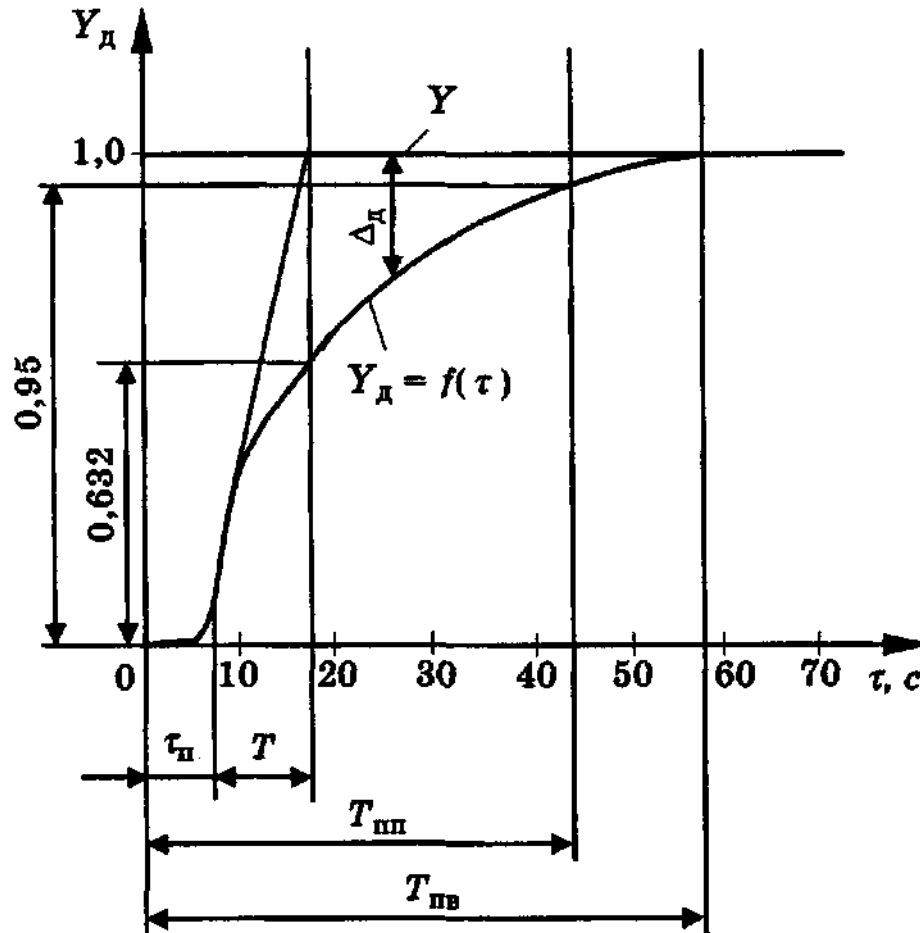


Рисунок 3.2 – Динамічна характеристика вимірюваної величини

У загальному випадку для опису лінійних вимірювальних засобів використовуються лінійні диференціальні рівняння. Якщо ж вимірювальний засіб має нелінійні елементи, то їх характеристики можна лінеаризувати, тобто звести до лінійних диференціальних рівнянь з припустимою і достатньою точністю. Це дає змогу використати лінійні диференціальні рівняння виду

$$\begin{aligned}
 & a_n (d^n y / d\tau^n) + a_{n-1} (d^{n-1} y / d\tau^{n-1}) + \dots \\
 & \dots + a_1 (dy / d\tau) + a_0 y = b_m (d^m x / d\tau^m) + \\
 & + b_{m-1} (d^{m-1} x / d\tau^{m-1}) + \dots + b_1 (dx / d\tau) + b_0 x. \quad (3.4)
 \end{aligned}$$

Поряд з диференціальними рівняннями для опису динаміки перехідних

процесів вимірювальних систем доцільно використовувати передаточні функції. Динамічні характеристики засобів вимірювання, які характеризують їх реакцію на гармонійні коливання у широкому діапазоні частот, називають частотними характеристиками, які містять в собі амплітудно-частотні та фазо-частотні характеристики. Частотні характеристики можна одержати як експериментально, так і розрахунковим шляхом.

- 2) За способом одержання числового значення вимірюваної величини вимірювання поділяються на прямі, посередні, сукупні та сумісні.

Прямими називаються такі вимірювання, за яких значення вимірюваної величини визначається безпосередньо за експериментальними даними (вимірювання довжини метром, вимірювання температури термометром, тиску манометром та ін.). Прямі вимірювання найпростіші і найпоширеніші у промисловості.

Посередніми називаються такі вимірювання, за яких значення вимірюваної величини визначається за допомогою відомих математичних залежностей між цією величиною і величиною, яка визначається прямими вимірюваннями. Наприклад: визначення об'єму рідини у циліндричній посудині за висотою рідини в ній та площею дна $S - V = Sh$; густини рідини за масою і її об'ємом — $\rho = m/V$ та ін.

У загальному вигляді вимірювана величина визначається за формулою

$$X = f(y_1, y_2, y_3 \dots), \quad (3.5)$$

де y_1, y_2, y_3 — значення величин, виміряних прямим способом;

1 — функціональна залежність.

При **сукупних** вимірюваннях числове значення вимірюваної величини визначається розв'язком системи рівнянь, одержаних шляхом сукупних прямих вимірювань однієї або декількох однойменних величин (наприклад, визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення).

При **сумісних** вимірюваннях одночасно вимірюють дві або декілька різнойменних величин для виявлення залежностей між ними. Як правило, результати таких вимірювань використовуються у наукових дослідженнях.

- 3) За точністю вимірювання числових значень вимірюваної величини вимірювання поділяються на три групи.

1. **Вимірювання з максимально можливою точністю** відповідно до наявного технічного рівня. Це вимірювання за допомогою еталонів, спрямовані насамперед на відтворення встановлених одиниць фізичних величин або ж фізичних констант.

2. **Контрольно-повірочні вимірювання**, похибки яких не перевищують деяких наперед заданих значень. До них підносять лабораторні вимірювання фізичних величин за допомогою зразкових і технічних засобів високих класів

точності. Такі вимірювання проводяться у метрологічних лабораторіях Держстандарту України та науково-дослідних інститутах.

3. **Технічні вимірювання** — вимірювання, які проводяться у промисловості і визначаються невисоким класом точності засобів вимірювання.

4) Залежно від одиниць вимірювання значення вимірюваних величин можна розділити на абсолютні, відносні та приведені.

Абсолютними називаються вимірювання, значення яких подані у абсолютних одиницях фізичних величин (наприклад, тиск у паскалях, довжина в метрах, час у секундах та ін.). **Відносними** називаються вимірювання, значення яких подані як відношення вимірюваної величини до однойменної, умовно прийнятої за одиницю, або ж у відсотках (наприклад, вологість повітря).

4. Принципи та методи вимірювання

Принцип вимірювання — фізичне явище або сукупність фізичних явищ, які покладені в основу вимірювання певної величини. Наприклад, вимірювання температури за допомогою використання термоелектричного ефекту, зміни електричного опору терморезисторного перетворювача чи зміни тиску термометричної речовини газового термометра та ін.

Засіб вимірювальної техніки — технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики.

Метод вимірювання — сукупність способів використання засобів вимірювальної техніки та принципів вимірювань для створення вимірювальної інформації.

Вимірювальна інформація — інформація про вимірювані величини та залежності між ними у вигляді сукупності їх значень.

У метрології у процесі вимірювань найширше застосовуються **прямі методи** вимірювання, що забезпечують визначення шуканої величини за експериментальними даними.

До **прямих методів** вимірювання відносяться: метод безпосередньої оцінки, метод порівняння з мірою, метод протиставлення, нульовий (компенсаційний), диференційний та ін.

Метод безпосередньої оцінки полягає в тому, що вимірювана величина визначається безпосередньо за показниками шкали вимірювального приладу (наприклад, зважування на циферблатних вагах, вимірювання тиску пружинним манометром).

При проведенні точніших вимірювань слід користуватися **методом порівняння з мірою**, який полягає в тому, що вимірювана величина порівнюється з величиною, відтвореною мірою. Результат вимірювання визначається як сума значень порівняльної міри та показів вимірювального приладу або приймається рівним значенню міри (наприклад, аналітичні ваги).

Метод протиставлення — це метод порівняння з мірою, коли вимірювана і відтворена мірою величини одночасно діють на прилад порівняння, за допомогою якого визначається співвідношення між цими величинами. Значення шуканої величини визначається після досягнення рівноваги за значенням зрівноважуючої величини. Наприклад, на важільних вагах маса зваженого вантажу визначається за масою поставлених ваг.

Нульовий (компенсаційний) метод полягає у порівнянні вимірюваної величини з мірою, а результуючий ефект дії величин на прилад доводиться до нуля. Цей метод широко використовується в автоматичних вимірювальних приладах: автоматичних мостах, потенціометрах, аналізаторах рідин, газів та ін. На результати вимірювань, як правило, майже не впливають зовнішні чинники і джерело живлення вимірювальних електричних схем.

Диференціальний (різницевий) метод полягає в тому, що вимірювальним приладом визначається різниця між вимірюваною величиною і величиною-мірою. Наприклад, вимірювання надмірного тиску в апаратах відносно атмосферного тиску за допомогою диференціального манометра типу ДМ.

Метод збіжності є різновидом методу порівняння з мірою і полягає в тому, що різниця між шуканою і відтвореною мірою величинами вимірюється за збігом шкал або періодичних сигналів. Цей метод використовується при вимірюванні точних сигналів часу, частоти обертання тощо. Крім перелічених методів, у метрологічній практиці використовуються багато інших: інтерферентний — для точних вимірювань лінійних величин, фотоелектричний — у машинобудуванні та ін.

Лекція 4

ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

План лекції:

1. Похибки вимірювань.
2. Опис випадкових величин.

1. Похибки вимірювань

Істинне значення фізичної величини — це значення, що ідеально відображає властивості об'єкта як у кількісному, так і в якісному відношеннях. Істинні значення не залежить від засобів нашого пізнання і є абсолютною істиною, до якої наближається спостерігач, намагаючись виразити її як числове значення.

Похибка результатів вимірювання — це число, що показує можливі межі невизначеності значення вимірюваної величини.

Результат вимірювання є продуктом пізнання спостерігача і є приблизною оцінкою значення шуканої величини. Результати залежать від методів вимірювання, технічних засобів, властивостей органів чуття спостерігача, навколишнього середовища й самих фізичних величин. Різниця Δ між результатом вимірювання X та істинним значенням шуканої величини Q називається **абсолютною похибкою вимірювання**:

$$\Delta = X - Q. \quad (4.1)$$

Проте, оскільки істинне значення Q шуканої фізичної величини невідоме, невідомі й похибки вимірювання. Тому для одержання хоча б приблизних відомостей про них у формулу (4.1) замість істинного значення підставляють так зване дійсне A_d . Під останнім слід розуміти значення фізичної величини, знайдене експериментально, яке настільки наближається до істинного, що його можна використовувати у вимірюванні замість істинного. Замість дійсних значень використовують розрахункові значення, обчислені за формулами, покази еталонів, зразкових приладів і точніших технічних засобів вимірювання.

1. Чинники, що з'являються нерегулярно і зникають несподівано або проявляються з непередбачуваною інтенсивністю. До них належать: перекоси елементів приладів за їх напрямними, нерегулярні зміни моментів в опорах, зміна зовнішніх умов та умов навколишнього середовища, послаблення уваги спостерігача тощо. Складова сумарної похибки, яка виникає під впливом цих чинників, називається **випадковою похибкою вимірювань**, її основна особливість полягає у тому, що вона змінюється випадково при повторних визначеннях однієї й тієї самої величини. Крім того, не завжди можна встановити причину виникнення випадкових похибок та передбачити їх інтен-

сивність.

2. Чинники постійні або такі, що закономірно змінюються у процесі вимірювання фізичної величини. До них належать методичні похибки, зміщення стрілки приладу та недосконалість елементів (пружних) засобу вимірювання.

Складові сумарної похибки, що виникають під дією чинників **другої групи, називаються систематичними похибками** вимірювання. Їх особливість полягає в тому, що вони або постійні за величиною, або ж закономірно змінюються при повторних вимірюваннях однієї й тієї самої величини. Таким чином, у процесі визначення фізичної величини, з урахуванням дії багатьох чинників проявляються як випадкові δ , так і систематичні θ похибки вимірювань:

$$\Delta = \delta + \theta. \quad (4.2)$$

Для одержання точних результатів вимірювань, які б мінімально відрізнялися від істинного значення Q , необхідні численні вимірювання із наступним математичним опрацюванням експериментальних даних. Тому найбільше значення має вивчення похибок як функції номера спостережень або ж функції часу. Тоді окремі значення похибок можна розглядати

$\Delta(t)$

як значення цієї функції для окремих (вбірок) спостережень:

$$\Delta_1 = \Delta(t_1); \Delta_2 = \Delta(t_2) \dots \Delta_n = \Delta(t_n). \quad (4.3)$$

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

Систематичні похибки θ зазвичай визначаються і виключаються із результатів вимірювання і називаються **відкоригованими результатами \bar{X} -вимірювань**. Випадкова похибка при цьому дорівнює різниці між відкоригованим результатом вимірювання та істинним або ж дійсним значенням шуканої величини:

$$\delta = \bar{X} - Q; \delta = \bar{X} - A_d. \quad (4.4)$$

При виключенні систематичної похибки вимірювана величина складається із коригованого значення результату вимірювання \bar{X} і випадкової похибки δ , а сама вимірювана величина A стає випадковою величиною: $A = \bar{X} \pm \delta$

2. Опис випадкових похибок

Розглянемо результати спостережень X за величиною Q як випадкову величину, що може набувати різні значення, при різних спостереженнях за нею.

Найуніверсальнішим способом опису випадкових величин є знаходження їх інтегральних або диференціальних функцій розподілу.

Під інтегральною функцією розподілу результатів спостережень слід розуміти залежність ймовірності того, що результат спостереження X_i в i -му досліді буде меншим деякого значення X' від самої величини x :

$$F_x(x) = P\{X_i \leq x\} = P\{-\infty < X_i \leq x\}. \quad (4.5)$$

Розглянемо результати окремих спостережень X_i як випадкові точки на осі Ox , що можуть наближатися до величини Q з лівого боку (рис. 4.1, а) або ж розміщуватися навколо величини Q (рис. 4.2, а).

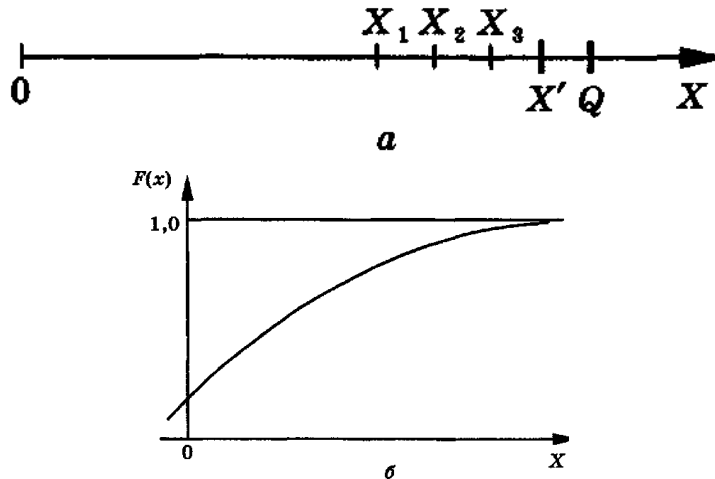


Рисунок 4.1 – Асиметричне розміщення результатів спостережень:

а — на осі Ox ; б — інтегральна функція

При переміщенні точки X^* праворуч по осі Ox ймовірність того, що в результаті вимірювання точки X^* розташуються лівіше від точки X'_i зростає, а інтегральна функція асимптотично наближається до 1 (рис. 4.1, б).

При $X' = Q$, коли результати вимірювань розміщені з правого та лівого боків від Q (рис. 4.2, б), інтегральна функція має точку перегину, тобто розподіл результатів відносно істинного значення шуканої величини буде симетричним.

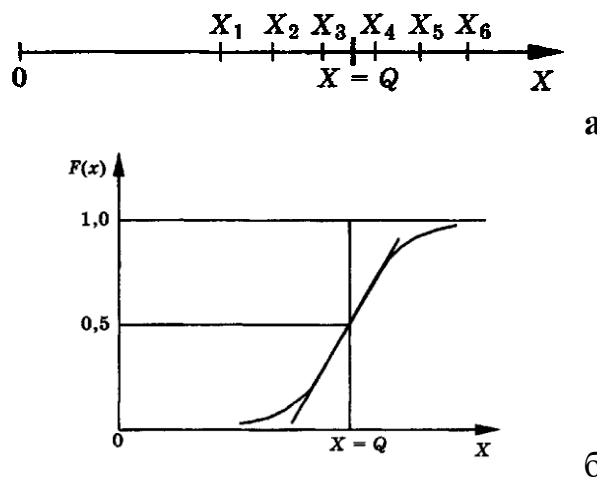


Рисунок 4.2 – Симетричне розміщення результатів спостережень:

а — на осі Ox ; б — інтегральна функція

Таким чином, інтегральна функція дає уявлення про розміщення результатів вимірювання X_t відносно істинного значення вимірюваної величини Q .

Наочнішим є опис результатів спостережень і випадкових похибок за допомогою диференціальної функції розподілу ймовірностей. Вона позначається через $P_x(x)$ і відповідно $P_\delta(\delta)$.

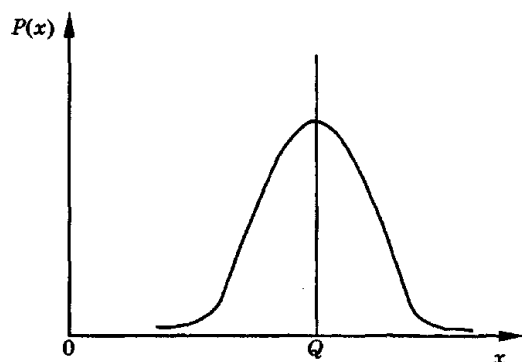
Графік диференціальної функції розподілу, який називається кривою розподілу, має дзвоноподібну форму з максимумом при $X = Q$ (рис. 4.3, а) і

$$P_x = \frac{F_x(x)}{dx}; \quad P = \frac{F(\delta)}{d\delta}. \quad F_x(+\infty) = 1$$

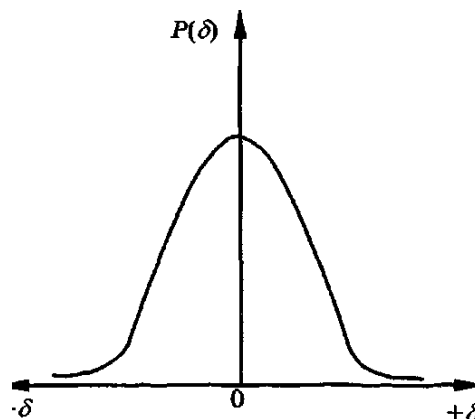
відповідно при $\delta = 0$ (рис. 4.3, б).

Оскільки інтегральна функція, справедлива рівність

$$\int_{-\infty}^{+\infty} P_x(x) dx = \int_{-\infty}^{+\infty} P_\delta(\delta) d\delta = 1. \quad (4.7)$$



а



б

Рисунок 4.3 – Диференціальні функції розподілу:
а — результатів спостережень; б — випадкових похибок

Таким чином, площа, обмежена кривою диференціальної функції розподілу і віссю абсцис, дорівнює 1, а ймовірність попадання результату спостереження і випадкової похибки у заданий інтервал дорівнює цій площі.

Вирази $P_\delta(\delta)d\delta$ і $P_x(X)dx$ називаються елементами ймовірності. Вони дорівнюють ймовірностям того, що випадкові величини δ і X можуть прийняти деяке значення в інтервалах $d\delta$ та dx , тому по формі кривої розподілу можна сказати про те, які інтервали значень випадкових похибок більш чи менш імовірні. Для кривої розподілу випадкових похибок, показаної на рис. 4.3, більш імовірні малі значення похибок, які лежать навколо $\delta = 0$. Ймовірність великих похибок значно менша.

Таким чином, результати спостережень сконцентровані навколо

істинного значення вимірюваної величини, і в міру наближення до нього елементи ймовірності їх виникнення зростають. Це дає право прийняти за оцінку істинного значення вимірюваної величини координату центру тяжіння фігури, утвореної кривою розподілу і віссю абсцис, названої **математичним сподіванням результатів спостережень**:

$$M[X] = m_x = \int_{-\infty}^{+\infty} x P_x dx. \quad (4.8)$$

Виходячи з виразу математичного сподівання, можна зробити чіткіше визначення систематичної та випадкової похибок.

Систематичною похибкою називається різниця між математичним сподіванням результатів спостережень та істинним значенням вимірюваної величини:

$$\theta = M[X] - Q. \quad (4.9)$$

Випадкова похибка — різниця між результатом одиничного спостереження і математичного сподівання результатів:

$$\delta = X_i - M[X]. \quad (4.10)$$

Виходячи з наведених визначень можна вивести істинне значення вимірюваної величини:

$$Q = M[X] \pm \theta \pm \delta. \quad (4.11)$$

Лекція 5

ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

План лекції:

1. Моменти випадкових похибок.

1. Моменти випадкових похибок

Функція розподілу результатів вимірювань чи похибок є універсальним способом опису розміщення випадкових похибок навколо істинного значення. Значно частіше випадкові похибки характеризуються за допомогою обмеженого числа спеціальних величин, які називаються **моментами**.

Початковим моментом k -го порядку результатів спостережень називається інтеграл виду

$$a_k [X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x^k P_x(x) dx = M[X^k], \quad (4.12)$$

що є математичним сподіванням степені X^k . З виразу (4.12) видно, що початковий момент збігається з математичним сподіванням результатів спостережень.

Центральним моментом k -го порядку результатів спостережень називається інтеграл виду

$$\mu_k [X] = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^k P_x(x) dx = M[(X - m_x)^k], \quad (4.13)$$

який є математичним сподіванням величини $(X - m_x)^k$, тобто у випадкової похибки k -ї степені.

Обчислимо перший центральний момент:

$$\begin{aligned} \mu_1 [X] &= \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x) p_x dx = \int_{-\infty}^{+\infty} x p_x dx - m_x \int_{-\infty}^{+\infty} p_x(x) dx = \\ &= m_x - m_x = 0. \end{aligned} \quad (4.14)$$

Таким чином, перший центральний момент результатів спостережень дорівнює нулю.

Поряд з математичним сподіванням результатів спостережень велике значення має другий центральний момент — **дисперсія** розподілу результатів спостережень та похибок вимірювань, яка позначається $D[X]$ і $D[\delta]$:

$$\begin{aligned}
 D[X] &= D[\delta] = M[(X - m^2)] = M[\delta^2] = \\
 &= \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^2 P_x(x) dx = \int_{-\infty}^{+\infty} \delta^2 P_\delta(\delta) d\delta.
 \end{aligned}
 \tag{4.15}$$

Дисперсія розподілу випадкових похибок дорівнює дисперсії розподілу результатів спостережень і характеризує їх розсіювання відносно математичного сподівання. Дисперсія розподілу зростає зі збільшенням елементів ймовірності $\hat{P}_\delta(\delta)dx$, виникненням великих значень випадкових похибок, тобто зі збільшенням розсіювання результатів спостережень.

Якщо математичне сподівання результатів спостережень у механічній інтерпретації можна розглядати як абсцису центру тяжіння фігури, обмеженої кривою розподілу та віссю абсцис, то дисперсію — як момент інерції цієї фігури відносно вертикальної осі, яка проходить через центр тяжіння.

Дисперсія розподілу має розмірність квадрата вимірюваної величини, тому вона незручна для користування. Значно частіше в розрахунках використовується позитивне значення квадратного кореня з дисперсії, яке називається **середнім квадратичним відхиленням результатів спостережень**:

$$\sigma_x = +\sqrt{D[X]} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\delta_i^2)}.
 \tag{4.16}$$

Для характеристики розсіювання результатів спостережень найчастіше використовується математичне сподівання та дисперсія, оскільки вони визначають найважливіші ознаки розподілу: положення центру розподілу і степінь розсіювання результатів вимірювань відносно істинного значення вимірюваної величини.

У практиці вимірювань застосовуються різні закони розподілу випадкових похибок: трикутний, трапецієподібний, прямокутний, симетричний, нормальний. Проте найбільше значення має нормальний закон розподілу (закон Гаусса). Головна особливість нормального закону розподілу полягає в тому, що він є **граничним** законом, до якого наближаються інші закони розподілу при типових для вимірювання умовах, при $n \rightarrow \infty$. Теорією ймовірностей доводиться, що густина ймовірностей суми незалежних малих складових при необмеженому збільшенні їх числа наближається до нормального закону розподілу незалежно від того, які закони розподілу мали ці складові. Якщо врахувати, що випадкова похибка є результатом дії великої кількості випадкових чинників, роль кожного з яких при точних вимірюваннях невелика, то стає зрозумілим значення нормального закону в теорії вимірювань.

Найчастіше при вивченні випадкових похибок використовується нормальний закон розподілу, диференціальна функція якого описується рівнянням:

$$P_{\delta}(\delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}. \quad (4.17)$$

На рис. 4.4 подано графік нормального розподілу випадкових похибок $P(\delta)$. Крива розподілу має дзвоноподібну форму і симетрична відносно осі $OP\{\delta\}$. Максимальна величина ймовірностей дорівнює $1/\sigma\sqrt{2\pi}$ і досягається у точці O . В міру віддалення від точки O (вліво чи вправо) ймовірність $P(\delta)$ зменшується і асимптотично наближається до нуля, а ймовірність великих випадкових похибок зростає.

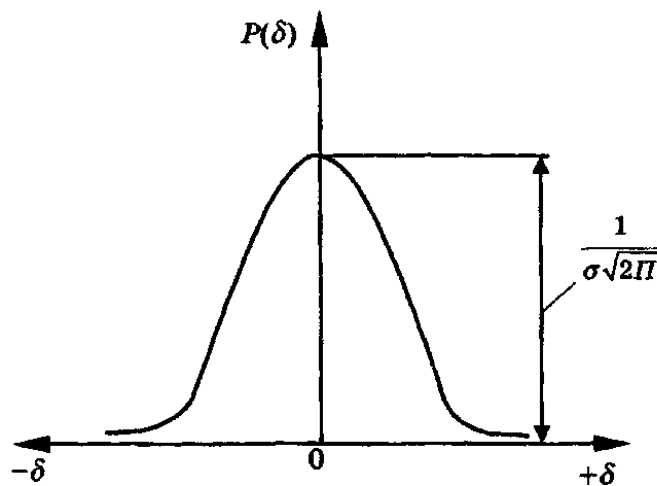


Рисунок 4.4 – Крива нормального розподілу випадкових похибок

Для диференційної функції розподілу результатів спостережень це рівняння набуває більш загального вигляду:

$$P_x(x) = \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (4.18)$$

де m_x — математичне сподівання;

σ_x — середнє квадратичне відхилення результатів спостережень. Для зручності обробки результатів експериментальних вимірювань слід використовувати диференціальну функцію нормованого нормального розподілу [1]:

$$P_x(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2}. \quad (4.19)$$

У додатках наведені значення диференціальної функції нормованого нормального розподілу (додаток 3) та інтегральної функції цього розподілу (додаток 4), яка визначається такою залежністю:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{1}{2}t^2} dt. \quad (4.20)$$

Значне поширення нормального розподілу похибок у практиці вимірювань пояснюється центральною граничною теоремою теорії ймовірностей, яка є однією з визначних математичних теорем, розроблених видатними математиками: А. де Муавром, П. де Лапласом, К.Ф. Гауссом, П.Л. Чебишевим, А.М. Ляпуновим та ін.

Центральна гранична теорема стверджує, що розподіл випадкових похибок буде близьким до нормального кожного разу, коли результати спостережень формуватимуться під впливом великої кількості незалежних чинників, кожен з яких справляє лише незначний вплив порівняно із сумарним впливом інших.

Диференційні функції при нормальному законі розподілу результатів спостережень мають дзвоноподібну симетричну форму і забезпечують добре уявлення про розсіювання результатів вимірювань та випадкових похибок.

При зменшенні середнього квадратичного відхилення $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$ межі розподілу результатів звужуються (рис. 4.5), а вершина дзвону диференціальної функції піднімається вгору. Ймовірність виникнення малих похибок збільшується, а великих — зменшується, тобто зменшується розсіювання результатів вимірювання відносно дійсної величини і зростає точність вимірювання. Чим точніше виконано вимірювання, тим вище підійматиметься крива розподілу випадкових похибок і зменшуватиметься значення середнього квадратичного відхилення.

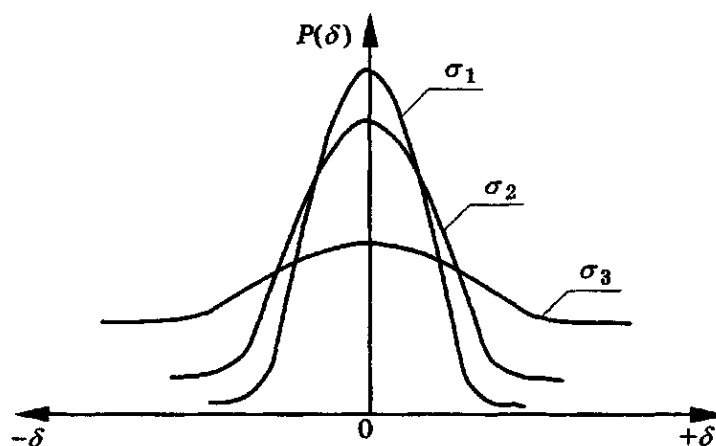


Рисунок 4.5 – Криві нормального розподілу випадкових похибок при різних значеннях середнього квадратичного відхилення $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$

Для повного уявлення про точність вимірювань та надійність оцінки випадкових відхилень результатів вимірювань, особливо при обмеженій кількості значень вимірюваної величини, необхідно задатися довірчими межами, довірчим інтервалом та довірчою ймовірністю.

Довірчі межі випадкових похибок — це верхня та нижня межі інтервалу, в які похибки потрапляють із заданою ймовірністю P_z . Величина P_z називається **довірчою ймовірністю**. Для визначення довірчих меж похибок необхідно знати густину розподілу похибок та ймовірність потрапляння похибок у довірчі межі. Якщо не ввести обмеження, то задача матиме множини розв'язків.

При відомому середньому геометричному значенні σ довірчі межі ставляться за нижньою межею $-\sigma$ і верхньою межею $+\sigma$. Довірчий інтервал має вигляд

$$I_p = (m_x - \sigma; m_x + \sigma), \quad (4.21)$$

де m_x — середнє арифметичне значення результатів вимірювань.

Залежно від мети та точності вимірювань довірчі межі задаються $-t_p\sigma$ або $m_x - t_p\sigma$ і $+t_p\sigma$ або $m_x + t_p\sigma$. Довірчий інтервал значення вимірюваної величини має вигляд

$$I_p = (m_x - t_p\sigma; m_x + t_p\sigma). \quad (4.22)$$

Значення коефіцієнта t_p визначається шляхом зворотного інтерполювання інтегральної функції $\Phi(t)$ для вибраних довірчих ймовірностей при $n \rightarrow \infty$ наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

p	0,683	0,90	0,95	0,98	0,99	0,995	0,9973
t_p	1,00	1,645	1,96	2,33	2,58	2,80	3,00

Так, при нормальному розподілі похибок з ймовірністю 0,68, випадкові похибки δ знаходяться у довірчих межах $\pm 1\sigma$; з ймовірністю 0,95 — у межах подвійної середньої квадратичної похибки $\pm 2\sigma$; з ймовірністю 0,9973 — у межах $\pm 3\sigma$ (рис. 4.6).

Для звичайних технічних вимірювань, коли не вимагається високий ступінь надійності та точності, довірна ймовірність береться у межах 0,9—0,95.

Виходячи з нормального закону розподілу, можна розраховувати ймовірність виникнення випадкових похибок з різними значеннями.

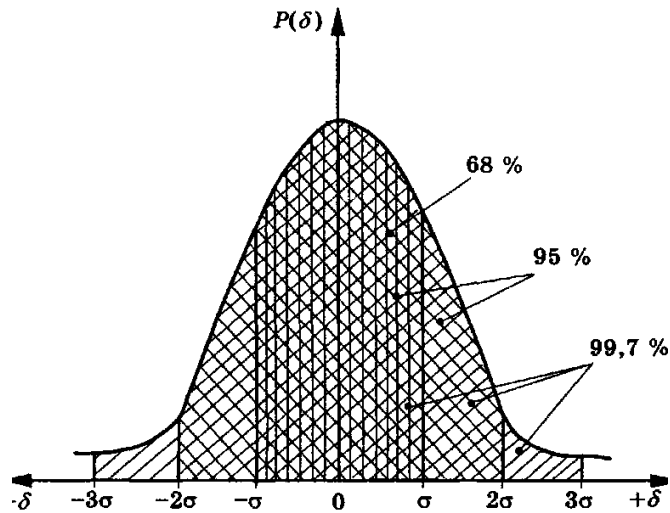


Рисунок 4.6 – Довірчі межі та довірчі ймовірності при нормальному законі розподілу

Припустимо, що $\delta = k\sigma$; і визначимо ймовірності P їх виявлення для таких значень k : 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 5...

За даними табл. 4.2, загальна сума результатів спостережень з випадковими похибками до $\delta \leq 3\sigma$ дорівнює 99,73 %. Звідси виникає **правило 3σ** , за яким при нормальному розподілі результати спостережень, випадкові похибки яких більші або рівні $\delta \leq 3\sigma$, можна виключити з ряду результатів, оскільки ймовірність їх появи дуже мала.

Таблиця 4.2

к	0,5	1	2	3	4	5
р	0,635	0,317	0,045	0,0027	0,0001	0,000001
%	63,5	31,7	4,5	≈ 0,03	0,0001	0,00001

Лекція 6

ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

План лекції:

1. Оцінка істинного значення вимірюваної величини.
2. Математична обробка результатів вимірювань.

1. Оцінка істинного значення вимірюваної величини

Одним із важливих завдань в процесі експериментальних вимірювань є встановлення істинного значення вимірюваної величини. Це завдання є окремим випадком статистичної задачі визначення оцінок параметрів функції розподілу випадкової величини на основі вибірки ряду значень цієї величини, одержаних в n незалежних дослідах.

Оцінку параметра називають кінцевою, якщо вона виражається одним числом. Будь-яка кінцева оцінка, обчислена за дослідними даними, є їх функцією, а тому і сама вона є випадковою величиною з розподілом, залежним від розподілу вихідної випадкової величини та від кількості вимірювань n .

Одержана в результаті багаторазових вимірювань інформація про істинне значення вимірюваної величини і розсіювання результатів окремих вимірювань складається з ряду вимірювань X_1, X_2, \dots, X_n , де n — кількість вимірювань.

За цих умов за оцінку істинного значення вимірюваної величини природно прийняти середнє арифметичне значення одержаних результатів вимірювання, як n незалежних випадкових величин.

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i,$$

Проте середнє арифметичне є лише оцінкою математичного сподівання результатів вимірювань і може стати оцінкою істинного значення вимірюваної величини за відсутності систематичних похибок.

Середнє арифметичне, обчислене за обмеженою кількістю вимірювань, і саме є випадковою величиною. Обчислимо його математичне сподівання:

$$\begin{aligned} m_x &= M \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \right] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M[X_i] = \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M[X] = M[X]. \end{aligned} \quad (4.24)$$

Слід зауважити, що дисперсія середнього арифметичного в n разів менша, ніж дисперсія результатів вимірювань, а вираз його середнього геометричного матиме вигляд

$$\sigma_{m_x} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}. \quad (4.25)$$

У зв'язку зі збільшенням кількості вимірювань ($n \rightarrow \infty$) σ_m наближається до нуля. Це означає, що середнє арифметичне низки вимірювань наближається за ймовірністю до математичного сподівання і є його обґрунтованою оцінкою.

Логічним наслідком оцінки істинного значення вимірюваної величини за допомогою середнього арифметичного значення ряду вимірювань є оцінка значень випадкових похибок між результатами і середнім арифметичним:

$$\delta_i = X_i - m_x. \quad (4.26)$$

У міру збільшення числа вимірювань розподіл випадкових відхилень δ_i асимптотично наближається до розподілу випадкових похибок.

Середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань S_x обґрунтоване, але дещо зміщене і має вигляд

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - m_x)^2}. \quad (4.27)$$

Одержані оцінки (формули (4.21)—(4.27)) дають змогу записати результат вимірювання таким чином:

$$Q = m_x \pm S_x. \quad (4.28)$$

Інтервал, який визначається правою частиною цього рівняння, "накриває" істинне значення вимірюваної величини, але не зрозуміло з якою ймовірністю.

Для уточнення довірчих ймовірностей розглянемо оцінки параметрів за допомогою довірчих інтервалів, у межах яких перебуває істинне значення вимірюваної величини з відповідною ймовірністю.

Припустимо, що розподіл результатів спостережень нормальний, відома дисперсія, середнє геометричне значення і значення довірчого інтервалу $m_x - t_p \sigma_x$; $m_x + t_p \sigma_x$. Необхідно визначити ймовірність потрапляння істинного значення Q вимірюваної величини. Систематичні похибки при цьому відсутні. За допомогою інтегральної функції $\Phi(\gamma)$ визначається ймовірність з такої залежності:

$$P\{m_x - t_p \sigma_x \leq Q \leq m_x + t_p \sigma_x\} = 2\Phi(t_p) - 1. \quad (4.29)$$

Це означає, що істинне значення Q з довірчою ймовірністю $p = 2\Phi(t_p) - 1$ знаходиться у межах довірчого інтервалу $m_x - t_p \sigma_x$; $m_x + t_p \sigma_x$.

Половина довжини довірчого інтервалу називається довірчою межею випадкових відхилень результатів спостережень при довірчій ймовірності

p. Для визначення довірчої межі необхідно встановити ступінь ймовірності, визначити значення інтегральної функції і за таблицями (додатки 4 і 5) знайти значення коефіцієнта t_p і $t_p \sigma_x$

Знайдений довірчий інтервал, одержаний за допомогою середнього арифметичного значення результатів п спостережень, у \sqrt{n} разів коротший, ніж інтервал, розрахований за результатами одного спостереження, і називається довірчою межею похибки результатів спостережень:

$$\delta_{\text{дв}} = t_p \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}, \quad (4.30)$$

де $\delta_{\text{дв}}$ — ймовірна похибка;

t_p — коефіцієнт Стьюдента, який залежить від p і n ;

n — кількість вимірювань.

Істинне значення Q вимірюваної величини можна записати таким виразом:

Формула (4.31) показує, що результат вимірювання знаходиться у певних

$$Q = m_x \pm \delta_p = m_x \pm t_p \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}; \text{ при } p = 0,9—0,997.$$

межах $\pm \delta_p$, і кількість значень вимірюваної величини — множина. Необхідно уточнити межі відхилення дисперсії та середнього квадратичного відхилення за допомогою χ^2 -розподілу Пірсона з $k = n - 1$ ступенями свободи (додаток 7):

$$\chi_k^2 = \chi_{n-1}^2 = \frac{(n-1)S_x^2}{\sigma_x^2}. \quad (4.32)$$

Диференціальна функція цього розподілу описується формулою

$$P_{\chi^2 k}(\xi) = \frac{1}{\left(\frac{k}{2} - 1\right)! 2^{\frac{1}{2}k}} (\xi)^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{1}{2}\xi} \xi,$$

де $k = n - 1$ — кількість ступенів свободи;

S_x — оцінка дисперсії результатів вимірювання; ξ — інтервал чисел (1, 2, 3, ...); e — основа натурального логарифма ($e = 2,71823$).
Значення σ_x середнього квадратичного відхилення результатів вимірювань

$(S_{x1}; S_{x2})$

лежить в інтервалі, межі якого визначаються за формулами

$$S_{x1} = \frac{\sqrt{n-1}S_x}{\chi_{k; \frac{1}{2}q}}; \quad S_{x2} = \frac{\sqrt{n-1}S_x}{\chi_{k; 1-\frac{1}{2}q}}, \quad (4.34)$$

де q — мінімальна ймовірність, яка знаходиться у межах 0,003—0,1 для

вимірювань з ймовірністю 0,9—1. Значення розподілу Пірсона знаходиться за таблицею (додаток 7).

2. Математична обробка результатів вимірювань

Прямими називаються вимірювання, в результаті яких встановлюють безпосередньо шукане значення величини.

Результати спостережень X_1, X_2, \dots, X_n , одержані за прямими вимірюваннями фізичної величини Q , називаються **рівнорозсіяними**, якщо вони є незалежними, однаково розподіленими випадковими величинами. Рівнорозсіяні результати одержують при вимірюваннях, які проводяться одним або групою експериментаторів за допомогою однакових технічних засобів вимірювання та у незмінному зовнішньому середовищі.

Результати опрацьовуються по-різному, залежно від того, мало ($n < 40$) чи багато ($n \geq 40$) проведено спостережень.

При малій кількості результатів обробка їх проводиться у такій послідовності.

1. Визначається точкова оцінка істинного значення вимірюваної величини — середнє арифметичне значення результатів спостережень:

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (4.35)$$

2. Обчислюються випадкові відхилення результатів спостережень та їх квадрати:

$$\delta_i = X_i - m_x; \quad \delta_i^2 = (X_i - m_x)^2. \quad (4.36)$$

3. Визначається середнє квадратичне відхилення результатів спостережень:

$$\sigma_x = \sqrt{D} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \delta_i^2}.$$

4. Перевіряється нормальність розподілу результатів спостережень.

5. Визначається наявність грубих похибок, які відповідають відношенню $\delta \geq 3\sigma$. Результати з грубими помилками опускають і проводять обчислення для меншого числа спостережень з попередньою послідовністю.

6. Встановивши значення довірчої ймовірності залежно від точності вимірювань (табл. 4.1), визначається значення ймовірності випадкової похибки:

$$\delta_{\text{йм}} = t_p \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}. \quad (4.38)$$

7. Результат істинного значення записується у такому вигляді:

$$Q = m_x \pm \delta_{\text{им}}; \text{ при } P = 0,9\text{—}0,9973,$$

або

$$Q = m_x \pm t_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \text{ при } P = 0,9\text{—}0,9973. \quad (4.39)$$

Приклад. Визначити істинне значення вимірюваної температури в апараті за низкою результатів спостережень (табл. 4.3) при заданій ймовірності $p = 0,95$.

Таблиця 4.3

№	t °C		δ _t °C		δ _t ²	
1	123,5		+0,09 +0,05		0,0081 0,0025	
2	123,8		+0,39 +0,35		0,1521 0,1225	
3	123,6		+0,19 +0,15		0,0361 0,0225	
4	123,7		+0,29 +0,25		0,0841 0,0625	
5	123,9		+0,49 +0,45		0,2401 0,2025	
6	123,0		-0,41 -0,45		0,1681 0,2025	
7	123,4		-0,01 -0,05		0,0001 0,0025	
8	123,2		-0,21 -0,25		0,0441 0,0625	
9	123,1		-0,31 -0,35		0,0961 0,1225	
10	123,3		-0,11 -0,15		0,0121 0,0225	
11	101,2		-22,21 —		493,284 —	
12	145,2		+21,79 —		474,804 —	
Σ	n = 12	n = 10	n = 12	n = 10	n = 12	n = 10
	1480,9	1234,5	-0,12	0,0	968,92	0,825
m_t	123,41 123,45				σ_t = 8,9858 σ_t = 0,3	

1. Визначаємо точкову оцінку істинного значення вимірюваної величини, тобто середнє арифметичне даних спостережень (графа 2 табл. 4.3):

Одержане числове значення середнього арифметичного округляємо так,

$$m_x = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} t_i = 123,575 \text{ °C} .$$

щоб випадкові відхилення не були більшими за дві-три значущі цифри при точних вимірюваннях. Отже, округляємо до значення $t = 123,41 \text{ °C}$.

2. Визначаємо відхилення результатів спостережень (графа 3 табл. 4.3). їх

сума дорівнює 0,12, хоча повинна дорівнювати нулю. Проте два останніх спостереження мають значні відхилення, тому перевіряємо їх щодо наявності грубих відхилень за відношенням $\delta \geq 3\sigma$

3. Визначаємо середнє квадратичне відхилення результатів спостережень:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{12-1} \sum_{i=1}^{12} \delta_i^2} = \sqrt{\frac{1}{12-1} 968,9211} = 8,9858.$$

4. Згідно з правилом $\delta \geq 3\sigma$ два останніх спостереження, відхилення яких наближаються до 3σ , відносяться до результатів з грубими похибками і їх можна опустити з ряду спостережень, залишивши в ньому перші 10 спостережень. Повторюємо обробку результатів для 10 спостережень.

5. 1. Визначаємо середнє арифметичне значення результатів спостережень:

$$m'_t = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} t_i = \frac{1}{10} 1234,5 = 123,45 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6. 2. Визначаємо відхилення результатів 10 спостережень:

$$\delta_1 = +0,05; \delta_2 = +0,35; \delta_3 = +0,15; \delta_4 = +0,25; \delta_5 = +0,45;$$

$$\delta_6 = -0,45; \delta_7 = -0,05; \delta_8 = -0,25; \delta_9 = -0,35; \delta_{10} = -0,15.$$

їх сума дорівнює 0. Значних відхилень результатів спостережень не виявлено.

3. Визначаємо середнє геометричне відхилення результатів спостережень.

4. Виходячи з довірчої ймовірності 0,95 при 10 спостереженнях, знаходимо значення коефіцієнта Стьюдента (додаток 5) $t_p = 2,228$.

$$\delta_{\text{гм}} = \pm t_p \frac{\sigma_t}{\sqrt{n}} = \pm 2,228 \frac{0,3}{\sqrt{10}} = \pm 0,2.$$

6. Визначаємо результат істинного значення вимірюваної температури та довірчі межі:

$$Q = m'_x + \delta_{\text{гм}} = 123,45 \pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

5. Визначаємо довірчі межі відхилення вимірюваної величини.

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{10-1} \sum_{i=1}^{10} \delta_i^2} = \sqrt{\frac{1}{9} 0,825} = 0,3.$$

Лекція 7

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ПОХИБКИ

План лекції:

1. Засоби вимірювальної техніки.
2. Характеристики засобів вимірювальної техніки.

1. Засоби вимірювальної техніки

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

Наведемо деякі визначення.

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

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

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

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

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

Засіб вимірювальної техніки — технічний засіб, який застосовується під час вимірювань фізичних величин і має нормовані метрологічні характеристики. До засобів вимірювальної техніки відносяться засоби вимірювань та вимірювальні пристрої.

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

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

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

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

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

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

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

Вимірювальні перетворювачі досить різноманітні як за принципом дії, так і за характером вихідного сигналу. Вони класифікуються за видом вимірювальної величини (перетворювачі температури, тиску, рівня, густини та ін.), за принципом дії і використання енергії живлення (пневматичні, електричні, гідравлічні та ін.), за видом і характером вихідного сигналу (неперервні, дискретні).

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

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

Вимірювальна система — сукупність засобів вимірювальної техніки (мір, вимірювальних приладів та перетворювачів), засобів діагностування та допоміжних засобів, об'єднаних між собою каналами зв'язку з метою

формування сигналів вимірювальної інформації у формі, доступній для автоматичного опрацювання, збереження, передачі й використання в автоматичних системах управління.

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

До **допоміжних засобів вимірювання** відносяться засоби, які впливають на метрологічні властивості інших засобів вимірювання при використанні останніх за прямим призначенням чи з метою їх повірок. Покази допоміжних засобів вимірювання використовуються для обчислення поправок до результатів вимірювання приладами прямого призначення. Наприклад, використання термометра для вимірювання температури навколишнього середовища при вимірюванні тиску вагопоршневим манометром або ж використання допоміжних засобів вимірювання для стабілізації величин, що впливають на точність вимірювання основних величин (використання психрометрів для вимірювання та стабілізації вологості при точних інтерференційних вимірюваннях довжин).

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

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

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

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

2. Характеристики засобів вимірювальної техніки

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

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

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

Досить часто діапазон вимірювань подається не в одиницях вимірюваної

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

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

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

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

$$S = \frac{\Delta l}{\Delta A}; \quad S = \frac{\Delta \varphi}{\Delta A}, \quad (7.1)$$

де Δl і $\Delta \varphi$ — зміни відповідно лінійної чи кутової вихідної величин засобу вимірювання у мм, поділках, градусах повороту;

ΔA — зміна вхідної вимірюваної величини у відповідних одиницях.

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

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

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

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

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

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

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

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

Лекція 8

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ПОХИБКИ

План лекції:

1. Похибки засобів вимірювальної техніки.
2. Метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки
3. Класифікація засобів вимірювальної техніки

1. Похибки засобів вимірювальної техніки

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

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

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

Абсолютною похибкою засобу вимірювань називається різниця між показом засобу вимірювань та істинним значенням вимірюваної величини за відсутності методичних похибок і похибок від взаємодії засобу вимірювань з об'єктом вимірювання:

$$\Delta = A_i - Q \quad (8.1)$$

де A_i — показання засобу вимірювань;

\bar{Q} — істинне значення вимірюваної величини.

Проте у метрологічній практиці вимірювань частіше доводиться мати справу не з істинними величинами, а з дійсними значеннями A_d вимірюваних величин, визначених розрахунковим або експериментальним шляхом за допомогою точніших зразкових засобів вимірювань.

Абсолютна похибка дорівнює:

$$\Delta = A_i - A_d \quad (8.2)$$

Відносною похибкою засобу вимірювань називається відношення абсолютної похибки засобу вимірювань до істинного або дійсного значення вимірюваної величини, виражене у відсотках:

$$\delta = \frac{\Delta}{Q} 100 \% \text{ або } \delta = \frac{\Delta}{A_d} 100 \% \quad (8.3)$$

Приведеною похибкою засобу вимірювань називається відношення

абсолютної похибки до розмаху шкали засобу вимірювань, виражене у відсотках:

$$\gamma = \frac{\Delta}{N} 100 \% \quad (8.4)$$

де N — розмах шкали засобу вимірювань.

Зауважимо, що при імітаційному методі перевірки засобу вимірювання в формулі (5.5) замість шкали N підставляється нормоване значення шкали, яке відповідає градувальним характеристикам.

Варіацією називається найбільша різниця між двома показами засобу вимірювання, коли одне й те саме дійсне значення вимірюваної величини досягається в результаті її збільшення чи зменшення: $B = A_{об} - A_{зм}$.

Крім того, похибки засобів вимірювань поділяються на статичні й динамічні.

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

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

Статичні похибки у свою чергу поділяються на випадкові та систематичні. У загальному випадку випадкові похибки слід розглядати як випадкову функцію часу, вимірюваної величини та зовнішніх чинників. Систематичні похибки у загальному випадку є функцією вимірюваної величини, чинників впливу (температури, вологості та ін.), конструктивних характеристик засобів вимірювань та методів вимірювань.

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

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

Необхідність регламентування додаткових похибок може зумовлюватись суттєвими змінами зовнішніх умов експлуатації засобів вимірювань порівняно з умовами проведеного градуювання. Цю причину можна вважати методичною, вона зумовлена мінливістю навколишнього середовища.

Таким чином спричиняється зміна відхилення статичної характеристики у той чи інший бік від градувальної характеристики (рис. 8.1).

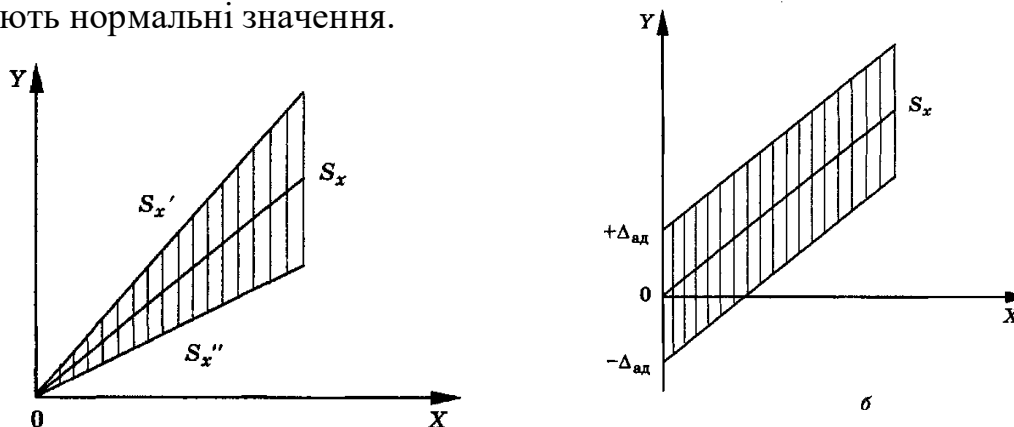
Якщо ширина смуги зростає пропорційно зростанню вхідної величини, а при $x = 0$ вона також дорівнює нулю, то така похибка називається **мультиплікативною**, тобто такою, що розрахована шляхом множення, або похибкою чутливості незалежно від того, випадкова ця похибка чи систематична. Мультиплікативна похибка описується рівнянням

$$\Delta_m = f(x)$$

Смуга, обмежена прямими S_x' та S_x'' , (рис. 8.1, а) є **областю невизначеності** і характеризується похибкою чутливості.

Адитивною називається похибка, яка має сталі значення по всій шкалі (рис. 8.1, б). Значення похибок засобів вимірювань установлюється відповідно до стандартів і вимог при нормальних умовах їх використання, а також при відхиленні впливових величин від нормальних значень.

Під **нормальними** розуміють такі умови використання засобів вимірювань, при яких величини, що впливають на процес вимірювання (температура, вологість, тиск, частота, напруга, зовнішні магнітні поля, вібрація тощо) мають нормальні значення.



а

Рисунок 8.1 – Похибки засобів технічних вимірювань:

а — мультиплікативна, б — адитивна

Відповідно до стандарту, нормальні умови застосування засобів вимірювальної техніки — це умови, за яких величини, що виявляють зовнішній вплив, мають нормальні значення або перебувають у межах нормального інтервалу значень. Похибка, властива засобам технічного вимірювання, що працюють у нормальних умовах використання, називається **основною** і нормується межами допустимої основної похибки. Тільки тоді, коли основна похибка не перевищує допустимих меж, засіб вимірювальної техніки допускається до використання за призначенням.

Межі допустимої основної похибки засобів технічних вимірювань задаються у вигляді абсолютних, відносних та приведених похибок.

Основна похибка засобу вимірювання задається формулою, за якою визначаються межі допустимої абсолютної похибки:

$$\Delta = \pm a \quad (8.5)$$

або межі приведеної відносної основної похибки:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X} 100 \% \quad (8.6)$$

де Δ — межа допустимої основної абсолютної похибки; δ — межа приведеної допустимої основної похибки;

X_n — номінальне значення вимірюваної величини (розмах шкали приладу).

Додатковою називається похибка, властива засобам вимірювальної техніки, які використовуються для вимірювання за умови відхилення впливових величин від їх нормальних значень.

Основні та додаткові похибки визначаються межами допустимих основних та додаткових похибок і задаються формулами або ж встановлюються за таблицями граничних допустимих абсолютних та приведених похибок для різних номінальних значень і впливових величин.

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

Той чи інший клас точності присвоюється засобам вимірювальної техніки на основі визначеної для них основної похибки та способу її виявлення. Якщо основна похибка виражена в одиницях вимірюваної величини за формулою (5.6), то клас точності позначається порядковим номером з ряду чисел. Засобам вимірювань з більшою межею основної похибки присвоюється клас точності з більшим порядковим номером, а з меншою межею похибки — менший номер. Клас точності засобів вимірювання характеризує їхні точнісні властивості, але не є безпосереднім показником точності вимірювання, оскільки точність залежить від методу, умов проведення вимірювань, розмаху шкали приладу та ін. Наприклад, якщо межі допустимої основної похибки становлять $\pm 0,5$ дБ, то клас точності позначається так: кл. 0,5 дБ.

Засобам вимірювань, межі допустимих основних похибок яких задані у вигляді приведених похибок за формулою (5.7), присвоюються класи точності з такого ряду чисел:

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

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

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

Для встановлення похибок засобу вимірювання, він періодично повіряється зразковими засобами, які за класом точності на декілька класів

вищі. Повірка проводиться спочатку при зростанні вимірюваної величини (прямий хід), а потім при її зменшенні (зворотний хід). Якщо при повірці приладу встановлено, що найбільша приведена похибка не перевищує або дорівнює класу точності, то прилад визнається придатним для подальшої експлуатації. Варіація має вкладатися у клас точності засобу вимірювальної техніки.

2. Метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки

Метрологічні характеристики — характеристики засобів вимірювальної техніки, які нормуються для визначення результату вимірювання, їхніх основних та додаткових похибок за визначених умов проведення вимірювань (повірок).

У технічній документації на засоби вимірювань визначаються умови контролю метрологічних характеристик; об'єм вибірки, кількість точок вимірювань та їх розміщення у діапазоні вимірювань, допустимі похибки вимірювань, умови проведення експериментів. Метрологічні характеристики контролюються щодо відповідності регламентованих значень як експериментальними, так і розрахунковими методами.

До нормованих метрологічних характеристик відносять такі.

1. Розмах шкали засобу вимірювальної техніки вибирається зі стандартного ряду шкал для відповідних вимірюваних величин. Шкала засобу вимірювань може виражатися як в одиницях вимірюваної величини (відсотках), так і у нормованих одиницях (сигналах), які відповідають розмаху шкали і використовуються при імітаційних методах повірки (наприклад, розмах шкали потенціометра в одиницях температури 0—600 °С гр. ХК, а нормоване значення шкали 0—49,11 мВ).

2. Межі допустимої похибки засобу вимірювальної техніки нормуються приведеною похибкою, яка відповідає його класу точності.

3. Основні похибки засобу вимірювальної техніки відповідно до нормативно-технічної документації для відповідного засобу наводяться у вигляді сумарної похибки:

Δ — межа допустимої абсолютної похибки при довірчій імовірності не менше 0,95;

Δ_B — межа допустимої випадкової складової похибки при довірчій імовірності не менше 0,95;

$\sigma(\Delta_B)$ — межа допустимого середнього квадратичного відхилення випадкової складової похибки;

Δ_c — межа допустимої систематичної складової похибки при $p = 0,95$;

$M(\Delta_c)$ — математичне сподівання систематичної складової похибки.

В інтервал, обмежений допустимими основними похибками Δ , Δ_B та Δ_c , мають вкладатися не менше 90 % усіх можливих значень основних похибок.

4. Додаткові похибки визначаються для кожної з величин, що впливають на вимірювання, відповідно до нормативно-технічної документації, а також регламентуються межі цих похибок. Додаткові похибки регламентуються зазвичай для нових або закордонних засобів вимірювань, які використовуються у промисловості.

5. Час проведення вимірювання фізичної величини чи технологічного параметра.

6. Термін експлуатації засобів вимірювальної техніки.

4. Класифікація засобів вимірювальної техніки

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

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

для засобів вимірювання температури — термометри і пірометри;

тиску — манометри, вакуумметри, мановакуумметри, тягоміри, напороміри, барометри;

витрати та кількості — витратоміри, лічильники та витратоміри з лічильниками;

рівня — рівнеміри та показчики рівня;

складу димових та інших газів — газоаналізатори, кисне міри та ін.;

аналізу та складу рідини — аналізатори рідини, кондуктометри, рН-метри, густиноміри, рефрактометри та ін.;

вологості — вологоміри, психрометри, гігрометри тощо.

Додатково засоби вимірювань поділяються на групи за такими ознаками:

за принципом дії та використанням енергії — механічні, електричні, рідинні, пневматичні, гідравлічні, хімічні, ультразвукові, інфрачервоні, радіоізотопні та ін.;

формою показань — аналогові та цифрові;

характером відображення — показуючі, самописні, реєструючі, інтегруючі; призначенням — промислові (технічні), лабораторні, зразкові, еталонні;

місцем розташування — щитові, місцеві, дистанційні;

габаритами — мініатюрні, малогабаритні, нормальні та великогабаритні.

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

Лекція 9

ЕТАЛОНИ

План лекції:

1. Загальні поняття про еталони.
2. Класифікація еталонів.
3. Еталон одиниці довжини – метр.
4. Еталон одиниці маси — кілограм.
5. Еталон одиниці часу – секунда.
6. Еталон одиниці сили електричного струму — ампер.
7. Еталон одиниці температури — кельвін.
8. Еталон одиниці сили світла — кандела.

1. Загальні поняття про еталони

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

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

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

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

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

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

2. Класифікація еталонів

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

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

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

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

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

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

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

Еталон передавання — вторинний еталон, який призначений для звіряння еталонів, котрі з тих чи інших причин не можуть безпосередньо звірятися один з одним. Прикладом еталону передавання може бути група нормальних елементів, яка використовується для звіряння державного еталона вольт з еталоном вольт Міжнародного бюро мір та ваги.

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

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

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

вторинним еталоном,

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

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

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

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

3. Еталон одиниці довжини — метр

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

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

У 1960 році XI Генеральною конференцією з мір та ваги було ухвалено новий хвильовий еталон метра, який виражається у довжинах світлових хвиль у вакуумі оранжевої лінії спектру криптону-86. Відповідно до рішення конференції "метр — це довжина, що дорівнює 1 650 763,73 довжин хвиль випромінювання у вакуумі й відповідає переходу між рівнями $2p_{10}$ та $5d_5$ атома криптону-86".

Новий еталон метра можна відтворити у метрологічних лабораторіях з точністю, яка на порядок вища від платино-іридієвого його прототипу, хоча на конференції підкреслювалося, що точність нового еталона є недостатньою через несиметричність випромінювання монохроматичного джерела. Вчені світу працюють над розробленням нових монохроматичних джерел випромінювання, що дасть змогу максимально підвищити точність одиниці

довжини.

Місце зберігання еталона метра у колишньому СРСР — Всесоюзний науково-дослідний інститут метрології ім. Д.І. Менделєєва (ВНДІМ) (м. Санкт-Петербург). В Україні еталон метра зберігається у Харківському науково-виробничому об'єднанні "Метрологія".

За рішенням останньої Генеральної конференції з мір і ваги ухвалене таке визначення одиниці довжини метр: метр — довжина шляху, який проходить світло у вакуумі за $1/299792458$ частину секунди.

4. Еталон одиниці маси — кілограм

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

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

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

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

Державним первинним еталоном кілограма в колишньому СРСР був платино-іридієвий прототип № 12 — гиря у вигляді прямого циліндра з заокругленими ребрами, діаметром та висотою 39 мм. Густина платино-іридієвого сплаву — $21548,1\text{ кг/м}^3$, вміст іридію у сплаві — 10,08—10,09 %, об'єм кілограма при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить $46,408\text{ см}^3$.

У 1899 р. маса прототипу кілограма № 12 дорівнювала $1,000000068\text{ кг}$. За результатами звіряння його з міжнародними еталонами у 1948—1954 рр. маса прототипу № 12 стала дорівнювати $1,000000085\text{ кг}$.

5. Еталон одиниці часу — секунда

За секунду прийнято $1/31556925,9747$ частини тропічного року на 0 січня 1900 року о 12-й годині ефемеридного часу. Тропічний рік сам по собі не є постійним, тому дата "0 січня 1900 р. 12 годин" виражена у прийнятому астрономами відліку часу і відповідає полудню 31 грудня 1899 р.

У 1967 р. XIII Генеральна конференція з мір та ваги ухвалила нове

визначення секунди як інтервалу часу, протягом якого відбувається 9 192 631 770 коливань. Такі коливання відповідають резонансній частоті енергетичного переходу між рівнями надтонкої структури основного стану атома цезію-133 за відсутності збурень зовнішніми полями.

На рис. 9.1 подано схему цезієвого атомно-променевого еталона часу та частоти. Джерело 1 атомного пучка розміщене у металевому контейнері, у стінці якого є канал для формування потоку. Температура джерела — 100—150 °С. Магнітом 2 здійснюється сортування атомів пучка за сигналами надтонкої структури: виділяються атоми зі станом $F = 3, M = 0$ і $F = 0, M = 0$.

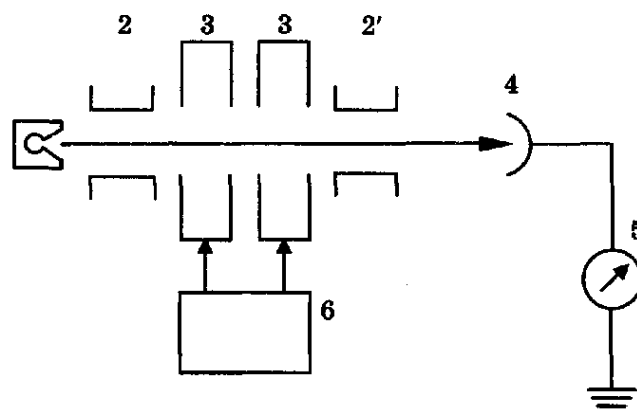


Рисунок 9.1 – Схема цезієвого атомно-променевого еталона часу і частоти

Всі вузли установки розміщені у камері з високим вакуумом.

Стабільність цезієвих еталонів дозволяє використовувати їх службам часу та частоти.

6. Еталон одиниці сили електричного струму — ампер

IX Генеральна конференція з мір та ваги у 1948 р. ухвалила таке визначення ампера: "Ампер — сила незмінного струму, який проходячи по двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини і занадто малого круглого перерізу та розміщеними на відстані 1 метра один від одного у вакуумі, при силі струму в провідниках в 1 А утворював би між провідниками силу взаємодії у $2 \cdot 10^{-7}$ Н на кожний метр довжини".

Державний первинний еталон ампера — це комплекс вимірювальних засобів у складі струмових ваг електродинамічної системи, ваг з дистанційним управлінням та апаратури для передачі розміру одиниці. Похибка відтворення розміру одиниці сили струму державним первинним еталоном ампера не перевищує $1 \cdot 10^{-3}$ %.

Досягнення сучасної фізики в галузі дослідження атомного ядра розкривають нові можливості для розробки досконаліших еталонів одиниці електричного струму та заряду.

7. Еталон одиниці температури — кельвін

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

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

Температура у градусах Цельсія позначається символом t і визначається таким чином:

$$t = T - T_0,$$

де $T_0 = 273,15$ К.

Градус Цельсія дорівнює кельвіну.

8. Еталон одиниці сили світла — кандела

У 1967 році Генеральна конференція з мір та ваги визначила за одиницю сили світла канделу. Це світло, яке випромінюється з площини перерізом $1/600\,000$ м² повного випромінювача у перпендикулярному до цього перерізу напрямку при температурі твердіння платини і тиску в 101 325 Па.

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

Лекція 10

ЗРАЗКОВІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

План лекції:

1. Зразкові засоби вимірювальної техніки.
2. Загальні відомості про повір очні схеми.
3. Способи повірки засобів вимірювальної техніки.

1. Зразкові засоби вимірювальної техніки

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

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

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

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

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

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

На рис. 10.1 показано метрологічну послідовність передачі розмірів одиниць фізичних величин від первинних еталонів — робочим еталонам, від них — розрядним зразковим засобам вимірювань, далі — робочим засобам вимірювань. На схемі показана ієрархія засобів вимірювальної техніки. Найвищий рівень точності представлений первинним еталоном, нижні рівні займають робочі засоби вимірювань.

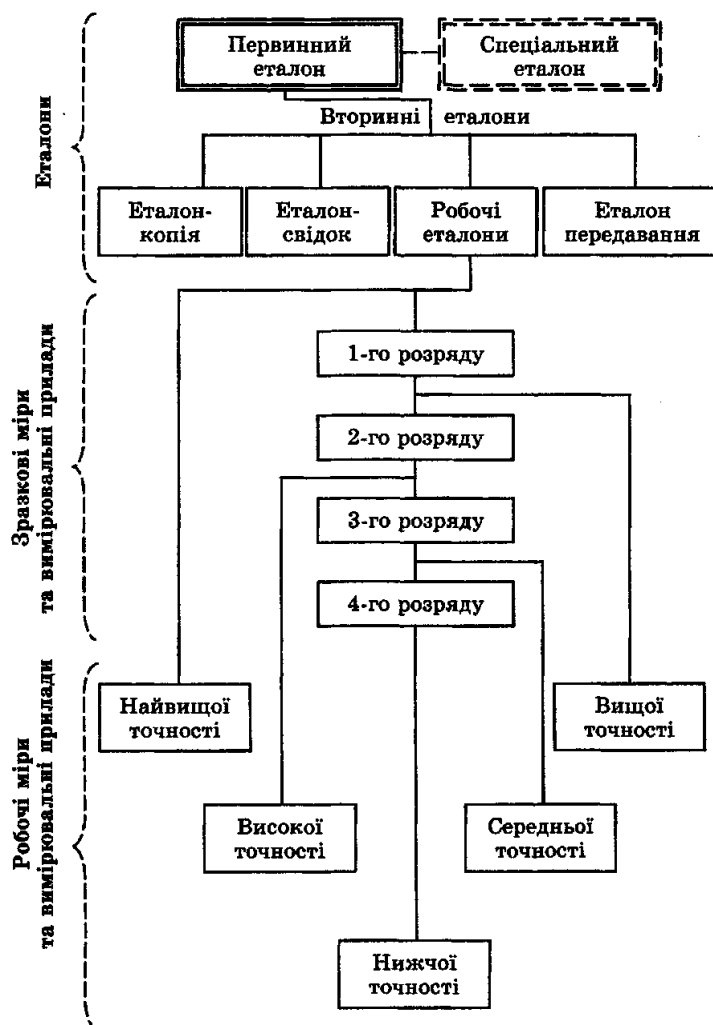


Рисунок 10.1 – Метрологічна послідовність передачі розмірів фізичних одиниць від еталонів до робочих вимірювальних приладів

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

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

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

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

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

2. Загальні відомості про повірочні схеми

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

Повірочна схема — нормативний документ, що регламентує метрологічну підпорядкованість засобів вимірювальної техніки, які використовуються для передавання розміру одиниці фізичної величини від еталона або вихідного зразкового засобу вимірювальної техніки до інших засобів вимірювальної техніки із встановленням методів та похибок передавання.

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

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

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

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

Структура повірочної схеми складається з кількох горизонтальних полів, що відповідають ступеням передачі розміру одиниці від первинного еталона робочим засобам вимірювань. У лівій частині схеми по вертикалі вказуються елементи повірочної схеми. У самих полях розміщуються структурні елементи повірочної схеми, відповідно у прямокутниках — еталони, зразкові та робочі засоби вимірювань, а в колах — методи повірки.

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

3. Способи повірки засобів вимірювальної техніки

У повірочних схемах представлені різні способи повірки засобів вимірювальної техніки за зразковими засобами вимірювань, а останніх — за еталонами. Повірка — це процес порівняння показань засобу вимірювань, що повіряється, зі зразковим з метою визначення його основних похибок та класу точності.

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

Повірка засобів вимірювань може проводитися за одним із двох методів.

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

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

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

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

Лекція 11

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

План лекції:

1. Аналіз похибок засобів вимірювання.
2. Метод зменшення випадкової складової похибки.
3. Метод зменшення систематичної складової похибки.
4. Метод зменшення випадкової і систематичної складових похибок.

1. Аналіз похибок засобів вимірювання

Статичні похибки засобів вимірювальної техніки визначаються за відхиленням реальних статичних характеристик $y(x)$ від номінальних (або ідеалізованих) функцій перетворення $y_0(x)$, які одержані у нормальних умовах їх роботи, тому забезпечення високої точності вимірювань пов'язано з мінімізацією цього відхилення: $\Delta y = y(x) - y_0(x)$. Розглянемо у загальному вигляді вплив основних чинників на похибку вимірювань Δy

У рівняння будь-якого засобу вимірювальної техніки (ЗВТ), крім вимірюваної величини, входить ряд конструктивних параметрів ЗВТ, які змінюють свої характеристики як у процесі експлуатації, так і при зміні зовнішнього середовища. Тому у загальному вигляді рівняння вихідної величини ЗВТ можна записати так:

$$y = F(x; l_1; l_2; \dots \rho_1; \rho_2; \dots U; f \dots t; p; M) , \quad (8.1)$$

де l_1, l_2 — конструктивні розміри деталей;

ρ_1, ρ_2 — фізичні характеристики матеріалів засобу вимірювань;

U, f — напруга і частота джерела електричної енергії;

t, p, M — температура, тиск, вологість зовнішнього середовища.

Значення l, ρ, U, f, t, p, M можуть відрізнятися від номінальних значень залежно від технологічних чинників, коливань напруги чи частоти у мережі, зміни зовнішніх умов в процесі експлуатації тощо. Виходячи із функціональної залежності (8.1) можна розрахувати похибки засобів вимірювання при зміні кожного параметра означеного рівняння.

Визначимо зміну показань засобу вимірювання, яка викликана зміною лише одного якогось параметра, наприклад l_1 а всі решта залишаються постійними. Значення параметрів змінюються зазвичай досить обмежено, тому приріст функції можна розглядати як такий, що дорівнює її диференціалу:

$$\Delta y_i = \Delta l_i \partial y / \partial l_i \quad (8.2)$$

Відхилення Δl параметра деталі засобу вимірювання від номінального

значення називається **первинною абсолютною похибкою**, вираз $\Delta l_1 \partial y / \partial l_1$ — **частковою похибкою**.

Загальна похибка засобу вимірювання визначається сумою похибок від зміни всіх параметрів:

$$\Delta y = \Delta y_k + \Delta y_h + \Delta y_{\rho_1} + \dots + \Delta y_U + \Delta y + \dots \\ \dots + \Delta y_i + \Delta y_p + \Delta y_M. \quad (8.3)$$

Якщо ж відомі статичні характеристики окремих ланок засобу вимірювань, то доцільніше спочатку розрахувати похибки для окремих ланок, а потім на їхній основі розрахувати загальну похибку засобу вимірювання.

У загальному вигляді статична характеристика довільної ланки має вигляд

$$y_i = f(x_1; l_1; l_2; \dots \rho_1; \rho_2; \dots U; f; \dots p; t; M). \quad (8.4)$$

Похибка довільної ланки Δy_i буде частковою похибкою вимірювального засобу $\Delta y_i = \partial y / \partial y_i$. Для знаходження часткової похідної $\partial y / \partial y_i$ складається рівняння скороченого вимірювального кола $y = f(y_i)$, з якого і визначається часткова похідна $\partial y / \partial y_i$.

На основі аналізу рівнянь (8.1), (8.4) можна визначити два методи зменшення похибок результатів вимірювань: метод стабілізації параметрів статичних характеристик та метод структурної надмірності.

2. Метод зменшення випадкової складової похибки

Метод зменшення випадкової складової похибки засобів вимірювань ґрунтується на математичному опрацюванні результатів багаточисельних та багатоканальних вимірювань величин x .

Якщо ж виконано n незалежних вимірювань величини x , то результати вимірювань опрацьовуються за алгоритмами

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (8.5)$$

$$(8.6)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}; \quad \delta_{\text{вм}} = t_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Результат багаторазових вимірювань T_x матиме в \sqrt{n} раз меншу середньоквадратичну похибку σ порівняно з результатом одноразового вимірювання.

Таким чином, збільшенням числа вимірювань n можна зменшити випадкову складову похибки вимірювального засобу, хоч у реальних виробничих умовах кількість вимірювань обмежена. Це обмеження обумовлене змінами вимірюваної величини в часі (динамікою об'єкта), систематичної складової похибки за час багаторазових вимірювань та характеристик (властивостей) самого об'єкта.

Другий спосіб зменшення складової випадкової похибки ґрунтується на математичній обробці результатів багаточисельних та багатоканальних вимірювань. Величина x вимірюється кількома засобами вимірювання k , що працюють паралельно (ZB_1, ZB_2, \dots, ZB_k). Кількість вимірювань зростає у nk разів. Результати багатоканальних і багаторазових вимірювань m'_x дають у \sqrt{mk} разів меншу середньо-квадратичну похибку порівняно з результатом одноразового вимірювання. Обробку результатів вимірювання доцільно проводити за допомогою обчислювального засобу (ОЗ), схему якого подано на рис. 8.1, за формулами (8.5) і (8.6).

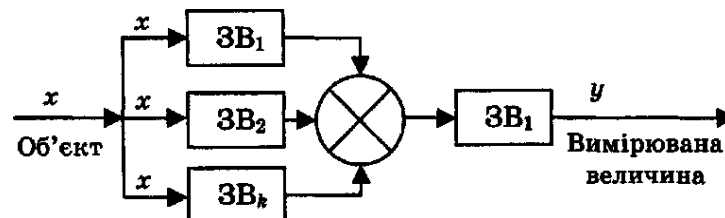


Рисунок 8.1. – Схема зменшення випадкової похибки для багаторазових і багатоканальних вимірювань

3. Метод зменшення систематичної складової похибки

Для зменшення систематичної похибки вимірювань широко використовується метод, який ґрунтується на паралельних вимірюваннях величини x за допомогою зразкових засобів вимірювання або мір. Вимірювання величини x проводиться в декілька етапів (рис. 8.2).

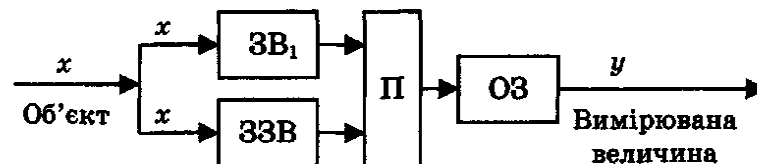


Рисунок 8.2 – Схема зменшення систематичної складової похибки за допомогою зразкових засобів вимірювання

Вимірювана величина визначається за алгоритмом

$$y = m_x \pm \theta \quad (8.7)$$

Систематична похибка вимірювання визначається як різниця між математичними сподіваннями, одержаними за результатами вимірювань за

допомогою зразкових та звичайних технічних засобів вимірювальної техніки.

При використанні кількох мір (рис. 8.3) процес вимірювання проходить у такій послідовності:

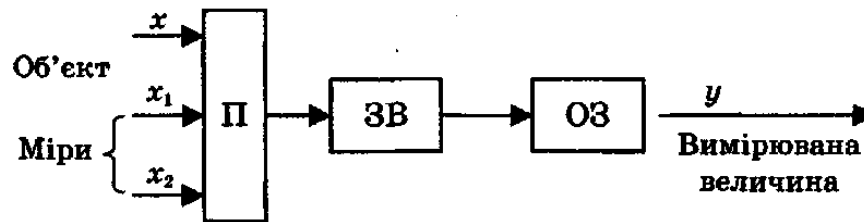


Рис. 8.3. Схема зменшення систематичної складової похибки з використанням зразкових мір

При лінійній статичній характеристиці засобу вимірювання достатньо використати дві міри. Отримана вимірювальна інформація опрацьовується на обчислювальному засобі (ОЗ), де при лінійній статичній характеристиці засобу вимірювання реалізується алгоритм

$$y = x + (x_2 - x_1)(y - y_1)/(y_2 - y_1). \quad (8.8)$$

Використання зразкових засобів і мір дозволяє звести до мінімуму систематичну складову похибки. Випадкова складову похибки залежить від кількості вимірювань n величини x , а опрацювання результатів вимірювань проводиться за алгоритмами (8.5) і (8.6). Обчислювальний засіб забезпечує одночасне визначення як систематичної, так і випадкової складової похибки і вимірюваної величини за алгоритмами (8.5)—(8.8).

4. Метод зменшення випадкової і систематичної складових похибок

Для зменшення випадкової і систематичної складових похибок вимірювань (рис. 8.4) використовуються як звичайні, так і зразкові засоби вимірювань, що підключаються для паралельної роботи за допомогою перемикача П.

Згідно зі схемою (рис. 8.4), вимірювана величина X вимірюється за допомогою кількох каналів K при n вимірюваннях на кожному каналі, що дає змогу значно зменшити випадкову похибку. Одночасно величина X вимірюється точнішим зразковим засобом вимірювання (ЗЗВ), що дає можливість визначити систематичну складову похибку як різницю математичних сподівань результатів вимірювань за допомогою звичайних і зразкових засобів вимірювання.

Опрацювання усіх результатів вимірювань як звичайними, так і зразковими засобами проводиться за допомогою обчислювального засобу (ОЗ) за алгоритмами (8.5)—(8.8). Кінцевий результат вимірювання визначається із

залежності

$$y = m_x \pm \theta \pm \delta_{\text{йм}}; \quad (8.9)$$

де $\delta_{\text{йм}}$ — ймовірна випадкова похибка, яка залежить від кількості вимірювань n та заданої ймовірності (0,9—0,997).

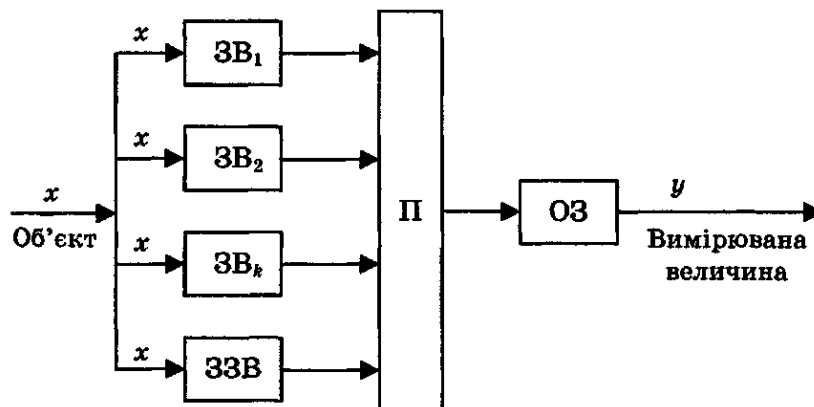


Рисунок 8.4 – Схема зменшення випадкової та систематичної складових похибок вимірювань

Наведений метод зменшення випадкових і систематичних складових похибок вимірювання доцільний при визначенні фізичних величин з високою точністю для виконання науково-дослідних експериментальних робіт.

Лекція 12

ДЕРЖАВНА МЕТРОЛОГІЧНА СЛУЖБА УКРАЇНИ

План лекції:

1. Метрологічне забезпечення єдності вимірювань.
2. Основні цілі та завдання метрологічного забезпечення.
3. Метрологічна служба України.
4. Державна метрологічна служба.

1. Метрологічне забезпечення єдності вимірювань.

Забезпечення єдності вимірювань як діяльності, спрямованої на досягнення і підтримку єдності вимірювань в Україні є досить складним і відповідальним завданням, яке й визначає головний зміст метрології і метрологічних служб держави. Виходячи з цього, **метрологічне забезпечення** — це встановлення і застосування метрологічних норм і правил, а також розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності і потрібної точності вимірювань.

Науковою основою метрологічного забезпечення є метрологія — наука про вимірювання, про методи та засоби забезпечення єдності вимірювань і способи досягнення потрібної точності.

Технічними основами метрологічного забезпечення є: система державних одиниць фізичних величин, система передачі розмірів одиниць фізичних величин від еталонів усім засобам вимірювань, система розробки, постановки на виробництво і випуску в обіг робочих засобів вимірювань необхідної точності для промисловості, система обов'язкових державних і відомчих повірок або метрологічної атестації засобів вимірювань, система стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, система стандартних довідкових даних про фізичні константи та властивості речовин і матеріалів тощо.

Організаційною основою метрологічного забезпечення є Державна метрологічна та відомча служба, метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, підприємств та організацій.

Загальні правила і норми метрологічного забезпечення встановлюються стандартами державної системи забезпечення єдності вимірювань. Остання є комплекс установлених стандартами взаємопов'язаних правил, положень, вимог і норм, які визначають організацію і методику проведення робіт для оцінки та забезпечення єдності і точності вимірювань.

Основними об'єктами стандартизації метрологічного забезпечення єдності вимірювань є:

- одиниці фізичних величин;
- державні еталони і повірочні схеми;
- методи і засоби повірки засобів вимірювань;

- нормовані метрологічні характеристики;
- норми точності вимірювань;
- способи вираження і форми представлення результатів вимірювань та показників точності вимірювань;
- методики проведення вимірювань;
- методики оцінки достовірності й форми представлення даних про властивості речовин і матеріалів;
- вимоги до зразків складу і властивостей речовин та матеріалів;
- організація і порядок проведення державних випробувань, повірки, метрологічної атестації засобів вимірювань, метрологічної експертизи, нормативно-технічної, проектної, конструкторської і технологічної документації.

2. Основні цілі та завдання метрологічного забезпечення

Основними завданнями метрологічного забезпечення є:

- підвищення якості продукції, ефективності управління виробництвом і рівня автоматизації виробничих процесів;
- забезпечення взаємозамінності деталей, вузлів та агрегатів, створення необхідних умов для кооперування виробництва і розвитку спеціалізації;
- підвищення ефективності науково-дослідних експериментально-конструкторських робіт та випробувань;
- забезпечення достовірності обліку і підвищення ефективності матеріальних цінностей і енергетичних ресурсів;
- підвищення рівня автоматизації управління транспортом і безпеки його руху;
- забезпечення високої якості і надійності зв'язку.

Держстандарт України відповідно до Закону України

"Про метрологію та метрологічну діяльність", проводить технічну політику по забезпеченню єдності вимірювань шляхом реалізації таких основних заходів:

- організація і проведення фундаментальних досліджень у галузі метрології;
- організація еталонної бази України;
- координація діяльності метрологічної служби;
- визначення загальних метрологічних вимог до засобів вимірювальної техніки та методів вимірювання;
- організація і проведення державного метрологічного контролю і нагляду;
- участь у діяльності міжнародних метрологічних організацій;
- організація навчання та підготовки кадрів з метрології, стандартизації та сертифікації тощо.

3. Метрологічна служба України

Відповідно до декрету Кабінету Міністрів України від 26 квітня 1993 року за № 40-93 "Про забезпечення єдності вимірювань, утворено Державний комітет України із стандартизації, метрології та сертифікації (Держстандарт України).

Цей декрет спрямований на захист інтересів народного господарства і громадян України. Він має на меті сприяння науково-технічному та економічному прогресу на основі використання результатів вимірювань гарантованої точності, виражених у прийнятих одиницях.

Законом України № 113/98-ВР від 11 лютого 1998 року "Про метрологію та метрологічну діяльність" визначені правові основи забезпечення єдності вимірювань в Україні, врегульовано суспільні відносини у сфері метрологічної діяльності. Цей закон спрямований на захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань. Закон поширюється на центральні та місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, підприємства, установи і організації незалежно від форм власності та виду діяльності, що діють на території України.

Державна метрологічна система забезпечує єдність вимірювань у державі і спрямована на:

- реалізацію єдиної технічної політики в галузі метрології;
- захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань;
- економію усіх видів матеріальних ресурсів;
- підвищення рівня фундаментальних досліджень і наукових розробок;
- забезпечення якості конкурентоспроможності вітчизняної продукції;
- створення науково-технічних, нормативних та організаційних основ забезпечення єдності вимірювань у державі.

Діяльність щодо забезпечення функціонування та розвитку державної метрологічної системи координує Державний комітет України із стандартизації, метрології та сертифікації (далі — Держстандарт України) — центральний орган виконавчої влади.

Метрологічна служба України складається із Державної метрологічної служби і метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, підприємств та організацій. Структурну схему метрологічної служби України подано на рис. 10.1.

Держстандарт України безпосередньо підпорядкований Кабінету Міністрів України, який здійснює загальне керівництво Держстандартом, затверджує загальнодержавні стандарти і проводить механічну політику в країні.

До Державної метрологічної служби належать:

- відповідні підрозділи центрального апарату Держстандарту України;
- державні наукові метрологічні центри;

територіальні органи Держстандарту України в автономній республіці Крим, областях, містах Києві і Севастополі та містах обласного підпорядкування (Горлівці, Дрогобичі, Кременчузі, Кривому Розі, Маріуполі, Мелітополі, Краматорську, Червонограді);

- державна служба єдиного часу та стандартних частот;
- державна служба стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів;
- державна служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів.

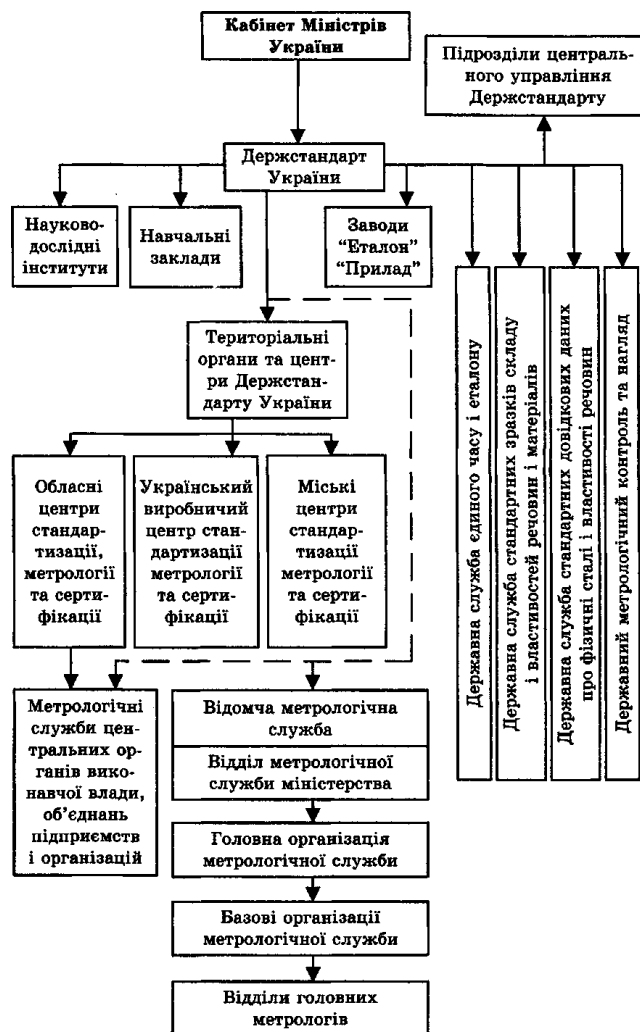


Рисунок 10.1 – Структурна схема метрологічної служби України

4. Державна метрологічна служба

Державна метрологічна служба організовує, здійснює та координує діяльність, спрямовану на забезпечення єдності вимірювань, а також виконує державний метрологічний контроль і нагляд за проведенням єдиної у країні технічної політики щодо забезпечення єдності вимірювань та додержанням вимог, нормативно-технічних актів і нормативних документів з метрології.

Державна метрологічна служба забезпечує проведення єдиної технічної

політики в Україні щодо забезпечення єдності вимірювань шляхом організації та проведення таких заходів:

- організація проведення фундаментальних досліджень у галузі метрології;
- організація створення та функціонування еталонної бази України;
- визначення порядку створення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування еталонів, а також звіряння їх з міжнародними еталонами та еталонами інших країн; координація діяльності метрологічної служби України;
- визначення загальних метрологічних вимог до засобів вимірювальної техніки, методів та результатів вимірювань;
- затвердження типів засобів вимірювальної техніки;
- визначення загальних вимог щодо порядку проведення калібрування і метрологічної атестації засобів вимірювальної техніки;
- визначення загальних вимог до розроблення та атестації методик виконання вимірювань;
- визначення порядку проведення усіх видів державного метрологічного контролю і нагляду;
- організація і проведення державного метрологічного контролю і нагляду;
- затвердження типових положень про метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій;
- розроблення або участь у розробленні національних, державних і багатогалузевих програм, що стосуються забезпечення єдності вимірювань;
- організація навчання з метрології, стандартизації та сертифікації з метою підвищення кваліфікації інженерно-технічного персоналу підприємств, участь в діяльності міжнародних метрологічних організацій у порядку, передбаченому законодавством.

Метрологічні центри Держстандарту України виконують роботи, пов'язані із створенням, вдосконаленням, зберіганням і застосуванням державних еталонів, створенням систем передачі розмірів одиниць вимірювань, розробленням нормативних документів з метрології, а також здійснюють державний метрологічний контроль.

Територіальні органи Держстандарту України виконують на відповідній території завдання і функції Держстандарту України у межах, визначених положенням про ці органи та наказами Держстандарту України.

Метрологічні центри і територіальні органи Держстандарту України за договорами з підприємствами, організаціями і громадянами-суб'єктами підприємницької діяльності, можуть проводити калібрування і ремонт засобів вимірювальної техніки, метрологічну експертизу документації, акредитацію вимірювальних лабораторій, атестацію методик виконання вимірювань та надавати інші метрологічні послуги відповідно до цього Закону.

Лекція 13

ДЕРЖАВНА МЕТРОЛОГІЧНА СЛУЖБА УКРАЇНИ

План лекції:

1. Метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій.
2. Відомча метрологічна служба.
3. Державний метрологічний контроль і нагляд.
4. Державні випробування засобів вимірювальної техніки.
5. Повірка, ревізія та експертиза засобів вимірювальної техніки.
6. Державна служба стандартних зразків складу і властивостей речовин та матеріалів.
7. Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів.

1. Метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій

До складу метрологічної служби центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій входять метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, міністерств (відомств), об'єднань, підприємств і організацій, а також головні та базові організації відповідних відомств.

Метрологічні служби створюються:

- у міністерствах (відомствах) — для забезпечення єдності вимірювань та здійснення метрологічного контролю і нагляду на підприємствах галузі, а також організації робіт щодо розробки нових засобів вимірювань їх випробувань і впровадження в виробництво;

- у центральних органах виконавчої влади — для координації робіт, пов'язаних із забезпеченням єдності вимірювань і здійснення метрологічного контролю та нагляду;

- в органах управління об'єднань підприємств — для виконання функцій щодо забезпечення єдності вимірювань, делегованих підприємствами, що входять до складу об'єднань;

- на підприємствах і організаціях — для забезпечення єдності вимірювань та здійснення метрологічного контролю і нагляду.

Метрологічні служби організують та виконують роботи, пов'язані із забезпеченням єдності вимірювань у сфері своєї діяльності, основними з яких є:

- організація і здійснення метрологічного контролю і нагляду;
- розроблення методик виконання вимірювань;
- проведення метрологічної атестації, повірки та калібрування засобів вимірювальної техніки;

- організація та проведення державних випробувань, повірки та ремонту засобів вимірювальної техніки.

2. Відомча метрологічна служба

Положення про відомчі метрологічні служби розробляються згідно з типовими положеннями про ці служби і погоджуються з Держстандартом України або ж з його метрологічними центрами та територіальними органами.

До складу метрологічних служб міністерств входять:

- відділи, на які покладається керівництво метрологічною службою міністерства;
- головна організація метрологічної служби;
- базові організації метрологічної служби;
- відділи головних метрологів підприємств.

Головна організація метрологічної служби створюється для проведення організаційно-методичного та науково-технічного керівництва роботами базових організацій та метрологічними службами підприємств з метрологічного забезпечення розробки, виробництва випробувань і експлуатації виготовлюваної підприємствами продукції. Головна організація метрологічної служби призначається міністерством (відомством) за узгодженням з Держстандартом України із числа провідних науково-дослідних, проектно-технологічних або проектно-конструкторських організацій

Базові організації метрологічної служби призначаються міністерством за узгодженням з Держстандартом України із числа науково-дослідних, проектно-конструкторських, проектно-технологічних організацій і провідних підприємств.

Базові організації метрологічної служби створюються для проведення науково-технічного та організаційно-методичного керівництва роботами з метрологічного забезпечення розробки, виробництва, випробувань і експлуатації закріплених за нею певних груп продукції чи видів діяльності.

Відділи головних метрологів підприємств і організацій організують роботи щодо метрологічного забезпечення підприємств, контролюють своєчасність повірок як зразкових, так і технічних засобів вимірювань усіх фізичних величин та параметрів на підприємстві і несуть за це повну відповідальність за законом.

3. Державний метрологічний контроль і нагляд

Державний метрологічний контроль і нагляд здійснюється Державною метрологічною службою з метою перевірки додержання вимог Закону "Про метрологію та метрологічну діяльність" № 113-98 та інших нормативно-правових актів України і нормативних документів із метрології. Об'єктами державного метрологічного контролю і нагляду є: засоби вимірювальної техніки; методики виконання вимірювань різних фізичних величин та кількості

фасованого товару в упаковках. Крім того, сфера державного метрологічного нагляду поширюється на вимірювання, пов'язані із забезпеченням охорони здоров'я, захисту життя та здоров'я громадян, якості та безпеки продуктів харчування, стану навколишнього природного середовища, безпеки умов праці, об'єктивності торговельно-комерційних операцій і розрахунків між покупцем та продавцем, податкових, банківських і митних операцій; обліку енергетичних і матеріальних ресурсів тощо.

4. Державні випробування засобів вимірювальної техніки

Усі засоби вимірювальної техніки, призначені для серійного виробництва чи ввезені із закордону, підлягають державним випробуванням під наглядом метрологічної служби з метою визначення відповідності їх установленим нормам, потребам народного господарства та сучасному рівневі розвитку приладобудування, а також доцільності їх виробництва.

Державні випробування як нових, так і освоєних засобів вимірювальної техніки проводяться з метою забезпечення єдності вимірювань у державі і підвищення ефективності та якості вимірювальної техніки.

Головною метою випробувань є забезпечення високого технічного рівня приладобудування, відповідності технічних і метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки вимогам народного господарства і світовому ринку, встановлення оптимальної номенклатури засобів вимірювань, забезпечення потреб народного господарства, розвиток метрологічної бази держави з високим рівнем уніфікації і стандартизації засобів вимірювань, а також спеціалізації й кооперації їх виробництва.

За Законом "Про метрологію та метрологічну діяльність" прийнято два види державних випробувань: приймальні та контрольні.

Державні випробування засобів вимірювальної техніки — це дослідження, які виконуються державною метрологічною службою або за її дорученням, зразків засобів вимірювальної техніки (засобів вимірювань), партій, призначених для серійного виробництва, або зразків, призначених для імпорту партіями, з метою встановлення їх відповідності вимогам нормативно-технічної документації.

Вимірювальні засоби, для яких не проводяться державні випробування, при необхідності визначення їх метрологічних характеристик підлягають метрологічній атестації.

Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки — це дослідження з метою визначення їх метрологічних характеристик та видачі відповідного документа. Метрологічна атестація проводиться метрологічними організаціями на основі поданих документів та актів випробувань заводу, виготовлювача.

5. Повірка, ревізія та експертиза засобів вимірювальної техніки

Система метрологічного нагляду за засобами вимірювальної техніки є

комплекс правил, положень, вимог технологічного, економічного і правового характеру, які визначають організацію і порядок проведення повірки, ревізії й експертизи засобів вимірювань.

Повірка, ревізія та експертиза проводяться відповідно до постанов Держстандарту України і поширюються на всі засоби вимірювальної техніки, які перебувають в експлуатації та обігу в державі.

Повірка засобів вимірювальної техніки — це процес порівняння показів повіряємих засобів вимірювальної техніки з показами більш точних засобів вимірювань (зразкових, еталонних) з метою визначення їхнього класу точності та встановлення придатності до застосування.

Залежно від рівня метрологічної служби повірки можуть бути державними та відомчими, а за призначенням — первинними, періодичними, інспекційними, позачерговими, комплексними, по-елементними, вибірковими та ін.

Державна повірка засобів вимірювальної техніки — це повірка органами державної метрологічної служби або ж за їх дорученням засобів вимірювальної техніки, які використовуються у сферах, що підпадають під державний метрологічний нагляд.

Відомча повірка засобів вимірювальної техніки — це повірка відомчими метрологічними службами засобів вимірювальної техніки, що не підлягає державній повірці. Наприклад, повірка технічних засобів вимірювань на підприємствах галузі за допомогою зразкових засобів вимірювань, які своєчасно пройшли державну повірку в обласних чи міських територіальних органах і мають свідоцтва про повірку.

Метрологічна ревізія полягає у провірці стану засобів вимірювальної техніки, у контролі за виконанням правил їхньої повірки та використанням органами державної метрологічної служби.

Метрологічна експертиза документації — це аналіз і оцінка правильності прийнятих у документації технічних рішень щодо реалізації метрологічних норм і правил.

6. Державна служба стандартних зразків складу і властивостей речовин та матеріалів

Складовою частиною Держстандарту України є державна служба стандартних зразків складу і властивостей речовин та матеріалів, головною метою якої є забезпечення єдності вимірювань хімічного складу, фізичних, фізико-хімічних, експлуатаційних та інших властивостей речовин та матеріалів.

Стандартні зразки широко використовуються для градування і повірки засобів і методів вимірювань, а також для контролю якості промислової продукції методом безпосереднього звіряння. Зразки використовуються в основних галузях промисловості з метою контролю за якістю хімічного складу сировини, механічними, теплофізичними, оптичними, електричними, магнітними, радіоактивними та іншими властивостями.

Стандартні зразки речовин та матеріалів є мірами величин, які характеризують властивості і склад речовин та матеріалів. Вони використовуються як під час проведення метрологічних робіт, так і для контролю за властивостями сировини чи продукції. Наприклад, зразки нових сплавів, металів, пластмас тощо.

Залежно від атестованих характеристик зразки речовин і матеріалів розділяються на **стандартні зразки властивостей і стандартні зразки складу**.

Стандартні зразки використовуються у вигляді речовин (або тіла), одна із властивостей яких слугує для відтворення за певних умов одиниці вимірювання, коефіцієнта чи умовної шкали.

Стандартним зразкам властиві такі ознаки: галузь використання, атестована властивість, носій властивості, значення атестованої величини та метрологічне призначення (зразкова міра різних чи робоча міра відповідного класу точності).

При атестації стандартного зразка точність його встановлюється у залежності від призначення. Допустимі похибки атестованого стандартного зразка властивостей, а також його розряд чи клас точності встановлюється відповідними нормативними документами.

Стандартні зразки класифікуються за такими ознаками:

- різновидністю атестованої характеристики, за якою атестується зразок (вміст одного, кількох чи всіх компонентів, чистота речовин, фазовий склад);
- методом аналізу досліджуваних об'єктів (хімічний, спектральний, рентгено-спектральний тощо);
- агрегатним станом і технічними особливостями виготовлення матеріалу стандартних зразків;
- атестованим об'єктом.

Кожний позитивно атестований зразок як стандартний зразок властивостей чи складу речовин та матеріалів реєструється у державному реєстрі стандартних зразків України.

На атестовані стандартні зразки оформляються відповідні документи (свідоцтва) або наноситься тавро про відповідне значення атестованої величини.

7. Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів

Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів — це спеціалізована державна система, яка забезпечує на основі єдиних наукових, методичних і організаційних положень визначення, збір, опрацювання, зберігання та стандартизацію даних про фізичні константи і властивості речовин і матеріалів та довідково-інформаційне обслуговування споживачів (абонентів) цими даними.

У сучасній науці й техніці використовується велика кількість речовин і матеріалів, властивості яких змінюються з часом (старіння матеріалів) та

залежно від умов їх застосування і зберігання (тиск, температура, вологість, середовище тощо).

Щороку в світі публікується 200 тис. теоретичних і експериментальних робіт про дослідження властивостей матеріалів.

Особливо суперечливі результати досліджень нових матеріалів. У довідниках інколи подаються недостовірні дані про ті чи інші властивості речовин. Сьогодні відомо близько 3,5 млн речовин і матеріалів і близько 1000 їхніх властивостей у різних зовнішніх умовах. Тому організація служби стандартних довідкових даних про фізичні властивості і сталі речовин та матеріалів конче потрібна.

Основним завданням цієї служби є:

- забезпечення вичерпною оперативною інформацією про властивості і склад речовин та матеріалів, які використовуються у виробництві; прискорення одержання нових речовин і матеріалів з визначенням їх властивостей і складу;
- підвищення продуктивності праці науковців і інженерів за рахунок зниження затрат на пошук інформації;
- забезпечення відповідного рівня точності значень фізичних констант та довідкових даних;
- розвиток міжнародного співробітництва у галузі стандартизації.

Виконання одного із важливих завдань щодо забезпечення науковців і виробників достовірною і оперативною інформацією про властивості речовин та матеріалів можливе лише при використанні потужних електронно-обчислювальних засобів для збору і опрацювання даних на потребу споживача.

Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів повинна дбати про своєчасну публікацію та розповсюдження довідників, таблиць, інформаційних оглядів тощо.

Лекція 14

ОСНОВИ СЕРТИФІКАЦІЇ ТА СИСТЕМ ЯКОСТІ

План лекції:

1. Розвиток сертифікації.
2. Основні визначення та терміни в галузі сертифікації
3. Розвиток сертифікації в Україні.
4. Національна система сертифікації УкрСЕПРО

1. Розвиток сертифікації

Передові промислово розвинуті країни світу в 20—30-х роках ХХ ст. приступили до сертифікації продукції, що випускається, завойовуючи ринки продукцією відповідної якості та підтверженою знаком відповідності стандартам.

У 1920 р. Німецький інститут стандартів (DIN) застосував у Німеччині знак відповідності стандартам DIN, який поширюється майже на всі види продукції, для якої передбачено спеціальний порядок проведення випробувань зразків та нагляду за виробництвом продукції. Знак DIN зареєстрований в державі відповідно до закону про захист торгових знаків.

1. Німецька електротехнічна асоціація (VDE) розробила одну з перших систем сертифікації електротехнічного та електронного обладнання, яка організує розробку національних стандартів в електротехніці, електроніці та зв'язку і здійснює управління системою сертифікації відповідного обладнання. До складу VDE входить Інститут випробувань і приймань, який має свої випробувальні підрозділи та виконує функції національного органу перевірки засобів вимірювань. Інститут випробувань і приймань є тією третьою стороною між підприємством-виробником та споживачем, яка розглядає і приймає рішення про вжиття необхідних заходів, запропонованих як виробником, так і випробувальними лабораторіями та органами нагляду, що дає змогу гарантувати належний рівень якості продукції.

2. У Великій Британії сертифікація охоплює основні галузі промисловості, але там діють декілька систем сертифікації як для окремих видів продукції, так і для однотипної продукції, що випускається різними компаніями та фірмам. Для продукції, яка сертифікується в системі, затверджено спеціальний знак відповідності британським стандартам який зареєстрований і охороняється законом.

3. У Франції в 1938 р. відповідним декретом було створено систему сертифікації із супроводжувальним знаком. NF, а відповідальність за спільну організацію управління системою покладено на Французьку асоціацію зі стандартизації (AFNOR). Система сертифікації зі знаком NF означає, що продукція повністю відповідає лише національним стандартам. У кінці ХХ ст. у

Франції діяли близько 75 систем сертифікації на різні види продукції та послуги за національними стандартами.

4. В СРСР продукції високої якості присвоювався знак якості, тобто сертифікувалась продукція за національними стандартами. У всіх розвинених державах використовувались системи сертифікації з урахуванням національних стандартів. Зображення знаків, які супроводжують продукцію і застосовуються в різних державах наведено на рис. 1.

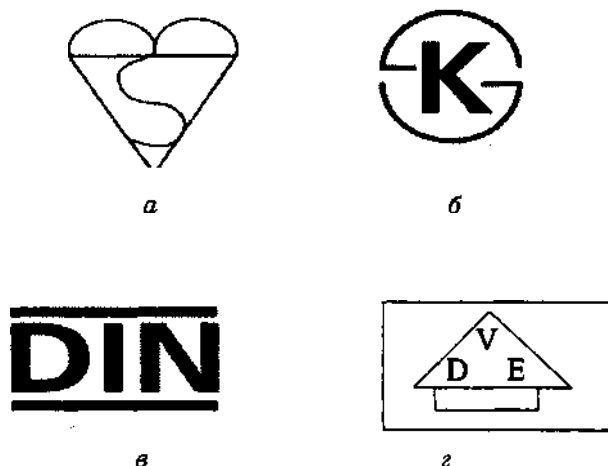


Рисунок 14.1 – Знаки відповідності стандартам: а — у Великій Британії; б — у Південній Кореї; в—г — у Німеччині

У 1989 р. на Раді Європейського Союзу було прийнято важливий документ “Глобальна концепція зі сертифікації і досліджень”. Основна ідея цього документа полягає у формуванні довіри до товарів та послуг шляхом використання таких інструментів, як сертифікація та акредитація, що спираються на єдині європейські норми.

Основні рекомендації Глобальної концепції ЄС можна сформулювати так:

1. Заохочення загального застосування стандартів із забезпечення якості серії EN 29000 і сертифікація на відповідність цим стандартам.
2. Застосування стандартів серії EN 45000, які встановлюють вимоги до органів зі стандартизації та випробувальних лабораторій при їх акредитації.
3. Заохочення до створення централізованих національних систем акредитації.
4. Застосування організації з досліджень та сертифікації в галузі, яка не регулюється стандартами.
5. Гармонізація інфраструктури випробувань і сертифікації в країнах ЄС.

Таблиця 14.1. Міжнародні організації з сертифікації

Прийнята аббревіатура	Повна назва організації	Мета створення
EUROLAB	Європейська організація з досліджень	Об'єднання випробувальних лабораторій
EUROCHEM	Європейська кооперація з аналітичної хімії	Об'єднання хіміко-аналітичних лабораторій
EQS	Європейський комітет з упровадження і сертифікації систем забезпечення якості	Об'єднання органів ¹ із сертифікації систем забезпечення якості
ECITS	Європейський комітет з досліджень і сертифікації в галузі інформаційних технологій	Об'єднання органів дослідження і сертифікації галузевих інформаційних технологій
ELSECOM	Європейський електротехнічний комітет з випробувань і сертифікації	Об'єднання органів із сертифікації ¹ і випробувальних лабораторій
ESCIF	Європейський комітет з вогнезахисту і пожежної безпеки	Об'єднання органів з вогнезахисту і пожежної безпеки
EOTC	Європейська організація з випробувань і сертифікації. Заснована в листопаді 1990 р. Штаб-квартира в Брюсселі	Об'єднання ECITS, ELSECOM та ESCIF для гармонізації сертифікації в Європі

Таблиця 14.2. Міжнародні організації з акредитації

Прийнята аббревіатура	Повна назва	Мета створення
ILAC	Міжнародна конференція з акредитації лабораторій, заснована в 1970 р.	Обмін досвідом між органами з акредитації та лабораторіями
IAF	Міжнародний форум з акредитації, заснований у 1993 р.	Уніфікація систем і критеріїв акредитації в Європі та в світі
EA	Європейська кооперація з акредитації випробувальних лабораторій та органів із сертифікації	Формування довіри до випробувань і сертифікації в Європі

У 1980 р. Інститут РЕВ зі стандартизації розробив Загальні умови взаємного визнання результатів випробувань продукції, відповідно до яких передбачено організацію мережі керівних структур для взаємного визнання результатів випробувань у всіх країнах — учасниках угоди.

2. Основні визначення та терміни в галузі сертифікації

Визначення та терміни в галузі сертифікації потрібні для забезпечення єдиного розуміння спеціалістами правил і процедур сертифікації та акредитації в міжнародному масштабі. Терміни та визначення встановлені керівними вказівками ISO/IEC2 і на європейському рівні закріплені в стандарті EN 45020.

Сертифікація — контрольні випробування, на основі яких встановлюються відповідність продукції чи послуг вимогам нормативного документа, за яким здійснювалось виготовлення продукції чи надання послуг, і що проводяться третьою незалежною стороною.

Сертифікація відповідності — дія третьої сторони, яка доводить, що належним чином ідентифікована продукція, процес, послуги відповідають конкретному стандарту чи нормативному документу. Метою цієї роботи є забезпечення відповідності продукції чи послуг прийнятим вимогам на основі результатів випробувань, проведених третьою стороною.

Система сертифікації — це система, яка має власні правила, процедури й управління для проведення сертифікації відповідності і функціонує на міжнародному чи Національному рівні.

Орган із сертифікації — орган, який проводить сертифікацію відповідності самостійно або ж здійснює нагляд за цією діяльністю, яку

проводить інша організація за дорученням.

Сертифікат відповідності — документ, який вказує на те, що певні продукція, процеси і послуги належним чином відповідають конкретному стандарту чи нормативному документу. Документ видається з правилами системи сертифікації.

Знак відповідності — знак, який гарантує, що дана продукція, процеси чи послуги відповідають конкретному стандарту або ж нормативному документу. Знак видається відповідно до правил системи сертифікації.

Третя сторона — особа або орган, які визнаються незалежними від сторін (виробника і споживача), що беруть участь у питанні, яке розглядається чи обговорюється.

Випробування — технічна операція, яка полягає у встановленні однієї або декількох характеристик даної продукції, процесів чи послуг відповідно до встановленої процедури.

Метод випробувань — встановлений порядок проведення випробувань.

Випробувальна лабораторія — лабораторія, яка проводить випробування продукції та її характеристик.

Акредитація (лабораторії). Офіційне визнання того, що випробувальна лабораторія є правочинною здійснювати конкретні випробування чи конкретні типи випробувань.

3. Розвиток сертифікації в Україні

Інтеграційні процеси у світовій економіці сприяли розвитку і вдосконаленню в Україні процесів сертифікації та акредитації, узгоджуючи їх з міжнародними стандартами. Сертифікація в Україні раніше проводилась на рівні державних випробувань як одного з видів контролю якості продукції за стандартом ГОСТ 16504—81.

У 1992 р. відповідно до Закону України “Про захист прав споживачів” у державі розпочалася сертифікація продукції та послуг під керівництвом Держстандарту України. Прийнятий в 1993 р. Кабміном України декрет “Про стандартизацію та сертифікацію” сприяв подальшому розвитку стандартизації та сертифікації в державі. Україна в 1997 р. ввійшла до Міжнародної системи сертифікації МЕКСЕ та МЕКБ. Аналіз роботи системи сертифікації УкрСЕПРО міжнародними експертами показав, що українська система стандартизації та сертифікації відповідає принципам, цілям і вимогам ГАТТ/СОР і не створює перешкод у торгівлі. Визнання УкрСЕПРО торговельними партнерами України свідчить про міжнародний авторитет нашої країни. Зокрема Держстандарт України уклав договори про співробітництво в галузі стандартизації та сертифікації з більш ніж 25 державами: Францією, Росією, Білоруссю, Німеччиною, Грузією, Естонією та іншими державами. За п’ять років роботи органами із сертифікації видано більше 70 тисяч сертифікатів відповідності та близько 8 тисяч свідоцтв про визнання сертифікатів, виданих системами сертифікації інших держав. Система

сертифікації стала ефективним фактором захисту внутрішнього ринку від небезпечної зарубіжної продукції і захисту наших виробників від недобросовісних конкурентів. Нормативні документи УкрСЕПРО відповідають рекомендаціям ISO/IEC і враховують вимоги європейських стандартів EN 45000.

4. Національна система сертифікації УкрСЕПРО

Надійним інструментом захисту і регулювання ринку є державна система сертифікації УкрСЕПРО, в якій акредитовано більше 140 органів із сертифікації, близько 700 випробувальних лабораторій, підготовлено та записано до реєстру 230 аудиторів. Система сертифікації України побудована за дворівневою схемою: верхній рівень створює державна система сертифікації, а нижній утворюють органи сертифікації за видами продукції та центри випробувань (лабораторії).

Органи сертифікації системи УкрСЕПРО, спеціалізовані за видами продукції, незалежні ні від виробника продукції, ні від споживача, тому їх рішення є об'єктивними, незалежними і справедливими. Органи сертифікації проводять сертифікацію конкретної продукції, акредитують випробувальні центри (лабораторії), співробітничать з Держстандартом України з питань організації роботи і вдосконалення системи сертифікації, видають виробникам продукції сертифікати відповідності і висновки про відповідність продукції чи зауваження стосовно продукції та її якості. За дотримання правил і порядку сертифікації продукції та послуг несе відповідальність Держстандарт України в межах своєї компетенції.



Рис. 14.2. Структурна схема системи сертифікації УкрСЕПРО

Лекція 15

ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ

План лекції:

1. Розвиток поняття якості продукції.
2. Основні поняття та визначення з якості продукції.
3. Життєвий цикл та класифікація продукції.
4. Показники якості продукції.
5. Системи управління якістю продукції.

1. Розвиток поняття якості продукції

Якість продукції і послуг є одним із важливих чинників успішної діяльності будь-якого підприємства, організації, фірми тощо. Нині в усьому світі значно підвищились вимоги споживачів до якості продукції і послуг.

Якість як філософську категорію, вперше проаналізував Арістотель ще в III ст. до н. е. Філософське визначення якості зробив у свій час Гегель: “Якість є, в першу чергу, тотожна з буттям визначеність, так що дещо перестає бути тим, що воно є, коли воно втрачає свою якість”.

Якість продукції — сукупність властивостей і характеристик продукції або послуг, які надають продукції або послугам здатність задовольнити обумовлені потреби людства (ISO 8202—84).

Єдність термінології, показників та методів встановлення рівнів якості продукції розроблена Державним науково-дослідним інститутом “Система” Держстандарту України і представлена в серії науково-технічних документів (НТД), найважливішими з яких є ДСТУ 2825—94 “Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення”, ДСТУ 3230—95 “Управління якістю та забезпечення якості. Терміни та визначення”. Термін “якість” вживається стосовно певної продукцією або послуг: якісні продукти харчування, якісна автомашина, якісне житло, якісний одяг, якісне обслуговування тощо.

На якість продукції чи послуг впливають такі взаємопов’язані види діяльності людини, як проектування, виготовлення, зберігання, обслуговування, ремонт та ін. Кожний із перерахованих видів діяльності має свої чинники, які впливають (як позитивно так і негативно) на якість продукції і забезпечення потреб людини.

2. Основні поняття та визначення з якості продукції

Якість продукції — сукупність властивостей і характеристик продукції чи послуг, які надають продукції чи послугам здатності задовольнити встановлені та передбачені потреби.

Властивість продукції — об’єктивна особливість продукції, яка може

виявлятися під час її створення, експлуатації чи споживання.

Показник якості продукції — кількісна характеристика однієї чи кількох властивостей продукції, що характеризують її якість, яку розглядають стосовно визначених умов її створення та експлуатації.

Параметр продукції — ознака продукції, яка кількісно характеризує певні її властивості.

Придатна продукція — така продукція, яка задовольняє всі встановлені вимоги.

Дефект — невиконання заданої очікуваної вимоги стосовно продукції чи вимоги, включаючи вимоги безпеки.

Брак — продукція з наявністю дефектів; передавання її споживачу не допускається.

Рівень якості продукції — відносна характеристика якості продукції, яка ґрунтується на порівнянні значень оцінюваних показників якості продукції з базовими значеннями відповідних показників.

Система якості — сукупність організаційної структури, методик, процесів і ресурсів, необхідних для здійснення управління якістю.

Управління якістю — загальні функції управління, які визначають політику, цілі, відповідність у сфері якості і здійснюються за допомогою таких заходів: планування якості, оперативне управління якістю, забезпечення якості та політики якості.

3. Життєвий цикл та класифікація продукції

Життєвий цикл будь-якої продукції — сукупність станів, які проходить продукція від утворення до використання (утилізації). Основні стадії життєвого циклу: дослідження та проектування, випробування, виготовлення, зберігання, використання або експлуатація, ремонт та утилізація.

Для промислової продукції (машини, станка, приладу), кожного виробу характерний подібний життєвий цикл, який починається з проектування та виготовлення, а закінчується утилізацією.

Всю промислову продукцію з метою оцінки її рівня якості можна поділити на два класи: продукція, яка безповоротно витрачається при використанні, продукція, що витрачає свій ресурс і може повторно використовуватися лише після ремонту, повторного відновлення її якості.

До першого класу належать продукція, яку можна поділити на три групи: сировина і природне паливо; матеріали і продукти; спрацьовані вироби. До другого класу відносять вироби, які підлягають або не підлягають ремонту, тобто дві групи виробів.

До першої групи належать сировина і різні види природного палива, наприклад, газоподібне, рідке та тверде паливо, природні будівельні матеріали тощо.

До другої групи входять матеріали і продукти, які пройшли первинну обробку і є її результатом, наприклад, різні мастила і палива (бензин,

скраплений газ), цегла, балки, плити, лісоматеріали, радіо- й електроматеріали тощо.

До третьої групи відносять вироби, які використовуються як допоміжні при виготовленні тієї чи іншої продукції, наприклад, дріт, кабель, фільтрувальні матеріали тощо.

До четвертої групи належать вироби, що не підлягають ремонту, які після виходу з ладу піддаються утилізації, наприклад, транзистори, діоди, підшипники, гайки, болти, шестерні тощо

До п'ятої групи входять вироби, які піддаються ремонту після виходу з ладу; наприклад, автомашини, устаткування, технологічні лінії, верстати тощо.

Якщо продукція першого класу витрачається за призначенням в процесі експлуатації, що продукція другого класу витрачає свій ресурс, який можна поновити і продовжити експлуатацію до наступного морального спрацювання.

4. Показники якості продукції

Показники якості продукції (ПЯП) дають кількісне визначення ступеня відповідності продукції вимогам замовника.

Залежно від кількості характерних властивостей показники якості поділять на одиничні та комплексні. Комплексні показники у свою чергу поділять на групові, головні, узагальнені та інтегральні.

Головний показник якості продукції — показник, який характеризує властивості продукції за основним її призначенням. Наприклад, для електродвигуна основним показником є потужність (1 кВт, 50 кВт), незважаючи на те, що є багато інших показників: синхронний, асинхронний, звичайний, пожежозахищений тощо.

Груповий показник якості — комплексний показник, до складу якого входять кілька показників: $P_1; P_2; P_3, \dots$, що належать до однієї групи властивостей.

Інтегральний показник якості характеризує відношення сумарного корисного ефекту від споживання товару до сумарних затрат на його створення та експлуатацію, тобто він є техніко-економічним показником.

Узагальнений комплексний показник становить собою сумарну функцію кількох одиничних показників якості продукції з різних властивостей. Наприклад, узагальнений показник якості хліба враховує об'єм колір і температуру м'якушки хліба.

Показник якості K визначається за формулою

$$K = \sum_{i=1}^n m_i K_i,$$

де n — кількість одиничних показників;

m_i — коефіцієнт пропорційності i -го одиничного показника;

K_i — оцінка (значення) i -го одиничного показника.

Значення показника якості продукції виражаються в абсолютних, відносних і базових значеннях. Базове значення ПЯП — показник, який

береться за основу при порівнянні з поточними значеннями. Базове значення ПЯП вибирається таким, що відповідає найкращим показникам відповідності продукції вимогам замовника. Відносне значення показника якості продукції відповідає відношенню абсолютного значення до базового значення ПЯП.

Показники призначення продукції і область їх використання, наприклад, вміст корисних речовин в продуктах харчування (1000 калорій в 1 кг молока тощо).

1. Показники економічного використання сировини, матеріалів, палива, електроенергії тощо.

2. Показники надійності роботи устаткування, верстатів тощо. До таких показників належать: довговічність, термін роботи, термін безвідмовності, термін зберігання сировини тощо.

3. Ергономічні показники: освітлення, теплостійкість вологостійкість тощо.

4. Естетичні показники: пофарбування продукції, зручність роботи і розміщення устаткування, розміщення столів, освітлення робочих місць тощо.

5. Показники стандартизації: уніфікація, утилізація, стандартизація вузлів, деталей технологій тощо.

6. Патенти — правові показники: наявність авторських свідоцтв, патентів тощо.

7. Екологічні показники: забрудненість води і повітря, рівень радіації, вміст нітратів у сільськогосподарській продукції тощо.

8. Показники безпеки: електроізоляція, тепловий захист, автоматика безпеки тощо.

5. Системи управління якістю продукції

Система якості — сукупність організаційної структури відповідних процедур, процесів і ресурсів, які забезпечують здійснення загального управління якістю продукції і послуг та підтримання міцних зв'язків між усіма ланками управління та працюючими підприємствами на всіх рівнях виробництва та реалізації.

Для забезпечення високої якості продукції чи послуг необхідна чітка система управління якістю, яка би враховувала науково-технічні досягнення, стимулювала добросовісну працю всього колективу підприємства й орієнтувалася на запити ринку. Починаючи з 50-х років минулого сторіччя в соцдержавах запроваджуються системи управління якістю продукції і праці на підприємствах різних галузей.

В 1978 р. Держстандартом СРСР були розроблені й затверджені основні принципи Єдиної системи державного управління якістю продукції (ЄСДУЯП). Впровадження системи якості продукції дало змогу випускати багато продукції, яка за своїми показниками була кращою за зарубіжні аналоги. Вітчизняний досвід комплексного управління якістю продукції став доброю основою для розробки та освоєння міжнародних стандартів якості ISO 9000

Лекція 16

Атестація виробництва та вимоги до нормативних документів на продукцію, що сертифікується

1. Атестація виробництва та вимоги до нормативних документів на продукцію, що сертифікується.
2. Порядок акредитації випробувальних лабораторій та вимоги до них.
3. Контроль якості продукції.

1. Атестація виробництва та вимоги до нормативних документів на продукцію, що сертифікується

Вимоги до атестованого виробництва регламентовані нормативним документом ДСТУ 3414-96.

Атестація виробництва проводиться за ініціативою підприємства або на вимогу органу з сертифікації. Вона повинна передбачати отримання кількісної оцінки стабільності відтворення показників, продукції. Для показників, що підтверджуються сертифікацією, повинна також передбачатись видача рекомендацій щодо оптимальної кількості зразків (проб, вибірок), що випробовуються з метою сертифікації, способів та правил їх відбору, а також правил і порядку проведення технічного нагляду за виробництвом сертифікованої продукції.

Підприємство до початку атестації повинно мати документи, в яких наводяться відомості щодо:

- організації контролю якості;
- організації контролю за випуском продукції;
- структури відповідальності виробничого персоналу перед вищим рівнем керівництва за якість виготовлення продукції та виконання робіт;
- системи контролю якості в ході технологічного процесу, включаючи контроль матеріалів та комплектуючих виробів;
- системи контролю за внесенням змін до технічної документації на продукцію;
- засобів вимірювань, контролю за випробувальним обладнанням, що використовується під час виробництва продукції;
- системи перевірки засобів вимірювання та контролю випробувального обладнання;
- порядку формування та позначення партії продукції, що випускається, порядку формування та позначення вибірок з них для випробувань або контролю;
- порядку реєстрації результатів контролю та випробувань, складання, затвердження та зберігання протоколів випробувань;

- порядку, що забезпечує випуск тільки тих партій продукції, які відповідають вимогам нормативно-технічної документації.

Підприємство повинно до проведення атестації розробити інструкцію з атестації технічних можливостей у відповідності з КНД 50-006-93.

Вимоги до проведення випробувань. Періодичні випробування продукції, що сертифікується, повинні проводитись підприємством через проміжки часу, які встановлені органом з сертифікації продукції, на зразках (вибірках), які відібрані від виробничих партій, що вже витримали випробування, передбачені для них.

Вимоги щодо реєстрації результатів випробувань. Результати випробувань випущеної сертифікованої продукції повинні реєструватись в сертифікаційному протоколі випущених партій, що стисло подає накопичені результати випробувань, проведених підприємством на відповідність до вимог нормативного документу.

Сертифікаційний протокол випробувань випущених партій повинен вміщати результати випробувань на надійність за час заявленого терміну служби за показниками, що встановлені в нормативному документі, у вигляді загальної кількості випробуваних зразків та кількості виявлених дефектів. В разі необхідності наводять первісні, проміжні та кінцеві значення характеристик, але результати випробувань виробничих партій, що забраковані під час випуску з виробництва, не повинні бути вміщені в сертифікаційний протокол.

Порядок здійснення робіт з атестації виробництва в загальному випадку передбачає виконання таких етапів: подання заявки; попереднє оцінювання; складання програми та методики атестації; перевірка виробництва і атестація його технічних можливостей; технічний нагляд за атестованим виробництвом.

Подання заявки відбувається, якщо атестація запроваджується з ініціативи підприємства, яке складає заявку і направляє її до органу з сертифікації продукції разом з двома примірниками інструкції з атестації технічних можливостей та відомостями про виробництво відповідно до вимог ДСТУ 3414-96.

Перевірка виробництва і атестація його технічних можливостей. Основним завданням перевірки виробництва є оцінка відповідності інформації, що наведена у вихідних матеріалах, фактичному стану безпосередньо на підприємстві, а також проведення необхідних випробувань для атестації технічних можливостей виробництва.

Перевірка здійснюється відповідно до затвердженої програми та методики атестації комісією експертів, до якої входить також фахівець, компетентний в оцінці відповідної технології.

За результатами перевірки: комісія протягом місяця складає звіт, який містить аналіз результатів перевірки та обґрунтовані висновки.

Звіт повинен містити таку інформацію:

- відомості про всі вироби, що використовувались для підтвердження технічних можливостей виробництва;

- таблицю меж підтвердження технічних можливостей;
- одержані результати випробувань для підтвердження технічних можливостей та стислу інформацію щодо виявлених відмов, дефектів тощо.

Звіт підписують всі члени комісії і затверджує керівник органу з сертифікації.

На підставі позитивних висновків комісії орган з сертифікації оформляє атестат виробництва відповідної форми, реєструє його в Реєстрі Системи і видає підприємству. Термін дії атестату встановлюється органом з сертифікації, але не більше, як три роки.

Порядок акредитації випробувальних лабораторій та вимоги до них

Порядок акредитації випробувальних лабораторій та вимоги до них регламентується нормативним документом КНД 50-004-93.

Загальні вимоги до випробувальних лабораторій. Незалежна випробувальна лабораторія повинна мати юридичний статус, організаційну структуру, адміністративну підпорядкованість, фінансовий стан та систему оплати співробітників, що забезпечують необхідну певність у тому, що вона визнається об'єктивною та незалежною від розробників, виробників та споживачів з усіх питань оцінювання показників, що підтверджується при сертифікації конкретної продукції.

Технічну компетентність випробувальної лабораторії характеризують:

- організація та управління лабораторією;
- персонал лабораторії;
- приміщення та навколишнє середовище;
- випробувальне обладнання та засоби вимірювання;
- методи випробувань та процедури;
- система забезпечення якості;
- організація роботи з виробами та продукцією, що випробовується.

Методи випробувань та процедури.

Акредитована випробувальна лабораторія повинна мати актуалізовану документацію, що включає:

- документи, які встановлюють технічні вимоги до продукції, що випробовується, та методи її випробувань — стандарти та технічні умови, в тому числі міжнародні стандарти (правила, технічні рекомендації, тощо);

- документи, які встановлюють програми та методи проведення випробувань продукції, що закріплена за лабораторією. Нестандартизовані методики випробувань повинні бути атестовані в установленому порядку;

- документи, що стосуються підтримання в належному стані випробувального обладнання та засобів вимірювання: графіки повірки засобів вимірювань і атестації випробувального обладнання, що застосовуються; паспорти на них; методики атестації випробувального

обладнання та методики нестандартизованих засобів вимірювань; експлуатаційну документацію на засоби вимірювань, що застосовуються;

- документи, що визначають систему зберігання інформації та результатів випробувань (протоколи, робочі журнали, звіти, тощо).

Система забезпечення якості:

- випробувальна лабораторія повинна мати систему забезпечення якості, яка відповідає її діяльності та обсягу робіт, що виконуються;

- документація на елементи системи забезпечення якості повинна бути включена до "Керівництва з якості випробувальної лабораторії", яким повинні користуватись співробітники лабораторії;

- керівництво з якості повинно містити комплексний опис лабораторії та організації робіт з випробувань.

Обов'язки акредитованої випробувальної лабораторії.

Відповідно до статусу акредитації лабораторія зобов'язана:

- підтримувати відповідність вимогам акредитації;

- забезпечувати достовірність, об'єктивність та точність результатів випробувань, яка вимагається;

- приймати на випробування з метою сертифікації тільки ті зразки, що ідентифіковані на відповідність технічній документації на них;

- заявляти про акредитацію тільки з тих випробувань, що входять до галузі акредитації;

- вести облік усіх претензій щодо результатів випробувань, які заявляються;

- інформувати органи, що доручили лабораторії проведення випробувань продукції, про результати випробувань;

- не використовувати права акредитованої лабораторії після закінчення строку дії атестату акредитації;

- своєчасно сплачувати витрати, що пов'язані з проведенням інспекційного контролю.

Порядок акредитації випробувальних лабораторій.

Акредитація передбачає такі етапи:

- заява на акредитацію;
- експертиза поданих документів;
- перевірка випробувальної лабораторії;
- прийняття рішення щодо акредитації за результатами перевірки лабораторії;
- оформлення, реєстрація та видача атестату акредитації.

Кожний наступний етап виконується в разі позитивних результатів попереднього.

Заявка на акредитацію подається до Національного органу з сертифікації за формою, передбаченою КНД 50-004-93.

Після проведення експертизи поданих документів та прийняття рішення щодо проведення робіт з акредитації формується комісія з перевірки лабораторії, до складу якої включаються представники виробників, спілок

споживачів, науково-дослідних організацій та територіальних центрів Держстандарту України з залученням експертів-аудиторів Системи.

Комісія призначається наказом Голови Держспоживстандарту України, вона працює за програмою, що затверджується Національним органом з сертифікації. За результатами перевірки складається акт.

Рішення щодо акредитації лабораторії приймається після розгляду Національним органом з сертифікації всієї одержаної інформації щодо стану лабораторії та результатів її перевірки, Акредитована лабораторія заноситься до Реєстру Системи і їй видається атестат на технічну компетентність та незалежність або тільки на технічну компетентність. Він видається не більше, на три роки.

За шість місяців до закінчення строку дії атестату акредитації лабораторія, яка має намір продовжити дію акредитації, знову подає заявку.

3. Контроль якості продукції

Контроль якості продукції – це контроль кількісних і (або) якісних характеристик властивостей продукції. В забезпеченні рівня якості с/г продукції велика роль належить вибору видів і засобів контролю.

Згідно ГОСТ 16504-81 види контролю систематизують за слідуєми ми ознаками:

- стадія створення і існування продукції;
- етап процесу виробництва;
- повнота охоплення контролем;
- вплив на об'єкт контролю;
- застосування засобів контролю.

В залежності від стадії створення і існування продукції розрізняють виробничий контроль і експлуатаційний.

Виробничий проводять на стадії виробництва. Він охоплює всі допоміжні, підготовчі і технологічні операції. Експлуатаційний контроль проводять на стадії експлуатації продукції.

В залежності від етапу процесу виробництва розрізняють вхідний, операційний, приймальний і інспекційний види контролю.

Операційний контроль – це контроль продукції або процесу під час виконання або після завершення технологічної операції. Інспекційний контроль проводять спеціально уповноважені особи з метою перевірки ефективності (правильності) раніше виконаного контролю.

Розроблено багато методів визначення якості продукції та її рівня. Згідно з ДСТУ 2925-94 передбачені такі методи оцінки рівня якості продукції:

- диференційний;
- вимірювальний;
- експертний;
- органолептичний;

- комплексний;
- соціологічний.

Якість, як об'єкт вимірювання є багатомірним і тому не може характеризуватися тільки одною фізичною величиною чи показником якості. Оскільки показники якості є величинами змінними в часі, то порівняння їх роблять з урахуванням цієї динаміки.

Атестація продукції є основою для:

- оцінки діяльності підприємств, галузей промисловостей і регіонів по підвищенню технічного рівня і якості продукції і збільшенню виробництва продукції вищої категорії якості;
- здійснення контролю за додержанням підприємствами-виробниками нормативів строків оновлення продукції;
- стимулювання виробництва новою високоефективною продукції вищої категорії якості і використання санкцій з метою зняття з виробництва застарілої продукції.

Державною системою забезпечення єдності вимірювань є державні стандарти. Вони представляють собою комплекс документів, якими встановлюються і регламентуються одиниці фізичних величин. Забезпечення виправлення засобів вимірювання, правильності виконання вимірювань і достовірність їх результатів досягається виконанням вимог Державної системи єдності вимірювань (ДСВ). ДСВ - це комплекс регламентуємих стандартами взаємопов'язаних правил і положень, вимог і норм, які визначають організацію і методику проведення робіт по оцінці та забезпеченню точності вимірювань, результати яких використовуються органами, підприємствами і організаціями.

Вимоги до контролю якості встановлюють:

- види випробувань, яким повинна підлягати стандартизована продукція; - періодичність випробувань;
- методи випробувань по кожному пункту технічних вимог;
- правила відбору і підготовки зразка для випробувань;
- порядок проведення контролю;
- параметри процесу контролю;
- вимоги до вимірювальної апаратури;
- форму і способи обробки результатів контролю;
- форму протоколу результатів контролю.

До засобів вимірювання відносяться міри, вимірювальні прилади, вимірювальні інструменти, машини і установки. За способом отримання вимірювальної величини засобу вимірювання діляться на прилади безпосередньої оцінки і прилади порівняння, а точності – на прилади різного класу точності. Клас точності означається номером, числом, буквою чи ін. способами. Методи вимірювань діляться на прямі і побічні. При прямих відразу отримують оскому величину, а при побічних вимірюваннях ту чи іншу фізичну величину отримують шляхом обчислення.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Цюцюра С.В., Цюцюра В.Д. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація. Навч. посібн., К.: Знання, 2005. – 242 с.
2. Г. П. Богданов, В. А. Кузнецов, М. А. Лотонов и др. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники Под ред. В. А. Кузнецова. – М.: Радио и связь, 1990. -240 с.
3. Саранча Г.А. Метрологія, стандартизація та управління якістю. Підручник. - К.: Либідь, 1993. - 256 с.
4. Саранча Г.А. Метрологія і стандартизація. Підручник – К.: Либідь – 1997. – 192 с.
5. Шаповал М.І. Основи стандартизації, управління якістю і сертифікації: Підручник. - К., 1997. - 152 с.
6. Д. Цюцюра, С.В. Цюцюра. Метрологія та основи вимірювань. Навч. посібн., К., "Знання -Прес", 2003. – 180с.
7. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. М.: Изд-во стандартов, 1972. — 318с.
8. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення. ДСТУ 3215—95. — К.: Держстандарт України, 1998.
9. Метрологічне забезпечення. Основні положення. ДСТУ 2682—94. — К.: Держстандарт України, 1998.
10. Метрологія. Державні випробування засобів вимірювальної техніки. Основні положення. ДСТУ 3400—96. — К.: Держстандарт України, 1998.
11. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення. ДСТУ 3651.1— 97. — К.: Держстандарт України, 1998.
12. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Похідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення. ДСТУ 3651.1— 97. — К.: Держстандарт України, 1998.
13. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Фізичні сталі та характеристичні числа. Основні положення, назви та позначення. ДСТУ 3651.1—97. — К.: Держстандарт України, 1998.
14. Метрологія. Терміни та визначення. ДСТУ 2681— 94. — К.: Держстандарт, 1994. — 50 с.
15. Метрологія. Типове положення про відомчі метрологічні служби. Р 50—060—95. — К.: Держстандарт України, 1998.
16. Повірка засобів вимірювання. Організація і порядок проведення. ДСТУ 2708—94. — К.: Держстандарт України, 1998.
17. "Про забезпечення єдності вимірювань": Декрет Кабінету Міністрів України № 40-93 від 26.04.1993.
18. "Про метрологію та метрологічну діяльність": Закон України УК № 54—55 від 21.03.98 р.
19. Цюцюра В.Д. Похибки засобів і систем вимірювання. — К.: УДУХТ, 1995. — 40 с.

20. Кириченко Л. С. Основи стандартизації, метрології, управління якістю: навч. посіб. / Л. С. Кириченко, Н.В. Мережко. – К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2009. – 446с.

21. Примакова О. В. Сертификация продукции, товаров, работ, услуг. / О. В. Примакова. – Х. : Фактор, 2010. – 140с.