

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«Фізичні основи сучасної метрології»

*для здобувачів вищої освіти спеціальностей 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, 175 – Інформацій-но-вимірювальні технології  
(Електронне видання)*

ЗАТВЕРДЖЕНО  
на засіданні кафедри  
електричної інженерії  
Протокол № 7 від 18.01.2024 р.

Київ 2024

УДК 621.313.001.24

Конспект лекцій з дисципліни " Фізичні основи сучасної метрології " (для здобувачів вищої освіти спеціальностей, 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, 175 – Інформаційно-вимірювальні технології , (Електронне видання) / Уклад.: І.В. Мелконова– Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2024. – 54 с.

Методичні вказівки призначені для здобувачів вищої освіти денної та заочної форми навчання, які вивчають дисципліну "Фізичні основи сучасної метрології"

Методичні матеріали розраховані на студентів вищих навчальних закладів.

Укладач

І. В. Мелконова, к.т.н., доц.

Рецензент

І.О. Кириченко, д.т.н., проф.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
Тема 1.1 Метрологія в Україні. Державний характер метрологічної діяльності. Структура метрологічної служби України. ....	4
1.1.1 Метрологічна служба України. Структура метрологічної служби .....	4
1.1.2 Мета державного метрологічного контролю і нагляду. Об'єкти державного метрологічного контролю і нагляду .....	4
Контрольні питання до теми 1.1 .....	5
РОЗДІЛ 1. ....	6
Тема 1.2 Функції і задачі метрології та її основні терміни .....	6
1.2.1 Метрологія і її задачі .....	6
1.2.2 Основні терміни та визначення з метрології .....	6
Контрольні питання до теми 1.2 .....	8
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ВИМІРЮВАНЬ І ЇХ МІРИ .....	9
Тема 2.1 Фізична величина та одиниця фізичної величини .....	9
2.1.1 Поняття про фізичну величину .....	9
2.1.2 Одиниця фізичних величин. Система СІ. ....	9
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ .....	14
Тема 3.1 Поняття і види засобів вимірювальної техніки .....	14
3.1.1 Класифікація вимірювальних приладів .....	14
Контрольні питання до теми 3.1 .....	15
Тема 3.2 Еталони одиниць фізичних величин. Класифікація еталонів і передавання розмірів одиниць фізичних величин .....	15
Контрольні питання до теми 3.2 .....	17
Тема 3.3 Показники якості засобів вимірювань .....	17
Контрольні питання до теми 3.3 .....	18
РОЗДІЛ 4. ПОХИБКИ ПРИ ВИМІРЮВАННЯХ ТА ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ .....	19
Тема 4.1 Основні похибки вимірювань .....	19
Контрольні питання до теми 4.1 .....	20
Тема 4.2 Систематичні і випадкові похибки .....	20
4.2.1 Закони розподілу випадкових похибок .....	23
Контрольні питання до теми 4.2 .....	25
Тема 4.3 Визначення середньої арифметичної похибки та довірчого інтервалу .....	26
Контрольні питання до теми 4.3 .....	29
РОЗДІЛ 5. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ .....	30
Тема 5.1 Метрологічні характеристики засобів вимірювання .....	30
Контрольні питання до теми 5.1 .....	32
Тема 5.2 Підготовка до вимірювань та аналіз постановки вимірювальної задачі .....	32
Контрольні питання до теми 5.2 .....	33
Тема 5.3 Створення умов для вимірювань. ....	33
Вибір засобів і методу вимірювання .....	33

Контрольні питання до теми 5.3 .....	35
<b>РОЗДІЛ 6. НОРМОВАНІ МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ .....</b>	<b>36</b>
Тема 6.1 Групи нормованих метрологічних характеристик приладів .....	36
6.1.1 Використання нормованих метрологічних характеристик пристроїв при виборі приладу.....	37
Контрольні питання до теми 6.1 .....	38
<b>РОЗДІЛ 7. ЗАКОНОДАВЧА СТАНДАРТИЗАЦІЯ.....</b>	<b>39</b>
Тема 7.1 Загальні відомості про стандартизацію.....	39
7.1.1 Основні терміни та їх визначення зі стандартизації.....	39
Контрольні питання до теми 7.1 .....	40
Тема 7.2 Організація роботи зі стандартизації в Україні.....	41
7.2.1 Центральний орган виконавчої влади у сфері стандартизації.....	41
7.2.2 Рада стандартизації .....	41
7.2.3 Мета та основні принципи державної політики у сфері стандартизації .....	42
7.2.4 Об'єкти стандартизації .....	42
Контрольні питання до теми 7.2 .....	43
Тема 7.3 Стандарти та їх застосування .....	43
7.3.1 Порядок розроблення і прийняття, перевірки, внесення змін та перегляду стандартів.....	43
7.3.2 Порядок застосування стандартів.....	44
7.3.3 Види стандартів .....	44
7.3.4 Позначення стандартів і нормативних документів.....	45
Контрольні питання до теми 7.3 .....	46
Тема 7.4 Системи стандартів.....	47
7.4.1 Державна система стандартизації.....	47
7.4.2 Єдина система конструкторської документації (ЄСКД).....	47
7.4.3 Єдина система технологічної документації (ЄСТД) .....	47
7.4.4 Державна система забезпечення єдності вимірювань (ДСВ) .....	47
7.4.5 Система стандартів безпеки праці (ССБП).....	48
7.4.6 Нормоконтроль технічної документації .....	48
Контрольні питання до теми 7.4 .....	48
Тема 7.5 Порядок впровадження стандартів і державний нагляд за їх дотриманням.....	48
7.5.1 Порядок впровадження стандартів.....	48
7.5.2 Державний нагляд за впровадженням і дотриманням стандартів .....	49
7.5.3 Техніко-економічна ефективність стандартизації .....	50
Контрольні питання до теми 7.5 .....	51
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>52</b>

## **ВСТУП**

### **Тема 1.1 Метрологія в Україні. Державний характер метрологічної діяльності. Структура метрологічної служби України.**

#### **1.1.1 Метрологічна служба України. Структура метрологічної служби**

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

##### **Державна метрологічна служба**

1. Державна метрологічна служба організує, проводить та координує діяльність, спрямовану на забезпечення єдності вимірювань у державі, а також здійснює державний метрологічний контроль і нагляд за додержанням вимог цього Закону, інших нормативно-правових актів і нормативних документів з метрології.

2. До Державної метрологічної служби належать:

- спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади в сфері метрології; національний науковий метрологічний центр, що належить до сфери управління Центрального органу виконавчої влади в сфері метрології (ЦОВМ);
- державні наукові метрологічні центри, що належать до сфери управління ЦОВМ;
- територіальні (регіональні) органи ЦОВМ в Автономній Республіці Крим, областях, містах, Києві та Севастополі, містах обласного значення;
- державні служби:
  - Державна служба єдиного часу та еталонних частот;
  - Державна служба стандартних зразків складу та властивостей речовин та матеріалів;
  - Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів.

#### **1.1.2 Мета державного метрологічного контролю і нагляду. Об'єкти державного метрологічного контролю і нагляду**

Державний метрологічний контроль і нагляд здійснюється з метою перевірки додержання вимог цього Закону, інших нормативно-правових актів і нормативних документів з метрології.

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

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

**До державного метрологічного контролю належать:**

- уповноваження та атестація в державній метрологічній системі;
- державні випробування засобів вимірювальної техніки і затвердження їх типів;

- державна метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки;
- повірка засобів вимірювальної техніки.

До **державного метрологічного нагляду** належать:

- державний метрологічний нагляд за забезпеченням єдності вимірювань.

В Україні створена еталонна база, що нараховує більше 150 державних еталонів, а також кілька сотень вторинних еталонів.

Державну перевірочну систему можна спрощено представити на схемі (рис. 1.1), де від одного вихідного початку - державного еталона одиниці якоїсь фізичної величини поширюється за допомогою вторинних еталонів і зразкових засобів вимірювань усім робочим засобам вимірювань. Отже, державні еталони є основою забезпечення єдності вимірювань.



Рисунок 1.1 - Схема державної перевірочної системи одиниць вимірювань

На кожному підприємстві, де є достатня кількість технологічного устаткування й необхідно контролювати велику розмаїтість фізичних величин, створена метрологічна служба, у задачу якої входить:

- > замовляти необхідні засоби вимірювання для різних технологічних об'єктів підприємства;
- > здійснювати безупинний контроль і перевірку усієї вимірювальної техніки на підприємстві;
- > здійснювати приймання нових систем вимірювальної техніки;
- > безупинне підвищення кваліфікації операторів, що обслуговують складні вимірювальні системи і комплекси.

У **червні 2004 року** вийшов Закон України № 1765 - IV «Про внесення змін до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» у якому подано, зокрема, основні терміни та їх визначення.

### Контрольні питання до теми 1.1

- 1.1.1 Які функції виконує державна метрологічна служба України?
- 1.1.2 Де можуть створюватися метрологічні служби?
- 1.1.3 Яка мета державного метрологічного контролю і нагляду?
- 1.1.4 Що належить до державного метрологічного контролю та нагляду?

## РОЗДІЛ 1.

### Тема 1.2 Функції і задачі метрології та її основні терміни

#### 1.2.1 Метрологія і її задачі

Метрологія має справу з вимірюванням фізичних величин і, як наука, базується на трьох постулатах:

- існує істинне значення вимірюваної величини;
- істинне значення виміряти неможливо;
- істинне значення не змінюється в часі.

Істинне значення вимірюваної величини можна порівняти з поняттям абсолютної істини, що пізнається лише в результаті нескінченного процесу пізнання. Істинне значення фізичної величини може бути отримано тільки в результаті нескінченного процесу вимірювань з нескінченим удосконалюванням методів і засобів вимірювань.

*Метрологія - це наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їхньої єдності і способах досягнення необхідної точності.*

Метрологія є однією з галузей науки, роль якої останні десятиріччя значно зросла. Метрологія проникла і завоювала собі позиції в усіх галузях життя і діяльності людства.

Точність вимірювань характеризується близькістю результатів вимірювань до істинного значення вимірюваної величини.

Метрологія, як наука, вирішує наступні задачі:

- розширення номенклатури фізичних величин, які необхідно вимірювати.
- розширення діапазону вимірювання для конкретної фізичної величини.
- вимоги точності вимірювань.
- швидкість одержання вимірювальної інформації.
- розробка безконтактних методів вимірювань.
- розробка інтелектуальних датчиків і вимірювальних робіт.
- вимоги високої кваліфікації операторів.

Метрологію, як область людської діяльності, можна розділити на теоретичну, законодавчу й практичну.

Початком організованої й законодавчої діяльності держав в області метрології варто вважати 1875 рік, коли в Парижі 17-ю державами, у тому числі й Росією, була підписана Метрична конвенція для забезпечення міжнародної єдності й удосконалення метричної системи мір. У цей же час була створена координуюча організація – Міжнародне бюро мір і ваг, де зберігаються міжнародні прототипи мір (метра і кілограма), міжнародні еталони електричних і світлових одиниць і радіоактивності.

#### 1.2.2 Основні терміни та визначення з метрології

*Метрологія* – наука про вимірювання, яка включає як теоретичні, так і практичні аспекти вимірювань у всіх галузях науки і техніки.

*Законодавча метрологія* – частина метрології, що містить законодавчі акти, правила, вимоги та норми, які регламентуються і контролюються державою для забезпечення єдності вимірювань.

**Вимірювальна величина** – фізична величина чи параметри її залежності, що підлягають вимірюванню.

**Вимірювання** – відображення фізичних величин їх значеннями за допомогою експерименту та обчислень із застосуванням спеціальних технічних засобів.

**Одиниця вимірювання** – фізична величина певного розміру, прийнята для кількісного відображення однорідних з нею величин.

**Єдність вимірювань** – стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в узаконених одиницях вимірювань, а характеристики похибок або невизначеності вимірювань відомі і із заданою ймовірністю не виходять за встановлені межі.

**Методика виконання вимірювань** – сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірювань з потрібною точністю.

**Метрологічна діяльність** – діяльність, яка пов'язана із забезпеченням єдності вимірювань.

**Фізична величина** – властивість, спільна в якісному відношенні у багатьох матеріальних об'єктів та індивідуальна в кількісному відношенні в кожного з них.

**Система фізичних величин** – сукупність взаємопов'язаних фізичних величин, у якій декілька величин приймають за незалежні, а інші визначають як залежні від них.

**Розмірність фізичної величини** – вираз, що відображає її зв'язок з основними величинами системи величин.

**Дійсне значення фізичної величини** – значення, знайдене експериментально й настільки наближається до дійсного (справжнього), що для даної мети може бути використане замість нього.

**Одиниця фізичної величини** – фізична величина певного розміру, прийнята за угодою для кількісного відображення однорідних з нею величин.

**Засіб вимірювальної техніки** – технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики. До засобів вимірювальної техніки належать засоби вимірювань та вимірювальні пристрої.

**Засіб вимірювань** – засіб вимірювальної техніки, який реалізує процедуру вимірювань. До засобів вимірювань належать кодові засоби вимірювань, реєструючи засоби вимірювань, вимірювальні прилади та вимірювальні системи.

**Вимірювальний прилад** – засіб вимірювань, у якому створюється візуальний сигнал вимірювальної інформації.

**Ціна розподілу шкали** – різниця значень, що відповідає двом сусіднім оцінкам шкали.

**Еталон** – засіб вимірювальної техніки, що забезпечує відтворення й (чи) зберігання одиниці вимірювань одного чи декількох значень, а також передачу розміру цієї одиниці іншим засобам вимірювальної техніки.

**Державний еталон** – офіційно затверджений еталон, який забезпечує відтворення одиниці вимірювань та передачу її розміру іншим еталонам з най-

вищою в країні точністю.

**Робочий еталон** – еталон, призначений для перевірки чи калібрування засобів вимірювальної техніки.

**Зразковий засіб вимірювань** – засіб вимірювань, який служить для перевірки засобів вимірювання і затверджений як зразковий.

**Метрологічна служба** – мережа організацій, окрема організація або окремих підрозділ, на які покладена відповідальність за забезпечення єдності вимірювань у закріпленій сфері діяльності.

**Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки** – дослідження засобів вимірювальної техніки з метою визначення їхніх метрологічних характеристик та встановлення придатності цих засобів до застосування.

**Межі показань приладів** – це значення вимірюваної величини, яке відповідає початку й кінцю шкали.

**Постійна приладу** – це величина, на яку повинен бути помножений результат вимірювання, щоб вийшло дійсне значення вимірюваної величини.

**Поправка** – це величина, що повинна бути алгебраїчно складена з показанням приладу, щоб вийшло дійсне значення вимірюваної величини.

**Межа чутливості вимірювального приладу** – це найменша зміна значення вимірюваної величини, здатна викликати зміну показань вимірювального приладу.

**Клас точності приладу** – це величина погрішності в процентному вираженні, яка відповідає нормальним умовам роботи приладу.

## **Контрольні питання до теми 1.2**

1.2.1 Дайте визначення поняттю «метрологія».

1.2.2 Які задачі вирішує метрологія?

1.2.3 Що таке законодавча метрологія?

1.2.4 Дайте визначення наступним термінам: вимірювання, фізична величина, дійсне значення фізичної величини, засіб вимірювань, вимірювальний прилад, ціна розподілу шкали, еталон, робочий еталон, зразковий засіб вимірювань, перевірка засобів вимірювальної техніки, межі показань приладів, постійна приладу, поправка, клас точності приладу.

## РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ВИМІРЮВАНЬ І ЇХ МІРИ

### Тема 2.1 Фізична величина та одиниця фізичної величини

#### 2.1.1 Поняття про фізичну величину

Метрологія має справу з вимірними фізичними величинами, властивими конкретним предметам, явищам, процесам. У поняття «вимірювання» входять такі головні ознаки:

- ◆ вимірювати можна властивості реально існуючих об'єктів пізнання, тобто фізичні величини;
- ◆ вимірювання вимагає проведення дослідів, тобто теоретичні міркування чи розрахунки не можуть замінити експеримент;
- ◆ для проведення дослідів вимагаються особливі технічні засоби - «засоби вимірювань», що приводяться у взаємодію з матеріальним об'єктом;
- ◆ результатом вимірювання є значення фізичної величини.

Результат вимірювання завжди відрізняється від істинного значення фізичної величини, яке, відповідно до метрологічного постулату, визначити неможливо. У результаті вимірювань одержують значення фізичної величини, близьке до істинного, котре *називають дійсним значенням фізичної величини чи дійсне значення*. Воно визначається експериментальним шляхом і настільки близько до істинного значення, що для поставленої вимірювальної задачі воно може його замінити. За дійсне значення при багаторазових вимірах приймають середнє арифметичне значення, а при однократних вимірах - значення величини, отримане в результаті вимірювань більш точним технічним засобом.

Відмінність результату вимірювання від істинного значення пояснюється недосконалістю засобів вимірювань, недосконалістю способу застосування засобів вимірювань, вплив умов виконання вимірювання, участю людини з її обмеженими можливостями й т.д.

Відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірювання величини *називається похибкою вимірювання*.

Фізичну величину, якій по визначенню привласнене числове значення, рівне одиниці, *називають одиницею фізичної величини*. Розмір одиниці фізичної величини може бути різним. Однак виміри повинні виконуватися в загальноприйнятих одиницях.

Спільність одиниць у міжнародному масштабі встановлюють міжнародними угодами. В Україні діє ДСТ 8.417-81 «Державна система забезпечення єдності вимірювань, одиниці фізичних величин», відповідно до якого в нашій країні введена до обов'язкового застосування міжнародна система одиниць (СІ).

#### 2.1.2 Одиниця фізичних величин. Система СІ.

Здавна людина користувалася різними одиницями для кількісного оцінювання відстані між населеними пунктами, площі земельних ділянок, тривалості дня й т.п.

Багато держав у Європі аж до XVIII століття використовували в повсяк-

денному житті різні одиниці фізичних величин, що гальмувало розвиток торгівлі, промисловості, науки й інших сфер людської діяльності в міждержавних відносинах, що розширюються. Спроби рішення цієї проблеми привели до створення метричної системи мір, що зародилася у Франції в середині XVIII століття і була прийнята французькими національними зборами 8 травня 1790 р.

Метрична система мір складалася з одиниць довжини, площі, об'єму і маси. Заснована на одиниці довжини – метрі, вона одержала найменування метричної.

Одиниця маси – кілограм – була спочатку визначена як маса чистої води в обсязі  $1 \text{ дм}^3$  при температурі  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  (вода при цій температурі має максимальну густину). Як одиниці площі і об'єму були прийняті  $1 \text{ м}^2$  і  $1 \text{ м}^3$ .

У другій половині XIX століття, після підписання Метричної конвенції (20 травня 1875 року), метрична система одержала міжнародне визнання. Комісія Міжнародного комітету мір і ваг підготувала пропозицію по міжнародній системі одиниць, що була прийнята в **1960 році** на XI Генеральній конференції по мірам і вагам. Система одержала назву: Міжнародна система одиниць (скорочено SI, СІ). У Міжнародну систему одиниць увійшло 7 основних одиниць:

- ◆ метр - дорівнює довжині шляху, який проходить у вакуумі світло за  $1/299792458$  частку секунди;
- ◆ кілограм - дорівнює масі міжнародного прототипу кілограма;
- ◆ секунда - дорівнює 9192631770 періодам випромінювання відповідного переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезію-133;
- ◆ ампер - дорівнює силі струму, що не змінюється, який при проходженні по двох прямолінійних рівнобіжних провідниках нескінченної довжини й мізерно малого круглого перетину, розташованим на відстані 1 м один від іншого у вакуумі, викликає би на кожній ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії, рівну  $2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$ ;
- ◆ кельвін - дорівнює  $1/273,16$  частини термодинамічної температури потрійної крапки води;
- ◆ моль - дорівнює кількості речовини системи, що містить стільки ж структурних елементів, скільки міститься атомів у вуглеці-12 масою 0,012 кг.
- ◆ кандела - дорівнює силі світла в заданому напрямку джерела, що випускає монохроматичне випромінювання частотою  $540 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$ , енергетична сила світла якого в цьому напрямку складає  $1/683 \text{ Вт/ср}$  (Ват на стерadian).

Одиниці СІ придатні для практичного застосування у всіх областях науки і техніки та в різних галузях народного господарства. Офіційно вони прийняті всіма країнами але поряд з ними ще дозволено використання ряду традиційних одиниць.

Одиниці СІ позначаються літерами латинського і грецького (міжнародні позначення) або українського алфавітів, а також спеціальними знаками ( $\dots^\circ$ ,  $\dots$ ,  $\dots$ ). На засобах вимірювань мають бути міжнародні позначення.

У позначеннях одиниць, назви яких походять від прізвищ, перша буква має бути велика, наприклад, W, Вт; Wb, Вб; Ω, Ом. Позначення одиниць про- ставляються тільки після числових значень величин в один рядок з ними. Позначення основних і додаткових величин приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Позначення основних і додаткових одиниць

Величина			Одиниця		
Найменування	Розмірність	Позначення, що рекомендується	Найменування	Позначення	
				українське	міжнародне
<b>Основні одиниці</b>					
Довжина	L	l, L	метр	м	T
Маса	M	m	кілограм	кг	kg
Час	T	t, T	секунда	с	s
Сила електричного струму	I	i	Ампер	A	A
Термодинамічна температура	Θ	T, Θ	Кельвін	K	K
Сила світла	J	Iv	канделла	кд	cd
Кількість речовини	N	N, v	моль	моль	mol
<b>Додаткові одиниці</b>					
Плоский кут		φ	радіан	рад	rad
Тілесний кут		Ω	стеррадіан	ср	sr

Одночасно з прийняттям Міжнародної системи одиниць XI Генеральна конференція по мірах і вагам прийняла дванадцять десяткових кратних і часткових приставок, до яких у подальшому були додані нові. Приставки СІ дають можливість утворювати десяткові кратні і часткові одиниці від одиниць СІ і від інших одиниць. У таблиці 2.2 приведені найменування і позначення приставок СІ.

### ***Позасистемні одиниці.***

Позасистемні одиниці підрозділяються на три види:

- ◆ одиниці, що одержали поширення нарівні з одиницями СІ й у сполученні з ними (таблиця 2.3);
- ◆ одиниці, застосовувані в спеціальних областях науки і техніки (таблиця 2.4).

Таблиця 2.2 – Найменування і позначення приставок СІ для утворення десятикратних і часткових одиниць і їх множники

Найменування	Приставка		Множник	Приклади
	Позначення			
	міжнародне	українське		
Гіга	G	Г	$10^9$	гігават – ГВт
Мега	M	М	$10^6$	мегаом – МОм
Кіло	k	к	$10^3$	кілометр – км
Гекто	h	г	$10^2$	гектолітр – гл
Дека	da	да	$10^1$	декалітр – дал
Деци	d	д	$10^{-1}$	дециметр – дц
Санти	c	с	$10^{-2}$	сантиметр – см
Мілі	m	м	$10^{-3}$	мілівольт – мВ
Мікро	$\mu$	мк	$10^{-6}$	мікроампер – мкА
Нано	n	н	$10^{-9}$	наносекунда – нс

Таблиця 2.3 – Одиниці, застосовувані в сполученні з одиницями СІ

Найменування	Позначення		Співвідношення з одиницею СІ
	міжнародне	українське	
Тонна	<i>t</i>	Т	$10^3$ кг
Хвилина	min	хвл.	60 с
Час	h	год.	3600 с
Доба	d	доб.	86400 с
Градус	... °	... °	$(\pi/180)$ рад
Мінута	... '	... '	$(\pi/10800)$ рад
Секунда	... "	... "	$(\pi/648000)$ рад
Літр	l	л	$10^{-3}$ м <sup>3</sup>
Градус Цельсія	... °C	... °C	За величиною градус Цельсія дорівнює градусу Кельвіна

Таблиця 2.4 – Одиниці, що застосовуються в спеціальних областях науки і техніки

<i>Найменування</i>	<i>Позначення</i>		<i>Співвідношення з одиноцею СІ</i>	<i>Область за- стосування</i>
	<i>міжнарод-</i>	<i>українське</i>		
Астрономічна одиноця світовий рік парсек	ua ly pc	а.е. св. рік пк	$1,49598 \cdot 10^{11}$ м $9,4505 \cdot 10^{15}$ м $3,0857 \cdot 10^{16}$ м	Астрономія
Діоптрія	-	дитр	$1 \text{ м}^{-1}$	оптика
Гектар	ha	га	$10^4 \text{ м}^2$	Сільське і лі- сове господар-
Електронвольт	eV	еВ	$1,60219 \cdot 10^{-19}$ Дж	Фізика

### Контрольні питання до теми 2.1

- 2.1.1 Які ознаки входять до поняття «вимірювання»?
- 2.1.2 Що називають одиноцею фізичної величини?
- 2.1.3 Коли була прийнята Міжнародна система СІ?
- 2.1.4 Перерахуйте сім основних одиниць, які увійшли у Міжнародну систему.
- 2.1.5 Дайте характеристику позасистемним одиницям

## РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ

### Тема 3.1 Поняття і види засобів вимірювальної техніки

Основою технічної бази метрологічного забезпечення є засоби вимірювальної техніки.

*Засобами вимірювальної техніки (ЗВТ) називають* технічні засоби, які використовуються при вимірюваннях і мають нормовані метрологічні характеристики.

*Метрологічними називаються* ті характеристики ЗВТ, від яких залежить точність результатів, одержаних за їх допомогою.

Під видами ЗВТ розуміємо: міри, вимірювальні перетворювачі, прилади, установки і системи.

*Міра* – засоби вимірювальної техніки, що призначені для відтворення фізичної величини заданого розміру або ряду розмірів.

*Набір мір* – це спеціально підібраний комплекс конструктивно відокремлених мір, які можна використовувати не тільки окремо, але й у різних комбінаціях для відтворення ряду розмірів даної фізичної величини.

*Вимірювальний прилад* – засіб вимірювальної техніки, вихідний сигнал якого придатний для безпосереднього сприймання вимірювальної інформації спостерігачем, завдяки наявності відлікового пристрою. Вимірювальні перетворювачі і прилади об'єднують спільною назвою – **вимірювальні пристрої**.

*Вимірювальна установка* – сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювальної техніки (мір, вимірювальних пристроїв) і допоміжних технічних засобів (стабілізуючих, перемикаючих), розташована в одному місці й призначена для одержання вимірювальних сигналів, придатних для безпосереднього сприймання вимірювальної інформації спостерігачем.

#### 3.1.1 Класифікація вимірювальних приладів

Серед усіх видів ЗВТ найбільшого поширення набули вимірювальні прилади. Вони різноманітні за призначенням, принципом дії, метрологічними та експлуатаційними характеристиками.

За формою вимірювальної інформації, що міститься в інформативному параметрі вихідного сигналу, вимірювальні *прилади поділяються на аналогові та цифрові*.

**Аналоговим називається прилад**, інформативний параметр вихідного сигналу якого є фізичним аналогом вимірювальної величини – інформативного параметра вхідного сигналу.

**Цифровим називається прилад**, вихідний сигнал якого цифровий, тобто містить інформацію про значення вимірювальної величини, закодовану в цифровому коді. Покази аналогових приладів також цифрові, але їх аналогові вихідні сигнали кодує в цифровому коді сам спостерігач (експериментатор) під час відліку показів, а в цифровому приладі – операції виконуються автоматично.

Вимірювальний прилад, що допускає тільки відлік показів, називається **показуючим**, а прилад, у якому передбачена автоматична фіксація вимірювальної інформації, - **реєструючим**. Залежно від виду фіксації реєструючи прила-

ди поділяють на *самописні та друкуючі*. Самописний прилад (самописець) записує вимірювальну інформацію в аналоговій формі у вигляді діаграми, а друкуючий друкує вимірювальну інформацію в цифровій формі.

Залежно від виду значення вимірюваної величини, тобто інформативного параметра вхідного сигналу, відрізняють *прилади миттєвих та інтегральних* (середнє за модулем, середнє квадратичне) значень, а також інтегруючі та підсумовуючі прилади. **Інтегруючий прилад** інтегрує вхідний сигнал за часом або іншою незалежною змінною. **Підсумовуючим називається прилад**, покази якого функціонально пов'язані із сумою двох або декількох величин, що підводяться до нього різними каналами.

Класифікаційними ознаками вимірювальних приладів служать вимірювана величина або її одиниця, що відображаються в назві вимірювального приладу, наприклад, вологомір або гігрометр.

**Електровимірювальні прилади**, що дозволяють вимірювати дві й більше різних за фізичною природою величин, називають комбінованими приладами або мультиметрами, а прилади, що придатні для вимірювань у колах постійного і змінного струмів – універсальними приладами.

### Контрольні питання до теми 3.1

- 3.1.1 Дайте визначення наступним термінам: засоби вимірювальної техніки, міра, вимірювальний прилад та система.
- 3.1.2 На які поділяються прилади за формою вимірювальної інформації?
- 3.1.3 Які прилади називаються аналоговими?
- 3.1.4 Які прилади називаються цифровими?
- 3.1.5 Які прилади називаються інтегруючими, підсумовуючими та електровимірювальними?

### Тема 3.2 Еталони одиниць фізичних величин. Класифікація еталонів і передавання розмірів одиниць фізичних величин

Відповідно до поділу фізичні величини цієї системи відрізняють еталони одиниць основних і похідних величин, а за точністю відтворення й призначенням - *первинні і вторинні еталони* (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Узагальнена схема передачі розмірів одиниць фізичних величин

Для забезпечення єдності вимірювань необхідна тотожність одиниць, у яких проградуйовані всі засоби вимірювань однієї й тієї ж фізичної величини. Це досягається шляхом точного відтворення і збереження встановлених одиниць фізичних величин і передачі їхніх розмірів застосовуваним засобам вимірювань. Французьке слово «**etalon**» означає зразок, мірило, узаконений тип чогось, ретельно виготовлену міру, прийняту як зразок.

**Еталон** є засобом вимірювання (чи комплексом засобів вимірювання), що забезпечує відтворення і збереження одиниці фізичної величини з метою передачі розміру одиниці зразковим, а від них робочим засобам вимірювання і затверджене як еталон у встановленому порядку.

Якщо еталон відтворює одиницю з найвищої в країні точністю, він **називається первинним**. Первинні еталони основних одиниць відтворюють одиницю відповідно до її визначення. Первинні еталони, а також їх різновиди – спеціальні первинні еталони, затверджують як державні еталони, що затверджуються Державним комітетом стандартів, і на кожний з них розробляється державний стандарт.

**Основне призначення еталонів** – служити матеріально-технічною базою відтворення і збереження одиниць фізичних величин. Основні одиниці Міжнародної системи одиниць (СІ) повинні відтворюватися за допомогою державних еталонів.

У метрологічній практиці широко поширені **вторинні еталони**, значення яких установлюються по первинних еталонах і які створюються і затверджуються в тих випадках, коли це необхідно для організації перевірочних робіт і для забезпечення схоронності і найменшого зносу державного еталону. По своєму метрологічному призначенню вторинні еталони поділяються на еталони – копії, еталони – порівняння, еталони – свідки і робочі еталони.

Поряд з еталонами в нашій країні широко розповсюджений клас засобів вимірювань, призначених для перевірки, які називаються зразковими засобами вимірювань.

**Зразковий засіб вимірювань** – засіб вимірювань, призначений чи застосований для перевірки робочих засобів вимірювань. Зразкові засоби вимірювань у залежності від точності підрозділяються на розряди 1-й, 2-й і т.д. 1-й розряд – найвищий. Число розрядів для кожного виду засобів вимірювань установлюється державною перевірковою схемою.

Державні еталони зберігаються в метрологічних інститутах країни. Для проведення робіт з державними еталонами призначаються особливі відповідальні обличчя – учені, хранителі еталонів. Вторинні еталони використовуються як у метрологічних інститутах, так і в різних метрологічних службах великих міст, де з дозволу Держстандарту країни допускається їхнє збереження і застосування в органах відомчої метрологічної служби.

Крім національних еталонів одиниць фізичних одиниць існують **міжнародні еталони**, які зберігаються в Міжнародному бюро мір і ваг.

Програмою діяльності міжнародного бюро передбачені систематичні міжнародні звірення національних еталонів найбільших метрологічних лабораторій різних країн з міжнародними еталонами і між собою. Еталони метра і кілограма звіряються раз у 25 років, інші величини – раз у 3 роки.

### Контрольні питання до теми 3.2

3.2.1 Що представляє собою «еталон»?

3.2.2 Яке основне призначення еталонів?

3.2.3 Які види еталонів ви знаєте?

### Тема 3.3 Показники якості засобів вимірювань

Для засобів вимірювань, як і для будь-якого виду продукції в Україні, встановлені наступні показники якості:

- показники призначення;
- показники надійності;
- показники економного використання сировини, матеріалів, палива, енергії і трудових ресурсів;
- ергономічні показники;
- естетичні показники;
- показники технологічності;
- показники транспортабельності;
- показники стандартизації й уніфікації;
- патентно-правові показники;
- екологічні показники;
- показники безпеки.

**Показники призначення** характеризують основні функції засобу вимірювання, область його застосування. Ці показники підрозділяються на три підгрупи: показники функціональної й технічної ефективності, конструктивні показники, показники складу і структури.

До показників функціональної та технічної ефективності засобів вимірювань відносяться метрологічні характеристики (межа значення, що допускається, основної й додаткової погрішності, динамічні характеристики, класи точності), показники швидкодії, рівня автоматизації процесу вимірювань, максимальна тривалість часу безупинної роботи й ін.

**Конструктивні показники засобів вимірювання** - це границя нормальних і робочих областей вимірювання значень величин, що впливають (температури навколишнього повітря, відносної вологості, атмосферного тиску і т.д.), характеристики міцності, габаритні й інші показники.

**Показники надійності** включають такі характеристики як безвідмовність, довговічність і ремонтпридатність. Показники безвідмовності оцінюють часом безупинної роботи засобів вимірювань до настання відмови. До них відносяться ймовірність безвідмовної роботи за заданий час, інтенсивність відмовлень, середній наробіток до відмовлення.

**Ергономічні показники** характеризують систему «людина – засіб вимі-

рювання». Вони враховують комплекс гігієнічних, антропометричних, фізіологічних і психологічних властивостей людини, що виявляються у виробничих процесах. До цих показників відносяться рівні шуму, температури, відповідність конструкції вибору силовим можливостям людини й ін.

**Естетичні показники** характеризують інформаційну виразність, раціональність форми, цілісність композиції, досконалість виробничого виконання. До них відносять показники оригінальності, стильової відповідності, чіткості виконання показчиків й ін.

**Екологічні показники** – показники рівня шкідливих впливів окремих елементів засобів вимірювань на навколишнє середовище при їхній експлуатації. До екологічних показників відносяться: припустимий вміст шкідливих речовин, що викидаються в навколишнє середовище, припустима потужність електромагнітних і іонізуючих випромінювань й ін. При виборі цих показників необхідно враховувати вимоги охорони навколишнього середовища.

**Показники безпеки** характеризують середній час безпечної роботи захисних пристроїв. Показники безпеки містяться в стандартних технічних умовах і показниках якості засобів вимірювання. Так, на засобах електричних вимірювань вказуються електрична міцність ізоляції, електричний опір ізоляції, міжструмоведучими ланцюгами і корпусом передбачається заземлення, знаки безпеки.

### **Контрольні питання до теми 3.3**

3.3.1 Які показники якості встановлені для засобів вимірювання?

3.3.2 Дайте характеристику показникам призначення, показникам надійності, ергономічним, естетичним, екологічним показникам та показникам безпеки.

## РОЗДІЛ 4. ПОХИБКИ ПРИ ВИМІРЮВАННЯХ ТА ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

### Тема 4.1 Основні похибки вимірювань

При будь-яких вимірах будь-якими засобами вимірювання отримане значення фізичної величини відрізняється від його істинного значення. Це пов'язано з недосконалістю застосовуваних методів вимірювання, засобів вимірювань, мінливістю умов вимірювань тощо. Відхилення результату вимірювання від істинного значення *називається похибкою вимірювання*. Однак, відповідно до одного з постулатів метрології, істинне значення визначити неможливо і тому похибка визначається по відхиленню результату вимірювання від дійсного значення вимірюваної величини, і розраховується за формулою:

$$\Delta x_{\hat{a}ei} = \tilde{\sigma}_{\hat{a}ei} - \tilde{\sigma}_i, \quad (4.1)$$

де  $\Delta x_{\hat{a}ei}$  - похибка вимірювання;

$x_{\hat{a}ei}$  - обмірюване значення фізичної величини;  $x_0$  - дійсне значення.

При проведенні вимірювань у якості дійсного значення величини застосовують значення величини, отримане за допомогою зразкових засобів вимірювань. При багаторазових вимірах за дійсне значення звичайно, приймають середнє арифметичне з ряду окремих вимірювань.

Похибка вимірювання, виражена в одиницях вимірюваної величини, *називається абсолютною похибкою* (тобто  $\Delta x_{\hat{a}ei}$  по формулі (4.1)).

Однак, у більшій мірі точність засобів вимірювань характеризує відносна похибка, тобто виражене у відсотках відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини:

$$\delta = \frac{\tilde{\sigma}_{\hat{a}ei}}{\tilde{\sigma}_i} \cdot 100\%, \quad (4.2)$$

Якщо діапазон вимірювання приладу охоплює і нульове значення вимірюваної величини, то відносна похибка перетворюється у нескінченність у відповідній йому точці шкали. У цьому випадку користуються поняттям *приведеної похибки*, рівної відношенню абсолютної похибки вимірювального приладу до "розмаху шкали", тобто до всієї довжини шкали, вираженої в одиницях вимірюваної величини:

$$\gamma = \frac{\Delta x_{\hat{a}ei}}{\tilde{\sigma}_2 - \tilde{\sigma}_1} \cdot 100\%, \quad (4.3)$$

де  $x_1$ - найменша цифрова оцінка на шкалі приладу;  $x_2$  - найбільша цифрова оцінка на шкалі приладу.

*Приклад 4.1.* При вимірі тиску в робочому просторі нагрівальної печі тягонапороміром (робочий прилад) було зафіксовано значення + 21 Па. Показання зразкового приладу склало + 20,5 Па. Визначити абсолютну, відносну й приведену похибки, якщо крайні цифрові оцінки на шкалі робочого приладу рівні - 200 Па та + 200 Па.

Розв'язання:

Абсолютна похибка:  $\Delta x_{\text{вим}} = 21 - 20,5 = 0,5 \text{ Па}$ .

Відносна похибка:  $\delta = \frac{0,5}{20,5} 100\% = 2,4\%$

Приведена похибка:  $\gamma = \frac{0,5}{200 - (-200)} 100\% = 0,125\%$

**Похибки вимірювань можуть бути класифіковані** за наступними ознаками:

- за характером прояву - систематичні і випадкові;
- за способом вираження - абсолютні і відносні;
- за умовами зміни вимірювальної величини - статичні і динамічні;
- за способом обробки ряду вимірювань - середні арифметичні і середні квадратичні;
- за повнотою охоплення вимірювальної задачі - приватні і повні;
- стосовно одиниці фізичної величини - похибки відтворення одиниці, збереження одиниці і передачі розміру одиниці.

#### Контрольні питання до теми 4.1

4.1.1 Як визначається абсолютна, відносна та приведена похибки?

4.1.2 Приведіть класифікацію похибок вимірювань?

#### Тема 4.2 Систематичні і випадкові похибки

**Систематична похибка вимірювання** - складова похибки результату вимірювання, що залишається постійною чи закономірно змінюється при повторних вимірах однієї і тієї ж фізичної величини.

**Систематичні похибки** можуть бути *сталими і змінними*. Змінні систематичні похибки поділяються на прогресуючі, періодичні і такі, що змінюються за складним законом.

**Прогресуючими** називають такі систематичні похибки, які постійно зростають або зменшуються. До них відносяться, наприклад, похибки внаслідок зносу безупинно тертьових чи періодично контактуючих елементів вимірювальних приладів у процесі вимірювань. Подібні похибки мають місце в процесі прогріву ламп, діодів, транзисторів і інших елементів в електричній схемі вимірювальних приладів.

**Періодичними** вважають систематичні похибки, знак і значення яких періодично змінюються. Наприклад, похибка показань вимірювального приладу з круговою шкалою і стрілкою, якщо вісь стрілки зміщена на деяку величину щодо центра шкали.

Кінцевою метою виявлення систематичних похибок є їх вилучення і врахування. Під вилученням систематичних похибок розуміють зменшення їх значень до рівня окремих невеликих складових випадкової похибки. Невилучені залишки систематичних похибок трактуються як випадкові.

Універсального способу вилучення систематичних похибок немає. Серед відомих способів найпоширенішими є такі:

- вилучення джерел похибок, переважно похибок установлення;
- попереднє визначення похибок і їх урахування шляхом введення поправок, знайдених при перевірці засобів вимірювання, включаючи поправки на додаткові похибки.

До спеціальних способів вилучення систематичних похибок належать: спосіб заміщення, спосіб компенсації похибки за знаком, спосіб протиставлення, спосіб симетричних спостережень.

**Спосіб заміщення** полягає в тому, що спочатку на вхід вимірювального приладу подають вимірювану величину, а потім замінюють її величиною з таким відомим значенням  $x_0$ , при якому показання приладу залишаються попередніми. Отже, невідоме значення вимірюваної величини  $X$  знаходять за відомим значенням  $x_0$ , відтвореним мірою при заміщенні.

**Спосіб компенсації** похибки за знаком полягає в тому, що дану величину вимірюють двічі, але умови вимірювання змінюють так, щоб стала систематична похибка, яка підлягає вилученню (відома за походженням, але невідома за значенням), входила в результати вимірювань з протилежними знаками. Тоді середнє арифметичне результатів стає вільним від цієї похибки.

**Спосіб компенсації** похибки можна використати для вилучення похибок, джерела яких мають направлену дію. Однак, якщо похибка така, що прогресує, то цей спосіб забезпечує тільки часткове її вилучення.

**Спосіб протиставлення** полягає в тому, що вимірювана величини двічі порівнюється з величиною, яка відтворюється мірою, причому перед другим порівнянням вони взаємно міняються місцями у вимірювальному колі. Результат вимірювання у вигляді середнього пропорційного між значеннями міри при першому і другому порівняннях зовсім не залежить від коефіцієнта передачі вимірювальної схеми. Тому стала систематична похибка цього коефіцієнта, яка існує при одноразовому вимірюванні, повністю вилучається.

**Випадкові похибки.** Випадкові похибки виникають внаслідок випадкових та непередбачених змін властивостей засобів і умов вимірювання та властивостей органів чуття спостерігача. Вони можуть бути зумовлені недосконалістю методу вимірювання, тобто недостатньою обґрунтованістю його теорії. Визначаються складною сукупністю причин, які трудно проаналізувати. Їх значення не можуть бути передбачені, а для всього їх загалом можна встановити закономірність лише для частоти появи їх різних значень. Присутність випадкових похибок (на відміну від систематичних) легко виявляється при повторних вимірюваннях, як деякий розкид результатів. Переважно поява випадкових похибок є стаціонарним випадковим процесом.

Якщо значення, які може набувати випадкова величина, утворюють дискретний (скінченний або нескінченний) ряд чисел, то така *випадкова величина називається дискретною*. Якщо ж значення випадкової величини заповнює цілий проміжок (скінченний або нескінченний), то *випадкову величину називають безперервною*.

Співвідношення, які встановлюють зв'язок між можливими значеннями

випадкових величин і їх ймовірностями, **називають законом розподілу випадкової величини**. Закон розподілу дискретної випадкової величини задається рядом розподілу.

У залежності від причин появ систематичні похибки підрозділяються на інструментальні, похибки методу вимірювань, суб'єктивні, похибки унаслідок відхилення умов вимірювання від установлених методиками.

**Інструментальна похибка** є наслідком ряду причин: знос деталей приладу, неточне нанесення штрихів на шкалу тощо.

**Похибка методу вимірювань** може виникнути через недосконалість методів вимірювань чи допущених його спрощень, встановлених методикою вимірювань. Наприклад, така похибка може бути обумовлена недостатньою швидкістю застосовуваних засобів вимірювань при вимірі параметрів швидкоплинних процесів.

**Суб'єктивна похибка** обумовлена індивідуальними особливостями оператора. Зустрічаються оператори, що систематично спізнюються чи випереджають зняти звіти показань засобів вимірювань. Таку похибка іноді називають особистою похибкою.

**Випадкова похибка** вимірювання це одна зі складових загальної похибки, що змінюється випадковим чином, як за знаком, так і за значенням, у серії вимірювань того самого параметра фізичної величини. **Причини випадкових похибок:** похибки округлення при знятті показань, варіація показань, зміна умов вимірювань випадкового характеру й ін., тобто таких похибок, у появі яких не спостерігається якої-небудь закономірності. Випадкові похибки неминучі і непереборні й завжди присутні в результаті вимірювання. Вони викликають розсіювання результатів при багаторазовому й досить точному вимірі однієї й тієї ж величини при незмінних умовах.

Теоретичні дослідження, підтверджені практикою, показують, що при великому числі вимірювань випадкові похибки однакового значення, але різного знаку, зустрічаються однаково часто, а великі (за абсолютним значенням) похибки зустрічаються рідше, ніж малі.

**Груба похибка** - це похибка вимірювання, яка істотно перевищує сподівану за даних умов вимірювання похибку.

Чим менші систематичні і випадкові похибки, тим вища точність вимірювання.

**Точність вимірювання** є характеристикою якості і показує близькість результатів вимірювання до істинного значення вимірюваної величини.

Кількісною оцінкою точності вимірювань є число, обернене до відносної похибки (запропоновано в 1955 році Соловійовим М.М.)

$$a = \frac{1}{\delta} = \frac{X}{\Delta}. \quad (4.4)$$

Характеристикою якості вимірювання, яка відображає близькість систематичної похибки до нуля, є **правильність вимірювання**. Коли систематична похибка відома, то результат можна виправити введенням поправки.

**Поправка** - значення абсолютної похибки, взятої з протилежним знаком. Вона додається до результату вимірювання, щоб вилучити систематичну похибку.

#### 4.2.1 Закони розподілу випадкових похибок

**Рівномірний розподіл.** Якщо похибка вимірювання може мати з однаковою ймовірністю які завгодно значення, що не виходять за деякі межі  $\pm\Delta_n$ , то така похибка описується рівномірним законом розподілу. При цьому щільність ймовірності похибки  $p(\Delta)$  є постійною всередині цього інтервалу і дорівнює нулю поза ним.

Рівномірний розподіл результатів спостереження  $x$  показаний на рисунку 4.1.

Для нього щільність ймовірностей аналітично можна записати так:

$$p(X) = \begin{cases} \frac{1}{x_2 - x_1} & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0 & x_2 < x < x_1 \end{cases} \quad (4.5)$$

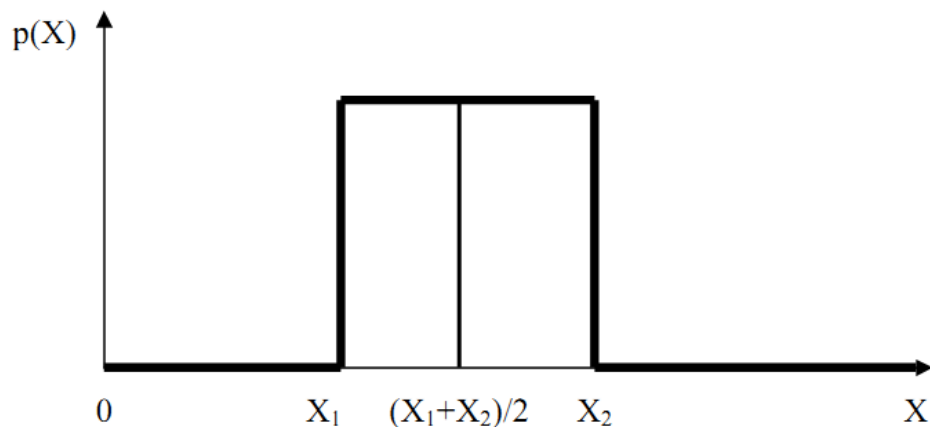


Рис. 4.1. Рівномірний розподіл випадкової величини

Рівномірний розподіл є безмодальним, тобто не має моди, його дисперсія і середньоквадратичне відхилення  $\sigma = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{3}}$ .

З таким законом розподілу добре узгоджуються похибки від тертя в опорах електромеханічних приладів, невилучені залишки систематичних похибок, похибка дискретності в цифрових приладах.

**Закон трикутного розподілу (закон Сімпсона).** Вигляд кривої трикутного розподілу маємо на рисунку 4.2. За таким законом розподілені похибки суми (різниці) двох рівномірно розподілених величин.

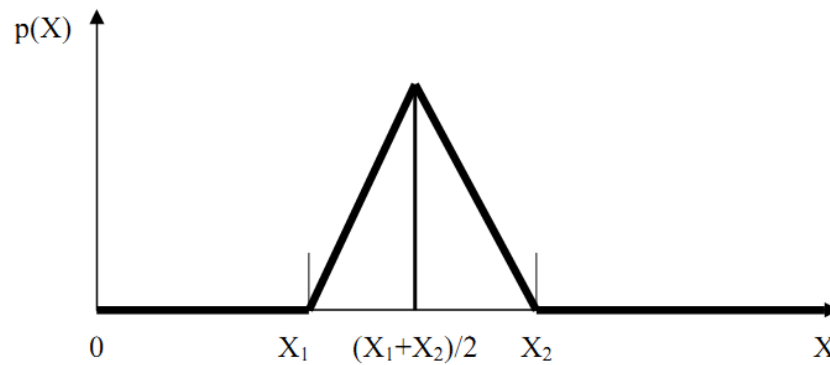


Рис. 4.2. Диференційна функція трикутного розподілу  
Щільність ймовірностей має такий аналітичний вираз:

$$p(X) = \begin{cases} 0 & x < x_1 \\ \frac{4(x - x_1)}{(x_2 - x_1)^2} & x_1 \leq x \leq \frac{x_1 + x_2}{2} \\ \frac{4(x_2 - x)}{(x_2 - x_1)^2} & \frac{x_1 + x_2}{2} \leq x \leq x_2 \\ 0 & x > x_2 \end{cases}$$

**Нормальний закон розподілу (закон розподілу Гауса).** Цей закон є одним із найпоширеніших законів розподілу похибок, що пояснюється центральною граничною теоремою теорії ймовірностей, яка твердить, що розподіл випадкових похибок буде близьким до нормального, якщо результати спостереження формуються під впливом великої кількості незалежних факторів впливу, кожний із котрих створює лише незначну дію порівняно із сумарною дією всієї решти.

Нормальний закон має такий вираз для розподілу:

$$p(X) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - M[x])^2}{2\sigma_x^2}} \quad (4.6)$$

З рівняння можна зробити висновок:

- 1) щільність ймовірностей має максимум за  $x = M[x]$  ;
- 2) зі збільшенням похибки  $\Delta = x - M[x]$  незалежно від знака (функція парна) щільність ймовірності прямує до нуля;
- 3) зі збільшенням середнього квадратичного відхилення ймовірність більших відхилень зростає, тобто розміри розсіюються в широкому інтервалі.

Графічно ця функція показана на рис. 4.4 для різних значень середнього квадратичного відхилення ( $\delta_1 < \delta_2$ ).

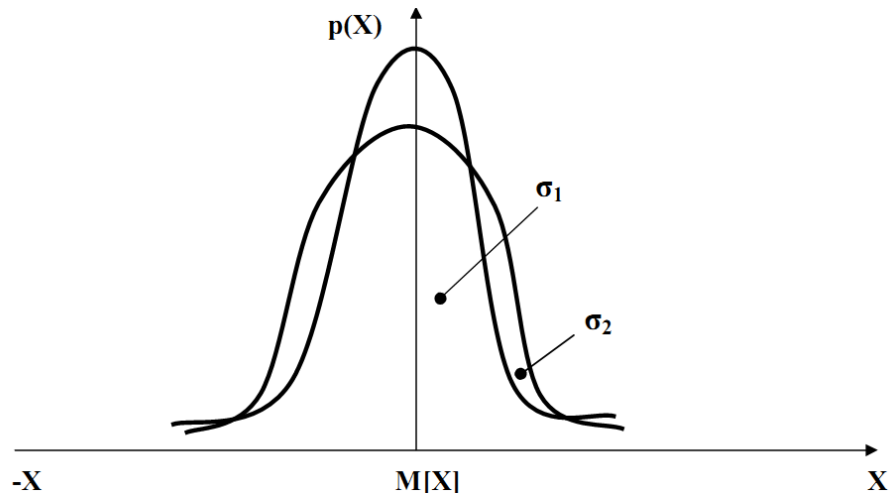


Рис. 4.4. Диференційна функція нормального розподілу похибок

Функція розподілу нормальної випадкової величини має такий вигляд:

$$F(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-M[x])^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (4.7)$$

Крива розподілу буде змінюватися залежно від середнього квадратичного відхилення. Але якщо виразити похибку деяким числом  $t$  середніх квадратичних відхилень, то отримаємо криву нормованого розподілу з аргументом

$$t = \frac{x - M[x]}{\sigma_x}, \quad (4.8)$$

яка описується таким виразом:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}. \quad (4.9)$$

Як відомо цей вираз нормованої функції отриманий за умови, що

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p(t) dt = 1.$$

### Контрольні питання до теми 4.2

- 4.2.1 Дайте визначення систематичним похибкам.
- 4.2.2 Приведіть класифікацію систематичних похибок.
- 4.2.3 Які існують способи вилучення систематичних похибок? Дайте характеристику кожному способу.
- 4.2.4 Коли виникають випадкові похибки?
- 4.2.5 Що є причиною появи випадкових похибок?
- 4.2.6 Які закони розподілу випадкових похибок ви знаєте?

### Тема 4.3 Визначення середньої арифметичної похибки та довірчого інтервалу

**Середня арифметична похибка** - узагальнена характеристика розсіювання (внаслідок випадкових причин) окремих результатів вимірювань, що входять в серію з «n» рівноточних незалежних вимірювань, що обчислюється за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n}, \quad (4.10)$$

де  $x_i$  - результат  $i$ -ого вимірювання, що входить у серію;  $\bar{x}$  - середнє арифметичне з «n» значень величини;  $|x_i - \bar{x}|$  - абсолютне значення похибки  $i$ -ого вимірювання;  $r$  - середня арифметична похибка.

Істинне значення середньої арифметичної похибки « $r$ » можна одержати при нескінченно великому числі вимірювань зі співвідношення:

$$\rho = \lim_{n \rightarrow \infty} r, \quad (4.11)$$

Перевага середньої арифметичної похибки - простота її обчислення. Але все-таки частіше визначають середню квадратичну похибку.

**Середня квадратична похибка окремого вимірювання** – узагальнена характеристика розсіювання (унаслідок випадкових причин) окремих результатів вимірювань, що входять у серію з «n» рівноточних вимірювань, що обчислюється за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (4.12)$$

Статистичною межею для  $S$  за  $n \rightarrow \infty$  є величина  $\sigma$ .

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} S. \quad (4.13)$$

У дійсності число вимірювань завжди обмежено, тому обчислюється не  $\sigma$ , а її наближене значення, яким є  $S$ . Чим більше « $n$ », тим  $S$  ближче до своєї межі  $\sigma$ .

За числа вимірювань  $n > 30$  між середньою арифметичною ( $r$ ) і квадратичною ( $S$ ) похибками існують співвідношення:

$$S = 1,25 \cdot r; \quad r = 0,80 \cdot S.$$

За нормального закону розподілу ймовірність того, що похибка окремого вимірювання в серії не перевершить обчислену середню квадратичну похибку, невелика: 0,68. Отже, у 32 випадках зі 100 дійсна похибка може бути більше обчисленої.

**Середня квадратична похибка середнього арифметичного** – це характеристика випадкової похибки середнього арифметичного значення результату вимірювань однієї й тієї ж величини в даному ряді вимірювань, що обчислюється за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (4.14)$$

З цієї формули видно, що похибка вимірювань внаслідок випадкових причин може бути зменшена в  $\sqrt{n}$  раз, якщо виконувати  $n$  вимірювань одного розміру якої-небудь величини.

**Довірчий інтервал похибки результату вимірювання** – це інтервал значень випадкової похибки, усередині якого із заданою ймовірністю знаходиться шукане (істинне) значення похибки результату вимірювань. Довірчий інтервал обчислюють для того, щоб мати велику впевненість в оцінці похибки результату вимірювань. За нормального закону розподілу довірчі границі похибки обчислюють, як  $\pm t \cdot S$  чи  $\pm t \cdot S_x \pm 1-8$ , де  $i$  - число, що залежить від довірчої ймовірності  $P$  та числа вимірювань  $n$ .

*Приклад 4.5.* Проведено 10 вимірювань тиску живильної води парового котла й отримано середнє арифметичне значення тиску  $P = 5,65$  МПа, а також розраховане значення  $S = \pm 0,05$  МПа. Довірчі границі похибки для даного результату визначаються за формулою:

$$P = \bar{P} \pm t \cdot S_{\bar{P}}$$

За розподілу Стьюдента для довірчої ймовірності  $P = 0,95$  і  $n = 10$ , величина  $t$  буде дорівнювати  $t = 2,26$  (Додаток А). Тоді  $P = 5,65 + 0,05 \cdot 2,26 = 5,65 + 0,11$  МПа.

*Приклад 4.6.* При градуванні хромель-копелевої термопар, робочі кінці якої були поміщені в термостат з температурою 100 °С, а вільні кінці розташовувалися в холодильнику з температурою 0 °С, було зроблено 12 вимірювань термо-ЕРС (мкВ): 6885, 6882, 6879, 6883, 6877, 6878, 6878, 6881, 6882, 6875, 6877, 6883. Визначити довірчі границі істинного значення термо-ЕРС термопар для прийнятої ймовірності 0,95.

*Розв'язання:*

Визначимо: середньоарифметичне значення  $\bar{x} = 6880$  мкВ; випадкові відхилення результатів вимірювань  $x_i - \bar{x}$  квадрати цих відхилень  $(x_i - \bar{x})^2$  і розраховані дані зведемо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 - Результати розрахунку

<i>i</i>	Термо-ЕРС ( <i>x<sub>i</sub></i> ) мкВ	Випадкові відхилення і їх квадрати		<i>i</i>	Термо-ЕРС ( <i>x<sub>i</sub></i> ) мкВ	Випадкові відхилення і їх квадрати	
		$x_i - \bar{x}$	$11(x_i - \bar{x})^2$			$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	6885	+5	25	7	6878	-2	4
2	6882	+2	4	8	6881	+1	1
3	6879	-1	1	9	6882	+2	4
4	6883	+3	9	10	6875	-5	25
5	6877	-3	9	11	6877	-3	9
6	6878	-2	4	12	6883	+3	0

Середня квадратична похибка одиничного вимірювання визначається за формулою (4.12):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{68}{11}} = 2,5 \text{ і } \hat{\varepsilon} \hat{A}.$$

Середня квадратична похибка результату середнього арифметичного визначається за формулою (4.14):

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{2,5}{\sqrt{12}} = 0,72 \text{ і } \hat{\varepsilon} \hat{A}$$

Істинне значення термо-ЕРС «х» хромель-копелевої термопари можна приблизно вважати рівним середньому арифметичному значенню  $\bar{x}$ , тобто  $x \approx \bar{x}$ . Для оцінки вірогідності цієї рівності з довірчою ймовірністю  $P = 0,95$  (за завданням) знайдемо довірчі границі, що відповідають цій ймовірності. За даними додатка А [1] для  $P = 0,95$  і  $k = n - 1 = 11$  (число ступенів свободи), знаходимо коефіцієнт  $t$  розподілу Стьюдента:  $t = 2,18$ . Похибка  $\varepsilon$  середнього арифметичного значення результату вимірювання при малому числі спостережень (вимірювань), тобто за  $n < 20$  і заданій довірчій ймовірності  $P = 0,95$  визначається за формулою:

$$\varepsilon = t \cdot S_{\bar{x}} = 2,18 \cdot 0,72 = 1,57.$$

Таким чином, відповідно до прийнятих умов, тобто з ймовірністю 0,95, можна стверджувати, що істинне значення термо-ЕРС знаходиться між довірчим границями:

$$\bar{x} - \varepsilon = 6880 - 1,57 = 6878,43 \text{ мкВ},$$

$$\bar{x} + \varepsilon = 6880 + 1,57 = 6881,57 \text{ мкВ},$$

$$x \approx \bar{x} = 6880 \pm 1,57 \text{ мкВ}.$$

Вимірювання, що містять «грубі» похибки, повинні бути відкинуті, як ті, що не заслуговують довіри. Однак, необхідно уточнити, у яких випадках такі значення повинні бути відкинуті. На практиці часто користуються простою пропозицією відкидати результати, що містять великі похибки, тобто перевищуючи  $3S$  чи  $4S$ . Однак, цей прийом не можна вважати досить строгим, тому що похибки є випадковими і тому поява похибки сама по собі не залежить від числа спостережень.

При малому числі спостережень (вимірювань) для визначення які вимірювання підлягають відкиданню, застосовують критерій В.І. Романовського, заснований на розподілі Стюдента. Нехай отримано  $n + 1$  результатів вимірювань  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ . При цьому « $n$ » значень не викликають сумнівів у відношенні відповідності їх нормальному ряду, а одне здається сумнівним у цьому ряді.

Для цього випадку визначається середньоарифметичне значення для « $n$ » спостережень і обчислюється середньоквадратичне відхилення. Далі, виходячи зі ступені вірогідності, що повинна бути забезпечена, задамося ймовірністю  $P_k$  того, що різниця  $(x_{n+1} - \bar{x})$  не перевищує деяке значення, що допускається,  $\varepsilon_k$ , яке визначається за формулою:

$$\varepsilon_k = t_k \cdot S. \quad (4.15)$$

Значення  $t_k$  для різних  $P_k$  приведені у довідниках.

Якщо  $\varepsilon_k < x_{n+1} - \bar{x}$  то вимірювання  $x_{n+1}$  підлягає виключенню з ряду, як таке, що не заслуговує довіри.

### Контрольні питання до теми 4.3

4.3.1 Як визначити середню арифметичну похибку?

4.3.2 Як визначається середня квадратична похибка окремого вимірювання та середня квадратична похибка середнього арифметичного?

4.3.3 Як визначити довірчий інтервал похибки результату вимірювання?

## РОЗДІЛ 5. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ

### Тема 5.1 Метрологічні характеристики засобів вимірювання

Велике значення при оцінці якості і властивостей засобів вимірювань має значення їхніх метрологічних характеристик. Однією з таких характеристик є клас точності.

**Класом точності називається** узагальнена характеристика засобу вимірювання, обумовлена межами допуску основних і додаткових похибок, а також іншими властивостями засобів вимірювань, що впливають на точність. Варто мати на увазі, що клас точності засобів вимірювань характеризує їхні властивості у відношенні точності, але не є безпосереднім показником точності вимірювань, виконуваних за допомогою цих засобів.

Класи точності зручні для порівняльної оцінки якості засобів вимірювань, їхнього вибору, міжнародної торгівлі, і вони привласнюються засобам вимірювань при їхній розробці. У процесі експлуатації метрологічні характеристики засобів вимірювань погіршуються і тому допускається зниження класу їхньої точності за результатами метрологічної атестації чи перевірки.

Основою для присвоєння вимірювальним приладам того чи іншого класу точності є їхня основна похибка і спосіб її вираження. Засоби вимірювань випускаються на наступні класи точності: 0,01; 0,015; 0,02; 0,025; 0,04; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 2,0; 4,0; 5,0; 6,0. Умовно можна розділити всі засоби вимірювань за класами точності на такі групи:

- > індикатори: 1-6;
- > робочі: 0,1-1,0;
- > зразкові: 0,01-0,1;
- > еталони: менше 0,01.

Класи точності вимірювальних приладів наносяться на циферблати, чи шкали корпусу засобів вимірювань у виді умовної позначки.

За класом точності приладу можна визначити його припустимі абсолютну й відносну похибки  $\Delta x_{прит}$  і  $\gamma$ .

Для приладів з нулем на початку шкали абсолютна похибка складе:

$$\Delta x_{прит} = \frac{k \cdot x_N}{100}, \quad (5.1)$$

де  $k$  - клас точності приладу,  $x$  - значення, нормуюче рівень верхньої межі і показання приладу.

Тоді приведена основна похибка приладу чисельно дорівнює його класу точності, тобто:

$$\gamma = \pm k. \quad (5.2)$$

Для приладів, що мають шкалу «з подавленим нулем» (тобто на шкалі приладу відсутнє значення «0» як на початку, так і в середині шкали), необхідно додатково враховувати похибку показань на початковій оцінці шкали. Для таких приладів абсолютна основна похибка розраховується за формулою:

$$\Delta x_{\text{прим}} = \pm \left[ \frac{k \cdot E}{100} + \frac{d \cdot D}{100} \right], \quad (5.3)$$

де  $E$  - діапазон шкали приладу, рівний  $x_2 - x_1$ ,  $D$  - діапазон «подавлення» (нижня межа вимірювання),  $d$  - значення виправлення на «подавлення нуля» (для приладів класів 0,5 і 1,0  $d = \pm 0,15$ , для класу 1,5 значення  $d = \pm 0,25$ ).

Отже, для приладів з «подавленим нулем» приведена основна похибка визначається наступним чином:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta x_{\text{прим}}}{E} \cdot 100, \quad (5.4)$$

або

$$\gamma = \pm \left[ k + \frac{d \cdot D}{E} \right]. \quad (5.5)$$

Таким чином, для цього типу приладів чисельне значення приведеної основної похибки буде перевищувати число, зазначене в умовній позначці класу точності на величину  $(d \cdot D)/E$ .

**Варіацією показань приладу називається** різниця між значеннями окремих показань приладу, що відповідають тому самому значенню вимірюваної величини, отриманих при наближенні до нього як від менших значень до більших, так і від більших до менших. Варіація показань визначається одночасно з основною похибкою як різниця дійсних значень вимірюваної величини (за показаннями зразкового приладу), що відповідають одній і тій же оцінці шкали приладу, що перевіряється, спочатку при збільшенні (прямий напрям), а потім при зменшенні (зворотний напрям) значення вимірюваної величини. При декількох підходах до даної точки діапазону вимірювань у кожному із двох напрямків варіація визначається як середня різниця.

Варіація звичайно, виражається у відсотках від нормуючого прийнятого значення:

$$b = \frac{x_1 - x_2}{x_N} \cdot 100, \quad (5.6)$$

де  $x_1$  і  $x_2$  - значення вимірюваної величини при прямому і зворотному напрямках підходу до даної точки вимірювання;  $x_N$  - значення приладу, що нормує.

Варіація показань в механічних приладах викликається появою тертя в опорах, зносом кернів, підп'ятників і т.ін.

Варіація показань не повинна перевищувати 0,2 % для приладів класу точності 0,25 і вище, а для приладів інших класів (0,5; 0,6 тощо) не вище половини припустимого значення основної похибки.

**Чутливість засобу вимірювань** - це відношення зміни сигналу на виході цього засобу (вимірювального приладу), наприклад, до зміни вимірюваної величини, що його викликає.

### **Похибка вимірювальної системи.**

При одержанні інформації про вимірювану величину (температура, тиск і

т.д.) найчастіше використовується вимірювальна система, у яку входять чутливий елемент, перетворювач, вимірювальний прилад і інші пристрої. Якщо клас точності власне вимірювального приладу відомий по його документації, то клас точності вимірювальної системи в цілому, включаючи первинний вимірювальний перетворювач (чуттєвий елемент) і канал зв'язку; не може нормуватися заздалегідь, тому що залежить від конкретних умов експлуатації.

Відповідно до теорії ймовірності можна вважати, що з імовірністю, близькою до 100 %, одночасний вплив декількох знакоперемінних факторів ( $x_1, x_2, x_3, x_4 \dots$ ) дає сумарну похибку:

$$S = \pm \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \Delta x_3^2 + \Delta x_4^2 + \dots}, \quad (5.7)$$

де  $\Delta x_1^2, \Delta x_2^2, \Delta x_3^2, \Delta x_4^2$  - похибки при впливі факторів  $x_1, x_2, x_3, x_4$ , виражені у відсотках.

Обчислена в такий спосіб похибка одержала назву середньої квадратичної похибки. Позначивши похибки різних елементів, що входять у вимірювальну систему, через  $\varepsilon_i$ , де  $i = 1, 2, \dots, n$ , відповідно до (5.7) одержимо:

$$S = \pm \sqrt{\Delta \varepsilon_1^2 + \Delta \varepsilon_2^2 + \dots + \Delta \varepsilon_n^2} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta \varepsilon_i^2}. \quad (5.8)$$

## Контрольні питання до теми 5.1

- 5.1.1 Що називають класом точності приладу?
- 5.1.2 На які групи поділяються прилади по класу точності?
- 5.1.3 Як визначити припустиму абсолютну та відносну похибки?
- 5.1.4 Що називають варіацією показань приладу та чутливістю засобу вимірювання?
- 5.1.5 Як визначити похибку вимірювальної системи?

## Тема 5.2 Підготовка до вимірювань та аналіз постановки вимірювальної задачі

Кожне вимірювання складається з наступних елементів: об'єкт вимірювань, засіб вимірювань, метод вимірювань і умова вимірювань.

Вимірювання можуть проводитися як оператором так і в автоматичному режимі. У першому випадку результат вимірювання (тобто обмірювана величина) залежить як від дій самого оператора, так і від роботи всіх елементів, що беруть участь у процесі вимірювання. Щоб забезпечити високу точність вимірювань, їх необхідно ретельно підготувати. При автоматизації вимірювань виключається похибка оператора, а також різко знижується похибка через коливання величин, що впливають, і випадкових факторів, що дає можливість різко підвищити точність результату вимірювання. Широке використання автоматизації при обробці результатів вимірювань дозволяє уникнути помилок при розрахунках, вибрати найбільш раціональний спосіб обробки експериментальних даних.

Підготовка вимірювального процесу включає:

- аналіз постановки вимірювальної задачі;
- створення умов для вимірювань;
- вибір засобів і методу вимірювань;
- вибір числа вимірювань;
- підготовка оператора;
- підготовка засобів вимірювань.

Вимірювання високої якості можна одержати при **вірній постановці вимірювальної задачі**. При цьому необхідно насамперед з'ясувати які фізичні величини чи параметри об'єкта підлягають вимірюванню, якої точності повинний бути результат вимірювання й у якій формі його варто представити.

Вибір фізичних величин, які необхідно контролювати для даного об'єкта, процесу чи явища залежить від особливостей технологічного процесу чи об'єкта. При цьому повинна виконуватися основна мета - одержання найбільш повної інформації про об'єкт і процеси, що протікають в об'єкті. Після виявлення фізичних величин, що підлягають вимірюванню, аналізують друге питання постановки вимірювальної задачі.

Точність результату вимірювань залежить від якості засобу вимірювань. Чим точніше засіб вимірювань, тим точніше результат вимірювання. Ускладнення засобів вимірювань призводить до різкого підвищення вартості вимірювального процесу. Необхідно прагнути до того, щоб при обмежених витратах досягалася найбільша точність вимірювань.

При аналізі постановки вимірювальної задачі необхідно виявити вимоги до швидкості одержання вимірювальної інформації, її дискретності, рівня автоматизації, визначити оптимальність (з погляду мети вимірювальної задачі) вимірюваних параметрів і ін. Від цього залежить вибір тих чи інших засобів вимірювань, методу й умов вимірювань, витрати праці оператора. Організація вимірювальних робіт повинна відповідати вимогам сучасних технологічних процесів, у тому числі автоматизованих.

### **Контрольні питання до теми 5.2**

5.2.1 У чому полягає підготовка до вимірювального процесу?

5.2.2 З якою метою перед вимірюваннями розробляють постановку вимірювальної задачі?

### **Тема 5.3 Створення умов для вимірювань. Вибір засобів і методу вимірювання**

Зміни зовнішніх умов впливають на вимірювану величину і використовувані засоби вимірювань. Величини, що впливають, можна розділити на чотири групи:

- кліматичні (температура навколишнього середовища, відносна вологість повітря, атмосферний тиск, освітленість);
- електричні і магнітні (коливання сили електричного струму, напруги в електричній мережі, частоти перемінного електричного струму, постійні і змінні

магнітні полюси й ін.);

- зовнішні навантаження (вібрації, ударні навантаження, зовнішні торкання деталей приладу);
- іонізуючі випромінювання, газовий склад атмосфери й т.д.

З метою забезпечення єдності вимірювань до умов їхнього проведення пред'являються тверді вимоги. Для конкретних областей вимірювань установлюють єдині умови, які *називаються нормальними*. Значення фізичної величини, що відповідає нормальним умовам, називають номінальним значенням впливаючої фізичної величини.

У реальній практиці вимірювань впливаючих величин, вони відхиляються в більшому чи меншому ступені від своїх номінальних значень. Тому необхідно установити межі можливих змін для кожної впливаючої величини. Ці межі - їх називають межами нормальної області значень впливаючих величин - вибирають так, щоб вплив сукупності впливаючих величин на результат вимірювання був як можна меншим. Відповідно до метрологічних норм для нормальних умов перевірки прийнята така область сукупних впливаючих величин, під дією яких похибка засобів вимірювань, що перевіряється, може змінюватися не більше ніж на 35 %. Однак (за цими ж нормами), якщо похибка викликана дією оператора чи обраним методом вимірювання (а не самого засобу вимірювання), то в цьому випадку допускається збільшення похибки засобів вимірювання в нормальних умовах у 1,5...2 рази.

Для усунення вібрацій і струсів застосовують амортизатори, струни, пружини, губчасту гуму тощо.

Засобом захисту від впливу магнітного поля Землі служать екрани з магнітно-м'яких матеріалів. Щоб зменшити вплив зміни атмосферного тиску, застосовують барокамери.

Застосування точних засобів вимірювань пов'язано з великими матеріальними втратами. При виборі засобів вимірювань враховують вимірювану величину, метод вимірювання, діапазон вимірювання і характеристики похибки засобів вимірювань, умови проведення вимірювань, допустиму похибку вимірювань, вартість засобів вимірювань, простоту їхньої експлуатації, умови проведення вимірювань.

Основним критерієм при виборі засобів вимірювань є порівнянність їхньої похибки з точністю, необхідною для даного технологічного процесу. При виборі засобів вимірювань по точності необхідно враховувати вимоги до похибки результату вимірювання й ту її частку, що приходить на похибку використовуваних засобів вимірювань. З метою оцінки сумарної похибки аналізують існуючі методи і засоби вимірювань, умови проведення вимірювань, визначають впливаючі величини. Встановлюють вплив умов проведення вимірювань і вплив похибки засобів вимірювань на похибку результату вимірювань. Крім того, оцінюють похибку передбачуваного методу, похибку оператора. Сумарну похибку  $\sum \Delta x$  порівнюють з допустимою похибкою вимірювання,  $\Delta x_{дон}$ .

$$\sum \Delta x = \Delta x_m + \Delta x_{з.в.} + \Delta x_{ум} + \Delta x_o \leq \Delta x_{дон}$$

де  $\Delta x_m$  - гранична похибка методу вимірювань;  $\Delta x_{z\ \epsilon}$  - межа похибки, що допускається, використовуваних засобів вимірювань;  $\Delta x_{um}$  - гранична похибка, обумовлена впливом зовнішніх факторів;  $\Delta x_o$  - гранична похибка оператора.

За умови нерівності обраний засіб вимірювань забезпечує одержання результату вимірювань з похибкою не більш заданої.

Велике значення для одержання якісних результатів вимірювань має вибір методу вимірювання, тобто сукупність тих фізичних явищ, на яких засновані вимірювання. Основними методами вимірювань є:

- метод безпосередньої оцінки;
- метод порівняння з мірою;
- диференціальний метод.

Найбільше поширення одержав метод безпосередньої оцінки, при якому вимірювану величину визначають безпосередньо по відліковому пристрої засобу вимірювань. Метод відрізняється простотою і не вимагає особливих дій оператора і додаткових обчислень. Основними джерелами похибки вимірювань при вимірюваннях цим методом є самі засоби вимірювання. Тобто необхідно ретельно вибрати засоби вимірювань, які будуть забезпечувати високу точність.

Якщо необхідно виконати точне вимірювання, застосовують **диференціальний чи нульовий метод**. Ці методи є різновидом методу порівняння з мірою. Для них характерне існування високоточної міри, близької до вимірюваної величини. Похибка цих методів характеризується в основному похибкою використовуваної міри. Широко застосовується цей метод в оптичній пірометрії при вимірюванні високих температур, наприклад, металу, факела, вогнетривкої кладки й інших високотемпературних середовищ.

**Нульовий метод використовується** також для вимірювання швидкості, сили електричного струму й т.д. Похибка даного методу визначається в основному точністю використовуваних електротехнічних приладів, що виступають як міри. Існує ряд інших методів вимірювання фізичних величин, що широко застосовуються в метрологічній практиці.

### **Контрольні питання до теми 5.3**

- 5.3.1 Які треба створити умови для одержання точних результатів вимірювань?
- 5.3.2 Як вибрати засіб та метод вимірювання?
- 5.3.3 Які методи вимірювання ви знаєте?

## РОЗДІЛ 6. НОРМОВАНІ МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

### Тема 6.1 Групи нормованих метрологічних характеристик приладів

**Метрологічні характеристики.** Метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки - це характеристики, які впливають на результати та на похибки вимірювань і призначені для оцінювання технічного рівня та якості ЗВТ, визначення результатів вимірювань та оцінки інструментальної складової похибки вимірювань.

Засоби вимірювання, у тому числі й вимірювальні пристрої, допускаються до застосування тільки в тому випадку, якщо встановлені норми (нормовані їхні метрологічні характеристики). Відомості про останні приводяться в технічній документації на засоби вимірювань.

Для зручності використання, аналізу й нормування метрологічних характеристик засобу вимірювань їх зручно класифікувати на групи, наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Метрологічні характеристики вимірювальних пристроїв

<i>Група метрологічних характеристик</i>	<i>Метрологічні характеристики</i>
Характеристики, призначені для визначення результату вимірювань	Функція перетворення, коефіцієнт перетворення, ціна розподілу, чутливість, діапазон вимірювань, верхня й нижня межі вимірювань, діапазон показань, кінцеве й початкове значення шкали.
Характеристики похибки	Систематична похибка, випадкова похибка, основна похибка, динамічна похибка, поріг чутливості, похибка лінійності, варіація, абсолютна, відносна й приведена похибки.
Характеристики чутливості до спливаючої величини	Функції впливу, додаткова похибка, зміна показань, зміна коефіцієнта перетворень, значення неінформативного параметра вихідного сигналу
Динамічні характеристики	Диференційне рівняння, передаюча функція, комплексна частотна функція, перехідна характеристика, імпульсна перехідна характеристика, амплітудно-фазова характеристика, постійна часу, час

За допомогою нормування метрологічних характеристик забезпечується взаємозамінність засобів вимірювань і єдність вимірювань у державному масштабі. Реальні значення метрологічних характеристик засобів вимірювань визначаються при їхньому виготовленні, а потім періодично перевіряються в процесі експлуатації. За наявності відхилень хоча б однієї нормованої метрологічної характеристики від норми, засіб вимірювань регулюється, піддається ремонту або бракується й вилучається з обігу.

### **6.1.1 Використання нормованих метрологічних характеристик пристроїв при виборі приладу**

Загальний підхід при нормуванні метрологічних характеристик полягає в тому, що для всіх нормованих функцій і значень встановлюються номінальні функції, номінальні значення та межі припустимих відхилень (наприклад, номінальна функція перетворення, номінальна функція впливу, номінальне значення інформативного параметра на виході, номінальне значення постійної часу тощо). Для інших характеристик встановлюються межі припустимих значень (наприклад, межі основної допустимої похибки, межі допустимої варіації тощо). Певну специфіку має нормування характеристик, що визначають точність вимірювань, виконуваних за допомогою даного засобу вимірювань (основна й додаткова похибки, розмах, варіація).

Основна похибка пристрою для технологічних вимірювань нормується шляхом встановлення межі допуску абсолютної, відносної або наведеної похибки:

$$\Delta = \pm a, \tag{6.1}$$

$$\delta = \pm 100 \frac{\Delta}{X} = \pm c, \tag{6.2}$$

$$\gamma = \pm 100 \frac{\Delta}{X_N} = \pm b, \tag{6.3}$$

де  $X$  - вхідний сигнал вимірювального пристрою.

Нормоване значення  $X_N$ , у виразі (6.3) приймають рівним діапазону вимірювань (для багатьох вимірювальних пристроїв, у тому числі для більшості пристроїв, які використовуються для технологічних вимірювань), кінцевому значенню шкали, довжині шкали, якщо остання має розподіли, які різко змінюються.

Спосіб завдання меж основної припустимої похибки для вимірювальних приладів і перетворювачів визначається залежністю їхньої похибки від значення вимірюваної величини й вимогами простоти. Якщо у вимірювальних пристроїв даного типорозміру після відповідного їхнього регулювання похибка практично не залежить від значення вимірюваної величини, то межа основної припустимої похибки нормується абсолютною похибкою, яка обумовлена по формулі (6.1), або наведеною похибкою, яка обумовлена по формулі (6.3).

Якщо похибка вимірювальних пристроїв даного типорозміру про-

порційна значенню вимірюваної величини  $\left(\Delta = \pm \frac{c}{100} \cdot X\right)$ , то межу основної припустимої похибки зручно нормувати через відносну похибку, обумовлену по формулі (6.2), тому що норма визначається одним числом:

$$\delta = \pm \frac{100 \cdot c}{100 \cdot X} \cdot X = \pm c. \quad (6.4)$$

Додаткова похибка нормується в тих випадках, коли при вимірюванні впливаючої величини, у робочій області основна похибка перевищує встановлену для неї межу. Додаткова похибка нормується: у вигляді постійного значення  $\Delta_{дон}$  для всієї робочої області впливаючої величини, або по окремих інтервалах цієї області; шляхом вказування відношення межі додаткової припустимої похибки прийнятої для регламентованого інтервалу впливаючої величини, до значення цього інтервалу, тобто  $\Delta_{дон} / \Delta\xi$  де  $\Delta\xi$  - регламентований інтервал впливаючої величини,  $\xi$ ; шляхом вказування залежності межі додаткової припустимої похибки, від впливаючої величини, тобто  $\Delta_{дон} = E(\xi)$ .

Межі додаткової припустимої похибки, як правило, встановлюють у вигляді часткового (кратного) значення межі основної допустимої похибки.

Вимірювальні пристрої прийнято розділяти на класи точності.

В наш час *клас точності A* трактується як узагальнена характеристика засобів вимірювань, обумовлена межами припущення основної й додаткової похибок, а також рядом інших властивостей, що впливають на точність здійснюваних з їхньою допомогою вимірювань.

Зв'язок між межами основної й додаткової похибок, а також з іншими властивостями засобів вимірювань звичайно регламентується відповідними стандартами на окремі види засобів вимірювань.

Для вимірювальних приладів і перетворювачів, застосовуваних для технологічних вимірювань, як правило, нормальні умови експлуатації вибирають такими, що в більшості випадків виключається необхідність нормування додаткової похибки. Тому клас точності однозначно визначає точність цих засобів вимірювань.

### Контрольні питання до теми 6.1

6.1.1 Що розуміють під метрологічними характеристиками?

6.1.2 На які групи класифікуються метрологічні характеристики засобів вимірювання?

6.1.3 Як нормуються межі абсолютної, основної допустимої та додаткової похибок?

## РОЗДІЛ 7. ЗАКОНОДАВЧА СТАНДАРТИЗАЦІЯ

### Тема 7.1 Загальні відомості про стандартизацію

Весь історичний розвиток людства супроводжується принципами стандартизації.

Жодне суспільство не може існувати без технічного законодавства та нормативних документів, які регламентують правила, процеси, методи виготовлення та контролю продукції, а також гарантують безпеку життя, здоров'я людей і навколишнього середовища. Стандартизація якраз і є тією діяльністю, яка виконує ці функції.

Розрізняють стандартизацію фактичну і стандартизацію офіційну.

**Фактична стандартизація** виникла в далеку давнину. Писемність, система числення, грошові одиниці, одиниці міри і ваги, літочислення, землеволодіння, архітектурні стилі, різні гіпотези і теорії, громадські й карні кодекси, кодекси законів про працю – все це прояви фактичної стандартизації. Вона розвивалася поступово, її успіхи сприяли культурному, науково-технічному і економічному прогресу на всіх рівнях цивілізації, причому для стандартизації вища мета ніколи не була дуже високою.

**Офіційна стандартизація** завжди завершується випуском стандартів, еталонів або інших нормативно-технічних документів, що мають цілком визначену форму, систему індексації, порядок затвердження і характеристики, ступінь зобов'язання, терміни дії тощо.

Стандартизація в техніці є своєрідним відображенням об'єктивних законів еволюції технічних засобів і матеріалів.

Завдяки стандартизації суспільство має можливість свідомо керувати своєю економічною і технічною політикою, домагаючись випуску виробів

#### 7.1.1 Основні терміни та їх визначення зі стандартизації

**Стандартизація** – діяльність, що полягає у встановленні положень для загального і багаторазового застосування щодо наявних чи можливих завдань з метою досягнення оптимального ступеня впорядкування у певній сфері, результатом якої є підвищення ступеня відповідності продукції, процесів та послуг їх функціональному призначенню, усуненню бар'єрів у торгівлі і сприянню науково-технічному співробітництву.

**Міжнародна стандартизація** – стандартизація, що проводиться на міжнародному рівні та участь у якій відкрита для відповідних органів усіх країн.

**Національна стандартизація** – стандартизація, що проводиться на рівні однієї країни.

**Орган стандартизації** – орган, що займається стандартизацією, визнаний на національному, регіональному чи міжнародному рівнях, основними функціями якого є розроблення, схвалення чи затвердження стандартів.

**Об'єкт стандартизації** – предмет (продукція, процес, послуга), який підлягає стандартизації і для якого розробляються ті чи інші вимоги, характеристики, параметри, правила тощо. Стандартизація може стосуватись об'єкта вза-

галі, або його окремих складових. Причому названий термін однаково стосується будь-якого обладнання, матеріалу, компонента або системи, а також правила, процедури, функції, методу чи діяльності.

**Нормативний документ (НД)** – документ, що встановлює правила, загальні принципи чи характеристики різного виду діяльності або її результатів. Цей термін охоплює такі поняття як «стандарт», «настанова», «технічні умови» та «регламент».

**Стандарт** – документ, що встановлює для загального і багаторазового застосування правила, загальні принципи або характеристики, які стосуються діяльності чи її результатів, з метою досягнення оптимального ступеня впорядкованості у певній галузі, розроблений у встановленому порядку на основі консенсусу.

**Національні стандарти** – стандарти, прийняті центральним органом виконавчої влади у сфері стандартизації та доступні для широкого кола користувачів.

**Технічні умови** – документ, що встановлює технічні вимоги, яким повинні відповідати продукція, процеси чи послуги. Технічні умови можуть бути стандартом, частиною стандарту або окремим документом.

**Конструкторська документація** – сукупність конструкторських документів, які залежно від їх призначення містять дані, що потрібні для розробки, виготовлення, контролю, приймання, постачання, експлуатації та ремонту виробу. Порядок розробки, оформлення та передачі конструкторської документації в різні інстанції встановлено комплексом стандартів Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД).

**Нормативно-технічна документація** – сукупність конкретних технічних вимог (правил), законодавчих положень про захист життя і здоров'я людини, охорону навколишнього середовища, забезпечення прав споживача, а також встановлення порядку нагляду за виконанням цих вимог. Останні повинні враховувати соціально-економічні умови та досягнутий рівень науково-технічного розвитку виробництва.

**Безпека** – відсутність неприпустимого ризику, пов'язаного з можливістю завдання будь-якої шкоди.

**Обмеження різноманітності (уніфікація)** – вибір оптимального числа розмірів та зразків виробів для задоволення основних потреб.

**Охорона навколишнього природного середовища** – комплекс міжнародних, державних, регіональних заходів (адміністративних, господарських, політичних та громадських) щодо підтримування параметрів функціонування природних систем (фізичних, хімічних і біологічних) в межах, що забезпечують здоров'я та добробут людини.

## Контрольні питання до теми 7.1

7.1.1 Як ви розумієте поняття «фактична» та «офіційна» стандартизації?

7.1.2 Дайте визначення наступним термінам: стандартизація, орган та об'єкт стандартизації, нормативний документ, консенсус, національні стандарти, нормативно-технічна документація.

## **Тема 7.2 Організація роботи зі стандартизації в Україні**

Правові та організаційні засади стандартизації в Україні встановлює **Закон України «Про стандартизацію»**, прийнятий Верховною Радою і підписаний Президентом України **17 травня 2001 року**.

Закон регулює відносини, пов'язані з діяльністю у сфері стандартизації та застосуванням її результатів, і поширюється на суб'єкти господарювання незалежно від форми власності та видів діяльності, органи державної влади, а також на відповідні громадські організації.

### **7.2.1 Центральний орган виконавчої влади у сфері стандартизації**

Центральний орган виконавчої влади у сфері стандартизації організовує, координує та провадить діяльність щодо розроблення, схвалення, прийняття, перегляду, зміни, розповсюдження національних стандартів відповідно до Закону і як національний орган стандартизації представляє Україну в міжнародних та регіональних організаціях із стандартизації.

Центральний орган виконавчої влади у сфері стандартизації виконує такі основні функції:

- ◆ забезпечує реалізацію державної політики у сфері стандартизації;
- ◆ вживає заходів щодо гармонізації розроблюваних національних стандартів з відповідними міжнародними (регіональними) стандартами;
- ◆ бере участь у розробленні і узгодженні технічних регламентів та інших нормативно-правових актів з питань стандартизації;
- ◆ встановлює правила розроблення, схвалення, прийняття, перегляду, зміни та втрати чинності національних стандартів, їх позначення, класифікації за видами та іншими ознаками, кодування та реєстрації;
- ◆ вживає заходів щодо виконання зобов'язань, зумовлених участю в міжнародних (регіональних) організаціях стандартизації;
- ◆ співпрацює у сфері стандартизації з відповідними органами інших держав;
- ◆ формує програму робіт із стандартизації та координує її реалізацію;
- ◆ організує надання інформаційних послуг з питань стандартизації.

Центральний орган виконавчої влади у сфері стандартизації може виконувати функції та повноваження згідно із законами України.

Центральний орган виконавчої влади у сфері стандартизації вносить подання до Кабінету Міністрів України щодо делегування повноважень стосовно організації розроблення, схвалення, прийняття, перегляду та зміни національних стандартів у галузі будівництва та промисловості будівельних матеріалів центральному органу виконавчої влади в цій сфері діяльності.

### **7.2.2 Рада стандартизації**

Рада стандартизації є колегіальним консультативно-дорадчим органом при Кабінеті Міністрів України.

Персональний склад ради та положення про неї затверджує Кабінет Міністрів України.

Основною метою діяльності Ради є налагодження взаємодії між виробниками, споживачами продукції та органами державної влади, узгодження інтере-

сів у сфері стандартизації, сприяння розвитку стандартизації.

Основною функцією Ради є вивчення, аналіз та розроблення пропозицій щодо вдосконалення діяльності у сфері стандартизації стосовно:

- ◆ створення технічних комітетів стандартизації та вивчення напрямів їх діяльності;
- ◆ прийняття міжнародного, регіонального чи іншого стандарту як національного стандарту;
- ◆ проведення експертиз проектів технічних регламентів та інших нормативних документів з питань технічного регулювання;
- ◆ програм робіт із стандартизації.

Рада має право:

- ◆ одержувати від органів виконавчої влади інформацію і матеріали з питань, що належать до її компетенції;
- ◆ залучати в разі потреби у встановленому порядку до роботи в Раді спеціалістів органів виконавчої влади, науково-дослідних установ та організацій;
- ◆ вносити пропозиції до відповідних органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування з питань, що належать до її відання.

### **7.2.3 Мета та основні принципи державної політики у сфері стандартизації**

Метою стандартизації в Україні є забезпечення безпеки для життя та здоров'я людини, тварин, рослин, а також майна та охорони довкілля, створення умов для раціонального використання всіх видів національних ресурсів та відповідності об'єктів стандартизації своєму призначенню, сприяння усуненню технічних бар'єрів у торгівлі.

Державна політика у сфері стандартизації базується на таких принципах:

- ◆ забезпечення участі фізичних і юридичних осіб в розробленні стандартів та вільного вибору ними видів стандартів при виробництві чи постачанні продукції, якщо інше не передбачене законодавством;
- ◆ відкритості та прозорості процедур розробленні і прийняття стандартів з урахуванням інтересів усіх зацікавлених сторін, підвищення конкурентоспроможності продукції вітчизняних виробників;
- ◆ доступності стандартів та інформації щодо них для користувачів;
- ◆ відповідності стандартів законодавству;
- ◆ адаптації до сучасних досягнень науки і техніки з урахуванням стану національної економіки;
- ◆ пріоритетності прямого впровадження в Україні міжнародних та регіональних стандартів;
- ◆ дотримання міжнародних та європейських правил і процедур стандартизації;
- ◆ участі в міжнародній (регіональній) стандартизації.

### **7.2.4 Об'єкти стандартизації**

Об'єктами державної стандартизації є:

- а) об'єкти організаційно-методичні та загальнотехнічні, зокрема:

- організація проведення робіт із стандартизації;
  - термінологічні системи різних галузей знань та діяльності;
  - класифікація і кодування техніко-економічної та соціальної інформації;
  - системи та методи забезпечення якості та контролю якості (вимірювань, аналізу), методи випробувань;
  - метрологічне забезпечення (метрологічні норми, правила, вимоги, організація робіт);
  - вимоги техніки безпеки, гігієни праці, технічної естетики;
  - системи технічної та іншої документації загального використання, єдина технічна мова;
  - системи величин та одиниць;
  - достовірні довідкові дані про властивості речовин та матеріалів.
- б) продукція міжгалузевого призначення та широкого вжитку;
- в) складові елементи народногосподарських об'єктів державного значення, зокрема банківсько-фінансова система, транспорт, зв'язок, енергосистема, охорона навколишнього середовища, вимоги до вживаних природних ресурсів, оборона тощо;
- г) об'єкти державних, соціальних, економічних та державних науково-технічних програм.

### **Контрольні питання до теми 7.2**

- 7.2.1 Коли було прийнято закон зі стандартизації в Україні?
- 7.2.2 Які функції виконує орган виконавчої влади у сфері стандартизації?
- 7.2.3 Яка основна мета та функції Ради зі стандартизації?
- 7.2.4 Яка мета та основні принципи державної політики у сфері стандартизації?
- 7.2.5 Що є об'єктами державної стандартизації?

## **Тема 7.3 Стандарти та їх застосування**

### **7.3.1 Порядок розроблення і прийняття, перевірки, внесення змін та перегляду стандартів**

Залежно від рівня суб'єкта стандартизації, який приймає чи схвалює стандарти, розрізняють:

- національні стандарти, кодекси ustalеної практики та класифікатори, прийняті чи схвалені центральним органом виконавчої влади у сфері стандартизації, видані ним каталоги та реєстри загальнодержавного застосування;
- стандарти, кодекси ustalеної практики та технічні умови, прийняті чи схвалені іншими суб'єктами, що займаються стандартизацією.

Об'єкт стандартизації може бути об'єктом інтелектуальної чи промислової власності, якщо розробник стандарту в установленому законодавством порядку отримав дозвіл у власника прав на цей об'єкт.

Національні стандарти розробляються технічними комітетами стандарти-

зації, а в разі їх відсутності - іншими суб'єктами стандартизації, що мають для цього відповідний науково-технічний потенціал.

Міжнародні (регіональні) стандарти запроваджуються як національні стандарти за умови їх прийняття центральним органом виконавчої влади у сфері стандартизації.

Припинення дії національного стандарту здійснює центральний орган виконавчої влади у сфері стандартизації у разі припинення випуску продукції, регламентованої цим стандартом, а також у разі розроблення, схвалення або прийняття замість нього іншого стандарту за поданням відповідного технічного комітету стандартизації або іншого суб'єкта стандартизації відповідно до цього Закону.

### **7.3.2 Порядок застосування стандартів**

Стандарти застосовуються на добровільних засадах, якщо інше не встановлено законодавством.

Стандарти застосовуються безпосередньо чи посиланням на них в інших документах.

Застосування стандартів чи їх окремих положень стає обов'язковим:

- для всіх суб'єктів господарювання, якщо це передбачено в технічних регламентах чи інших нормативно-правових актах;
- для учасників угоди (контракту) щодо розроблення, виготовлення чи постачання продукції, якщо в ній є посилання на певні стандарти;
- для виробника чи постачальника продукції, якщо він склав декларацію про відповідність продукції певним стандартам чи застосував позначення цих стандартів у її маркуванні;
- для виробника чи постачальника, якщо його продукція сертифікована щодо дотримання вимог стандартів.

Міжнародні (регіональні) стандарти та стандарти інших країн, якщо їх вимоги не суперечать законодавству України, можна застосовувати в Україні в установленому порядку шляхом посилання на них у національних та інших стандартах.

Стандарти застосовані під час виготовлення продукції, повинні зберігатися у виробника протягом 10 років випуску останнього виробу цього виду продукції.

### **7.3.3 Види стандартів**

Відповідно до специфіки об'єкта стандартизації, складу та змісту вимог, встановлених до нього, згідно з ДСТУ 1.1-2001 розробляють стандарти таких видів:

- 1) основоположні стандарти;
- 2) термінологічні стандарти;
- 3) стандарти на методи випробування;
- 4) стандарти на продукцію;
- 5) стандарти на процеси;
- 6) стандарти на послугу;
- 7) стандарти на сумісність;
- 8) стандарти загальних технічних умов.

*Основоположні стандарти* встановлюють організаційно-методичні та загальнотехнічні вимоги для визначеної галузі стандартизації, а також терміни та визначення, загальнотехнічні вимоги та правила, норми, що забезпечують впорядкованість, сумісність, взаємозв'язок та взаємопогодженість різних видів технічної та виробничої діяльності під час розроблення, виготовлення транспортування та утилізації продукції, охорону навколишнього природного середовища.

*Стандарти на продукцію, послуги* встановлюють вимоги до груп однорідної або конкретної продукції, послуги, які забезпечують її відповідність своєму призначенню.

*Стандарти на процеси* встановлюють основні вимоги до послідовності та методів (засобів, режимів, норм) виконання різних робіт (операцій) у процесах, що використовуються у різних видах діяльності та які забезпечують відповідність процесу його призначенню.

*Стандарти на методи контролю* (випробувань, вимірювань, аналізу) встановлюють послідовність робіт, операцій, способи (правила, режими, норми) і технічні засоби їх виконання для різних видів та об'єктів контролю продукції, процесів, послуг.

#### **7.3.4 Позначення стандартів і нормативних документів**

Державні стандарти України позначають згідно з вимогами, які регламентує ДСТУ 1.5-93. Наприклад: ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення.

Позначення державного стандарту України складається з індексу (ДСТУ), реєстраційного номера, присвоєного йому при затвердженні, і відокремлених тире двох останніх цифр року (з 2000 – 4 цифри) прийняття. У позначенні державного стандарту, що входить до комплексу стандартів, в його реєстраційному номері перші цифри з крапкою визначають комплекс стандарту. Якщо стандарт використовується тільки в атомній енергетиці, додається літера А, яку проставляють після двох останніх цифр року його затвердження. Позначення державного стандарту, що оформлений на підставі застосування автентичного тексту міжнародного або регіонального стандарту і не вміщує додаткові вимоги, складається з індексу (ДСТУ), позначення відповідно до міжнародного або регіонального стандарту без зазначення року його прийняття і відокремлених тире двох останніх цифр року затвердження державного стандарту. Наприклад, міжнародний стандарт ISO 9591:1992 повинен позначатися ДСТУ ISO 9591:93. Стандартом установлено такі індекси документів:

а) для національного рівня:

«ДСТУ» - національний стандарт;

«ДСТУ-П» - пробний стандарт;

«ДСТУ-Н» - настанова, правила, збір правил, кодекс ustalеної практики, що не є стандарт, «ДК» - державний класифікатор; «ДСТУ - ЗТ» - технічний звіт;

б) для інших рівнів:

«СОУ» - стандарт організації;

«ТУУ» - технічні умови, що не є стандарт;

«СТУ» - стандарт наукового, науково-технічного або інженерного товариства чи спілки.

У позначенні НД громадських організацій (крім наукового, науково-технічного або інженерного товариства чи спілки), зареєстрованих у міністерстві юстиції України, як індекс рекомендована застосовувати скорочену назву відповідної організації.

Індекси інших документів у сфері стандартизації, а також документів інших суб'єктів стандартизації цей стандарт не встановлює, їх надають суб'єкти, які ухвалили ці документи.

Для позначення проектів документів застосовують індекс відповідного документа, поєднаний із скороченням слова «проект» - «пр», яке розміщують перед індексом.

*Приклад.* Проект національного стандарту позначається як прДСТУ, а державного класифікатора – прДК.

Установлені індекси нормативних документів не можна застосовувати для позначення інших документів чи в скороченнях.

Правила надавання номера та позначення року для національних НД – згідно з ДСТУ 1.5, державний класифікатор – ДСТУ 1.10, технічних умов – ДСТУ 1.3.

Приймаючи міжнародний чи регіональний стандарт через національний стандарт, його позначають згідно з ДСТУ 1.7.

У позначенні НД інших суб'єктів стандартизації рекомендовано після індексу НД зазначити коди державних класифікаторів:

- групи згідно з ДК 009 (перші три цифри кодового позначення виду економічної діяльності);

- через дефіс – код суб'єкта стандартизації, якому належить право власності на документ згідно з ЄДРПОУ. Інші складники позначення НД установлюють згідно з ДСТУ 1.3 суб'єкти, які схвалили ці НД.

Якщо у позначенні чинного в Україні документа у сфері стандартизації використано позначення документа міжнародної чи регіональної організації (ISO, ІС, EN, ГОСТ чи іншого), а також якщо назву відповідного документа перекладено, то таке позначення не змінюють.

### **Контрольні питання до теми 7.3**

7.3.1 Який існує порядок застосування стандартів?

7.3.2 Які види стандартів ви знаєте?

7.3.3 Які прийняті позначення стандартів та нормативних документів?

## Тема 7.4 Системи стандартів

### 7.4.1 Державна система стандартизації

В Україні розроблено перші сім стандартів державної системи стандартизації. Стандарти державної системи стандартизації позначають перед номером стандарту цифрою 1.

До державної системи стандартизації України належать: ДСТУ 1.0-93. Основні положення; ДСТУ 1.2-93 Порядок розроблення державних стандартів; ДСТУ 1.3-93 Порядок розроблення, побудови, викладу та оформлення технічних умов; ДСТУ 1.4-93 Стандарти підприємства. Основні положення; ДСТУ 1.5-93 Загальні вимоги до побудови, викладу, оформлення та змісту стандартів; ДСТУ 1.6-97 Порядок державної реєстрації галузевих стандартів, стандартів науково-технічних товариств та інженерних товариств і спілок; ДСТУ 1.1-2001 Стандартизація та сумісні види діяльності, терміни та визначення основних понять; ДСТУ 1.6-2001.

### 7.4.2 Єдина система конструкторської документації (ЄСКД)

Це система постійно діючих технічних і організаційних вимог, що забезпечують взаємний обмін конструкторської документації без її переоформлення між країнами СНД, галузями промисловості і окремими підприємствами, розширення уніфікації продукції при конструкторській розробці, спрощення форми документів і скорочення їх номенклатури, а також єдність графічних зображень; механізовану і автоматизовану розробку документів і, найголовніше, готовність промисловості до організації виробництва будь-якого виробу на будь-якому підприємстві в найкоротший термін.

Стандарти системи ЄСКД позначають перед номером стандарту цифрою 2.

### 7.4.3 Єдина система технологічної документації (ЄСТД)

Ця система встановлює обов'язковий порядок розробки, оформлення і збереження всіх видів технологічної документації на машино- і приладобудівних підприємствах країни для виготовлення, транспортування, встановлення і ремонту виробів цих підприємств.

Єдині правила розробки, оформлення і збереження технологічної документації дають змогу використовувати прогресивні способи машинної її обробки і полегшують передачу документації на інші підприємства.

Стандарти ЄСТД позначають перед номером стандарту цифрою 3.

### 7.4.4 Державна система забезпечення єдності вимірювань (ДСВ)

Наповнена Національними стандартами України ДСТУ 2681, 2708, 3215, і т.д. об'єднаних заголовком «Метрологія».

Комплекс НД регламентують загальні правила і норми метрологічного забезпечення стосовно одиниць фізичних величин та їх еталонів, метрологічної термінології.

Ця система має в теперішній час особливе значення. У сучасній промисловості затрати праці на виконання вимірювань становлять пересічно близько 10 % від загальних затрат праці на всіх стадіях створення і експлуатації продукції, а в окремих галузях промисловості досягають 50-60 % (електронна, радіо-

технічна тощо). Ефективність цих затрат визначається достовірністю і відтворюваністю вимірювань, які можна досягнути лише в умовах добре організованого метрологічного забезпечення господарства країни.

Стандарти ДСВ позначають перед номером стандарту цифрою 8.

#### **7.4.5 Система стандартів безпеки праці (ССБП)**

Ця система стандартів встановлює єдині правила і норми, що стосуються безпеки людини під час праці. Введення системи в дію повинно забезпечувати значне зниження виробничого травматизму і професійних захворювань.

Стандарти ССПБ позначаються перед номером стандарту цифрою 12.

#### **7.4.6 Нормоконтроль технічної документації (стандартизаційний контроль)**

**Мета нормоконтролю** – повне дотримання в технічних документах вимог чинних стандартів, широке використання у виробі при проектуванні стандартних і уніфікованих елементів.

Нормоконтролю підлягає така конструкторська документація: текстові документи (пояснювальна записка, інструкції, технічний опис і умови тощо), креслення та інша конструкторська документація.

Нормоконтроль – один із завершальних етапів створення технічної документації, значення якого з розвитком стандартизації постійно зростає.

Нормоконтроль на підприємстві може бути як централізованим, так і децентралізованим: це залежить від масштабів підприємства і загальної схеми організації робіт з стандартизації. При централізованому нормоконтролі відділ стандартизації має в своєму складі групу нормоконтролю або відповідального за контроль, що підпорядковані керівнику відділу. При децентралізованому нормоконтролі він здійснюється в різних підрозділах підприємства.

#### **Контрольні питання до теми 7.4**

7.4.1 Перелічіть сім стандартів державної системи стандартизації.

7.4.2 Дайте характеристику єдиній системі конструкторської документації та системі забезпечення єдності вимірювань.

7.4.3 Яка мета нормоконтролю?

#### **Тема 7.5 Порядок впровадження стандартів і державний нагляд за їх дотриманням**

##### **7.5.1 Порядок впровадження стандартів**

Впровадження стандартів повинно бути закінчено до дати набуття ним чинності. Стандарт вважається впровадженим на підприємстві (організації), якщо встановлені ним вимоги додержуються відповідно з його сферою дії і забезпечується стабільність якості виготовлення продукції.

Впровадження стандарту здійснюється відповідно до плану основних організаційно-технічних заходів. Залежно від виду стандарту цей план передбачає:

- перегляд, внесення змін або відміну чинних і розробку нових нормативно-технічних документів, що пов'язані зі змістом впровадженого стандарту;
- розробку нової технічної документації і внесення змін в чинну документацію;
- забезпечення підприємств необхідною сировиною, матеріалами, напівфабри-

катами і комплектуючими засобами, а також устаткуванням, приладами, інструментами, необхідними для випуску нової продукції;

- зміну технологічних процесів, режимів роботи, автоматизацію і механізацію виробничих процесів, підвищення точності виготовлення продукції;

- реконструкцію, розширення, будівництво нових виробничих потужностей і організацію спеціалізованих виробництв;

- підвищення кваліфікації, підготовку кадрів і інші заходи, необхідні для впровадження стандарту.

Завершення робіт з впровадження стандарту оформлюється актом, який затверджує керівник (заступник) підприємства (організації). У роботі комісії беруть участь представники підприємства, яке впроваджує стандарт, і представник основного споживача.

### **7.5.2 Державний нагляд за впровадженням і дотриманням стандартів**

Державний нагляд за «впровадженням і дотриманням стандартів» проводиться згідно з Законом України «Про Стандартизацію».

*Державний нагляд* - це діяльність спеціально уповноважених органів державної виконавчої влади щодо контролю - за додержанням суб'єктами підприємницької діяльності стандартів, норм і правил при виробництві та випуску продукції (виконанні робіт, наданні послуг) для забезпечення інтересів суспільства і споживачів, її належної якості, безпечної для життя, здоров'я, майна людей і навколишнього середовища.

Державний нагляд здійснює Держстандарт України, його територіальні органи, а також інші спеціально уповноважені органи. Державний нагляд здійснюється за планами органів державного нагляду або за зверненням громадян.

Об'єктами державного нагляду є:

- продукція виробничо-технічного призначення, товари народного споживання, продукція тваринництва та рослинництва, продукти харчування, а також продукція, що пройшла сертифікацію, - на відповідність стандартам, нормам і правилам;

- продукція імпортна - на відповідність чинним в Україні стандартам, нормам і правилам стосовно безпеки життя, здоров'я й майна людей і навколишнього середовища;

- продукція експортна - на відповідність стандартам, нормам, правилам або окремим вимогам, що обумовлені договором (контрактом);

- атестовані виробництва - на відповідність установленим вимогам щодо сертифікації продукції.

За порушення вимог стандартів органи держнагляду:

- дають вказівку, спрямовану на усунення виявлених недоліків;

- забороняють відвантаження недоброякісної продукції;

- в необхідних випадках висувають пропозицію про притягнення до адміністративної і судової відповідальності осіб, винних у випуску недоброякісної продукції.

Поряд з проведенням державного нагляду проводиться і відомчий нагляд за впровадженням і додержанням стандартів, норм, правил. Завдання його аналогічні до завдань державного нагляду.

### 7.5.3 Техніко-економічна ефективність стандартизації

Стандартизація є невід'ємною часткою робіт при створенні нової техніки і характеризується високою економічною ефективністю.

Економічна ефективність є наслідком економії грошових, матеріальних, людських та інших ресурсів, яка відбувається за рахунок впровадження нових або оновлених НТД і визначається тим, що стандартизація дозволяє:

- > привести показники якості продукції у відповідність з досягненнями науки і техніки;
- > комплексно ув'язати властивості сировини, матеріалів, напівфабрикатів і готової продукції;
- > скоротити терміни, трудомісткість розробки і освоєння виробництва нових видів продукції;
- > впорядкувати системи документації;
- > підвищити рівень спеціалізації виробництва;
- > здійснити нагляд за впровадженням і додержанням стандартів в народному господарстві.

Економічну ефективність стандартизації можна визначити в масштабі всього народного господарства, галузі виробництва або окремого підприємства. Для цього виконують спеціальні економічні розрахунки, які проводяться відповідно до чинних нормативних документів.

Виконання робіт з стандартизації забезпечує:

- > скорочення циклів проектування, підготування виробництва, виготовлення і ремонту виробів - економія часу;
- > зменшення затрат праці, матеріалів, енергії - економія ресурсів;
- > зменшення затрат на проектування, собівартості виготовлення, затрат на ремонти - економія коштів.

Методологічна оцінка економічної ефективності стандартизації (ЕЕС) базується на таких постулатах:

- > ЕЕС трактується як єдиний комплексний результат економічних, організаційних та технічних заходів;
- > величина економічної ефективності визначається з врахуванням масштабів впровадження заходів зі стандартизації;
- > величина економічної ефективності визначається упродовж всього періоду дії стандарту;
- > ступінь ефективності визначається порівнянням всіх затрат на розробку і впровадження стандартів з величиною ефекту від його застосування. Величину економічної ефективності від впровадження стандарту можна подати у вигляді формули

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{np} + \mathcal{E}_e + \mathcal{E}_{ek},$$

де  $\mathcal{E}_{np}$ - економічна ефективність стандартизації на стадії проектування;  $\mathcal{E}_e$  - еко-

номічна ефективність стандартизації при виготовленні;  $\varepsilon_{ек}$  – економічна ефективність стандартизації при експлуатації.

Економічна ефективність на кожній стадії є сумою ефектів від змін виробничих фондів і ефекту від економії на щорічних поточних витратах.

Ефективність змін виробничих фондів визначається з врахуванням рентабельності

$$\varepsilon_{в.ф.} = [P_{в.ф.} - P'_{в.ф.}] \cdot K_p,$$

де  $P_{в.ф.}$  - виробничі фонди до стандартизації;  $P'_{в.ф.}$  - виробничі фонди після стандартизації;  $K_p$  - коефіцієнт рентабельності виробничого фонду.

Економія поточних витрат виражається у зниженні собівартості продукції

$$\varepsilon_{н.в.} = (C - C') \cdot n,$$

де  $C$  - поточні витрати на одиницю продукції до стандартизації;  $C'$  - поточні витрати на одиницю продукції після стандартизації;  $n$  - кількість одиниць продукції.

Роботи з стандартизації вимагають затрат на розробку стандартів і його впровадження

$$B = B_p + B_в,$$

де  $B_p$  – затрати на розробку стандартів;  $B_в$  – затрати на впровадження стандартів.

Ступінь ефективності стандартизації тоді оцінюється відношенням економії до затрат, що виражаються коефіцієнтом

$$K = \varepsilon / B.$$

Проведення робіт зі стандартизації, особливо розробка і впровадження державних стандартів, має економічні, технічні і соціальні наслідки для всього народного господарства, причому вони можуть бути в різних сферах дуже суперечливі. Проте порядок, що встановлює необхідність проведення техніко-економічних розрахунків, допускає і винятки. З врахуванням різноманітності об'єктів стандартизації не завжди є можливим і доцільним визначити економічну ефективність. Це стосується:

- > стандартів, в яких техніко-економічні показники залишились незмінними порівняно з базовими;
- > загальнотехнічних і організаційно-методичних стандартів, спрямованих на встановлення порядку проведення робіт (інструкції, положення, правила і норми виробничо-технічного призначення, документація у сфері управління виробництвом, техніко-економічна інформація).

### **Контрольні питання до теми 7.5**

7.5.1 Який існує порядок впровадження стандартів?

7.5.2 У чому полягає державний нагляд за «впровадженням і додержанням стандартів»?

7.5.3 Як розрахувати величину економічної ефективності від впровадження стандарту?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Саранча Г.А. Метрологія, стандартизація, відповідність, акредитація та управління якістю / Г.А. Саранча. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 672 с.
2. Бичківський Р. В. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація / Р.В. Бичківський, П.Г. Столярчук, П.Р. Гамула. – 2-ге вид., випр. і доп. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 560 с.
3. Туяхов А.І. Практична метрологія і виміри. Навчальний посібник / А. І. Туяхов. – Севастополь: Вебер, 2003. – 288 с.
4. Саранча Г.А. Метрологія і стандартизація / Г. А. Саранча. – К.: Либідь – 1997. – 191 с.
5. Довгалюк Б. П. Метрологія. Частина 1. Системні технології / Б. П. Довгалюк Дніпропетровськ, 2001. — 124с.
6. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка / Є.С. Поліщук, М. М. Дорожовець, В.О. Яцук. та ін.– Львів: Бескид Біт, 2003. – 544 с.

навчальне видання

Конспект лекцій  
з дисципліни

**«ФІЗИЧНІ ОСНОВИ СУЧАСНОЇ МЕТОЛОГІЇ»**

(для здобувачів вищої освіти спеціальностей 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, 175 – Інформацій-но-вимірювальні технології)

Укладач

Інна МЕЛКОНОВА

Оригінал-макет

Інна МЕЛКОНОВА

Підписано до друку \_\_\_\_\_

Формат 60x84/16. Папір типограф. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. \_\_\_\_\_. Облік. видавн. арк. \_\_\_\_\_

Тираж \_\_\_\_ екз. Вид. № \_\_\_\_\_. Замовл. № \_\_\_\_\_. Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету  
імені Володимира Даля

Адреса видавництва: м. Київ, вул. Іоанна Павла II, 17.

Телефон: +38 (050) 218 04 78, факс (06452) 4 03 42

E-mail: [vidavnictvosnu.ua@gmail.com](mailto:vidavnictvosnu.ua@gmail.com)