

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**Кафедра якості, стандартизації, сертифікації та технологій
виготовлення матеріалів**

Г. Л. Комарова

МЕТРОЛОГІЯ

Конспект лекцій

Харків – 2020

Комарова Г. Л. Метрологія: Конспект лекцій. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 118 с.

Конспект лекцій призначений для поглибленого вивчення студентами основ вказаної дисципліни. Викладено основні положення метрології, теорії вимірювань та забезпечення єдності вимірювань, загальні відомості про засоби вимірювальної техніки та їх метрологічні характеристики. Детально розглянуто питання теорії похибок вимірювань і опрацювання результатів вимірювань та висвітлено питання метрологічної повірки засобів вимірювань. Розділи конспекту містять типові вимірювальні задачі та приклади їх розв'язання, а також тестові контрольні завдання для самоаналізу.

Рекомендується для бакалаврів спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Іл. 16, табл. 10, бібліогр.: 20 назв.

Конспект лекцій розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри якості, стандартизації, сертифікації та технологій виготовлення матеріалів 24 лютого 2020 р., протокол № 14.

Рецензент

проф. Е. С. Геворкян

ЗМІСТ

Передмова.....	4
Змістовий модуль 1. Метрологія та основи теорії вимірювання...5	
Тема 1. Лекція 1. Основи метрології. Терміни та визначення. Метрологія – наука про вимірювання.....	5
Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лекції 1	11
Тема 2. Лекція 2. Об’єкти вимірювань і їх міри.....	12
Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лекції 2.....	22
Тема 3. Лекція 3. Вимірювання: суть, складові та види.....	23
Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лекції 3.....	32
Тема 4. Лекція 4. Методи і методика вимірювання.....	33
Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лекції 4.....	39
Тема 5. Лекція 5. Похибки при вимірюваннях та їх визначення..	40
Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лекції 5.....	47
Тема 5. Лекція 6. Загальні відомості та оцінювання похибок вимірювання.....	48
Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лекції 6.....	57
Тема 6. Лекція 7. Опрацювання результатів вимірювання.....	58
Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лекції 7.....	72
Змістовий модуль 2. Засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) та їх вибір.....	74
Тема 7. Лекція 8. Класифікація засобів вимірювань за функціональним призначенням.....	74
Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лекції 8.....	79
Тема 8. Лекція 9. Метрологічні показники та характеристики засобів вимірювань.....	80
Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лекції 9.....	86
Тема 8. Лекція 10. Клас точності та похибки засобу вимірювання..	87
Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лекції 10.....	93
Тема 9. Лекція 11. Метрологічне забезпечення єдності вимірювань..	94
Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лекції 11.....	102
Тема 9. Лекція 12. Державна система забезпечення єдності вимірювань.....	104
Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лекції 12.....	108
Тема 10. Лекція 13. Державна метрологічна служба України...109	
Тестові контрольні завдання для самоаналізу до лекції 13.....	116
Список літератури.....	117

ПЕРЕДМОВА

В сучасних умовах розвитку економіки України зростають вимоги до якості промислової продукції. Якість продукції стає головним чинником для задоволення потреб споживачів при придбанні продукції й одним з факторів конкурентоспроможності підприємства. Однак розвиток експортних відносин в Україні показав, що продукція вітчизняних підприємств залишається ще недостатньо конкурентоспроможною на світовому ринку, більшою мірою саме за якістю. Неможливо вирішити завдання підвищення якості без забезпечення високої точності та єдності вимірювань параметрів виробів, і перш за все на етапі виробництва. Для вирішення цього завдання фахівці промисловості повинні добре володіти методами вимірювання і способами забезпечення їхньої єдності, що і складає основні завдання такої науки, як метрологія.

Взагалі метрологія поділяється на три самостійних і взаємодоповнюючих розділи – теоретичну, прикладну і законодавчу метрологію. До напрямків метрології, що знайшли застосування при забезпеченні якості промислової продукції, відносяться:

- 1) розробка загальної теорії вимірів;
- 2) розробка шляхів вимірювання, а також методів установлення точності й правильності вимірювання;
- 3) забезпечення цілісності вимірювання;
- 4) визначення одиниць фізичних величин.

При підготовці фахівців інженерних спеціальностей вивчення основ метрології, особливостей проведення вимірювань у галузях, відповідних спеціальності, має велике значення.

Конспект лекцій відповідає програмі дисципліни «Метрологія» навчального плану спеціальності «152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» і ґрунтується на вимогах, що ставлять тепер до фахівців цієї галузі.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. Метрологія та основи теорії вимірювань

ТЕМА 1. ЛЕКЦІЯ 1. Основи метрології. Терміни та визначення. Метрологія – наука про вимірювання

1.1 Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»

Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» регулюються документи про метрологію та метрологічну діяльність, відносини у сфері метрології та метрологічної діяльності. Метрологія відрізняється від інших природничих наук тим, що її фундаментальні положення приймаються за угодами, а не диктуються об'єктивними закономірностями. Це підкреслює наявність так званої **законодавчої метрології** – частини метрології, що містить положення, правила, вимоги та норми, які регулюються і контролюються державою для забезпечення єдності вимірювань. Метрологія є **теоретичною основою** вимірювальної техніки, одного з основних факторів технічного прогресу в усіх галузях діяльності людини. **Організаційною основою** метрології є метрологічна служба України. **Нормативною основою** метрології є державні стандарти, відповідні нормативні документи Держстандарту України, методичні вказівки та рекомендації [1].

1.2 Основні терміни в галузі метрологічної діяльності

Метрологія як наука зародилась задовго до нашої ери, а саме термін «метрологія» утворений із двох грецьких слів «метра» – міра і «логос» – вчення. Тому-то у дослівному перекладі «метрологія» – це вчення про міри. У сучасному розумінні «метрологія» – це наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності. На практиці застосовується також скорочене означення: «метрологія» – це наука про вимірювання. Основними термінами, якими оперує метрологія, є фізична величина, одиниця фізичної

величини, передавання розмірів фізичної величини, засоби вимірювальної техніки, метод вимірювання, методика вимірювання, результат вимірювання, похибка вимірювання, метрологічне забезпечення вимірювань, метрологічна служба, метрологічна повірка та атестація засобів вимірювальної техніки. Важливими суб'єктами метрології як науки є предмет її вивчення, а також методи і засоби метрології.

Предмет метрології – це отримання кількісної та якісної інформації про властивості фізичних об'єктів і процесів, встановлення та застосування наукових організаційних основ, розроблення технічних засобів, правил і норм, необхідних для досягнення єдності й необхідної точності вимірювань [2].

Методи метрології – це сукупність фізичних і математичних методів, які використовуються для отримання вимірювальної інформації. До методів метрології належать: планування та організація вимірювального експерименту, методи і методики вимірювань, методи відтворення, зберігання та передавання одиниць фізичних величин, методи вимірювальних перетворень сигналів, опрацювання результатів вимірювань.

Засоби метрології – це сукупність засобів вимірювальної техніки, які застосовуються для підготовки та здійснення експерименту, а також системи організації метрологічного контролю і нагляду за засобами вимірювальної техніки. До засобів метрології належать: еталони одиниць фізичних величин; стандартні зразки складу і властивостей речовин та матеріалів; робочі засоби вимірювальної техніки; система метрологічного контролю і нагляду за засобами вимірювальної техніки під час їх виробництва, застосування та ремонту. Як наука про вимірювання метрологія є частиною технічної фізики, мета якої – це вирішування науково-теоретичної проблеми вимірювальної техніки.

Розвиваючись швидкими темпами, метрологія поділяється на ряд самостійних розділів: теорія вимірювань; теорія похибок; інформаційна теорія вимірювань; теорія інформаційно-вимірювальних систем; статистичні вимірювання; вимірювання електричних величин; вимірювання магнітних величин; вимірювання неелектричних величин.

Вимірювальна техніка є одним із головних факторів технічного прогресу і її рівень визначає загальний рівень розвитку науки і техніки.

Однією з найважливіших характеристик вимірювань є точність, яка характеризує міру відповідності наукового знання про досліджувані об'єкти теорії, сформульованого з використанням кількісних відношень, що отримані в процесі вимірювального експерименту.

Тому точність на кожному етапі розвитку науки і техніки є кінцевою. Прагнучи до пізнання світу та підвищення продуктивності праці, людина в процесі накопичення знань та досвіду розробляє методи пізнання – найбільш ефективні засоби одержання нових знань. Вимірювальна інформація – одна із складових частин пізнання людиною матеріального світу за допомогою експериментальних методів пізнання. Експериментальна інформація безперервно вдосконалюється у процесі покращення вимірювального експерименту. При цьому відбуваються постійне уточнення вимірювальної інформації, вивільнення її від супутніх похибок і наближення до абсолютної істини. В результаті аналізування отриманої вимірювальної інформації людина пізнає навколишнє середовище.

До *методів експериментальної інформатики* відносять: сприйняття, порівняння, відтворення, спостереження, контроль, вимірювання, розпізнавання образів, діагностику, ідентифікацію, випробування та експериментальні дослідження.

Сприйняття – це відображення найпростіших характеристик довколишнього середовища органами чуття людини або спеціальними технічними засобами (сенсорами, індикаторами) – сигналами, зручними для подальшого використання.

Порівняння – це відображення подібності чи відмінності об'єктів логічним висновком. Відомо, що більшість матеріальних об'єктів виявляють себе одночасно у двох відношеннях, а саме еквівалентності і порядку. Відповідно, і порівняння об'єктів здійснюється за еквівалентністю та за інтенсивністю, тобто за розміром.

Відтворення у метрології – це створення матеріальних об'єктів, що характеризуються фізичною величиною наперед

заданого значення за допомогою спеціального технічного засобу, який називають *мірою*.

Спостереження – це відображення властивості, залежності, стану або ситуації словесним чи графічним описом. Спостереження є таким методом пізнання, який здійснюється за допомогою як органів чуття людини, так і спеціальних технічних засобів. Спостереження – це складова частина всіх експериментальних методів пізнання. Як метод пізнання спостереження має задовольняти такі основні вимоги: планомірність, цілеспрямованість й систематичність.

Вимірювання – це відображення вимірюваних величин їхніми значеннями шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів. Вимірювання є комплексною інформаційною процедурою, що ґрунтується на використанні щонайменше двох методів пізнання: відтворення і порівняння.

Контроль – це відображення відповідності між станом об'єкта і заданою нормою відповідним висновком (придатний чи непридатний). В техніці переважає контроль фізичних величин та параметрів процесів. Контроль параметрів – це відображення співвідношення між контрольованим параметром та нормою.

Ідентифікація – це відображення залежності між величинами, що характеризують матеріальний об'єкт, математичною або логічною моделлю. Ідентифікацію розпочинають із визначення типу моделі об'єкта, що відображає залежність між його параметрами, після чого визначають основні параметри моделі, ступінь, точність і вірогідність оцінки.

Діагностика – це відображення загального стану об'єкта та причин цього стану діагнозом із зазначенням особливостей стану і локалізацією відхилень від норм.

Розпізнавання об'єктів – це відображення даного об'єкта за сукупністю його властивостей одним із класів множини цих об'єктів. Розпізнавання об'єктів проводиться шляхом сприйняття їхніх характеристик, порівняння й аналізу на основі попередньої класифікації даної множини об'єктів.

Випробування – це відображення стану досліджуваного об'єкта під час дії на нього сукупності регламентованих факторів сертифікатом.

Експериментальні дослідження – це відображення складного матеріального об'єкта або ситуації, що характеризується сукупністю взаємопов'язаних величин, системою відповідних моделей.

Важливе місце серед експериментальних методів пізнання займають вимірювання, за допомогою яких отримують необхідну кількісну та якісну інформацію. Наявність вимірювальної інформації про об'єкт дослідження дає можливість більш ефективно використовувати решту експериментальних методів пізнання – від спостереження до експериментального дослідження.

Існують три основні складові метрології як науки: *науково-теоретична метрологія, законодавча метрологія та прикладна метрологія.*

В таблиці 1.1 наведені завдання та зміст основних складових метрології. Функції всіх трьох розділів науково-теоретичної, законодавчої та прикладної метрології взаємопов'язані й скеровані на вирішення актуальних проблем забезпечення єдності та потрібної точності вимірювань.

Таблиця 1.1 – Завдання та зміст основних складових метрології

Складова метрології	Завдання та зміст
1	2
Науково-теоретична метрологія	<ul style="list-style-type: none"> - розробка та удосконалення теоретичних основ метрології; - розробка нових принципів та методів вимірювань, проведення фізичних досліджень з метою використання найновіших досягнень науки для створення нових методів вимірювань та засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), підвищення точності вимірювань; - створення та удосконалення наукових основ єдності мір та вимірювань, створення наукових основ державних випробувань вимірювальних засобів, розробка та удосконалення нормативної документації в галузі вимірювальної техніки; - створення та удосконалення наукових основ державної служби стандартних довідкових даних та стандартних зразків, розробка і удосконалення системи збору, апробації, зберігання та поширення стандартних довідкових даних

Продовження таблиці 1.1

1	2
Законодавча метрологія	<ul style="list-style-type: none"> - узаконення (стандартизація) термінів та їх означень, систем та сукупності одиниць, системи еталонів, мір фізичних величин та ЗВТ; - узаконення класів точності ЗВТ та методик оцінювання їх точності, а також стандартних довідкових даних, методик перевірки та контролю ЗВТ, методик оцінювання відповідності та контролю якості продукції
Прикладна метрологія	<ul style="list-style-type: none"> - організація державної служби єдності мір та вимірювань, організація та здійснення періодичної повірки ЗВТ, які знаходяться в експлуатації, а також здійснення державних випробувань нових ЗВТ, контроль за станом вимірювального господарства підприємств; - організація та налагодження роботи служби контролю за дотриманням стандартів та технічних умов під час виробництва, випробувань, контролю якості та оцінювання відповідності продукції; - організація державної служби стандартних довідкових даних та стандартних зразків, видання офіційних довідників зі значеннями констант та властивостей речовин і матеріалів, виготовлення та випуск стандартних зразків та організація служби їх атестації

Існує тісний взаємозв'язок метрології та стандартизації.

Стандартизація – це діяльність, яка направлена на розробку та встановлення вимог, правил, норм чи характеристик.

Мета стандартизації – це досягнення оптимального ступеня впорядкування в будь-якій галузі, результат при цьому – підвищення оптимального ступеня відповідності об'єктів стандартизації їх функціональному призначенню. Стандарти містять вимоги до матеріалів, виробів, технічної та технологічної документації, методів вимірювань та досліджень.

Взаємозв'язок метрології та стандартизації характеризується тим, що вимірювання, з одного боку, регламентуються різними нормативними документами на засоби вимірювальної техніки та методиками, а з іншого боку, дотримання вимог нормативних документів забезпечується методами і засобами вимірювальної техніки, контролем за їх виконанням.

Тому-то метрологія і стандартизація в Україні об'єднані в єдину державну службу під керівництвом спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади.

Отже, метрологія є науковою основою сучасної вимірювальної техніки, при цьому функції прикладної і законодавчої метрології підпорядковані положенням теоретичної метрології. У свою чергу положення теоретичної метрології практично перевіряють та реалізують функції прикладної та законодавчої метрології.

Контрольні питання до лекції 1

- 1 Що таке метрологія та предмет метрології?
- 2 Що таке методи метрології та засоби метрології?
- 3 Які є основні складові метрології?
- 4 Які основні завдання та зміст науково-теоретичної метрології?
- 5 Які основні завдання та зміст законодавчої метрології?
- 6 Які завдання та зміст практичної метрології?
- 7 Назвіть основні методи експериментальної інформатики.
- 8 Розкрийте поняття метрології «вимірювання», «контроль», «діагностика», «експериментальні дослідження».

ТЕСТОВІ КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ ДО ЛЕКЦІЇ 1

Q1 Наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності – це ...

- V1 біологія;
- V2 фізика;
- V3 метрологія;
- V4 оптика.

Q2 Сукупність фізичних і математичних методів, які використовуються для отримання вимірювальної інформації, мають назву ...

- V1 засоби метрології;
- V2 метрологічна атестація;

- V3 вимірювання;
- V4 методи метрології.

Q3 Що таке відображення вимірюваних величин їхніми значеннями шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів?

- V1 порівняння;
- V2 лічба;
- V3 контроль;
- V4 вимірювання.

Q4 Доповніть відповідь. ... – це сукупність засобів вимірювальної техніки, які застосовуються для підготовки та здійснення експерименту, а також системи організації метрологічного контролю і нагляду за засобами вимірювальної техніки.

- V1 засоби метрології;
- V2 еталони;
- V3 робочі засоби вимірювальної техніки;
- V4 методи метрології.

Q5 Вимірювальна інформація – це ...

V1 значення фізичної величини, яке знайдене внаслідок її вимірювання;

V2 значення фізичної величини, яке знайдено експериментально, але відрізняється від істинного значення;

V3 параметр, в якому міститься інформація про значення вимірюваної величини;

V4 інформація про значення вимірюваних величин, може бути в аналоговій та цифровій формах.

ТЕМА 2. ЛЕКЦІЯ 2. ОБ'ЄКТИ ВИМІРЮВАНЬ І ЇХ МІРИ

2.1 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.

Вимірювання є предметом вивчення метрології. Метрологія як наука ґрунтується на системі понять. Поняття – це одиниця думки. Поняття науки – це основа її мови. Вихідним поняттям метрології є поняття про *фізичну величину*.

Згідно з ДСТУ 2681 – 94 *фізична величина* – це якісна властивість об'єкта, що має певний кількісний вміст [3].

Об'єкт вимірювання – це матеріальний об'єкт, одна чи декілька властивостей якого підлягають вимірюванню. Вимірювання являє собою знаходження значень фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Об'єктами вимірювань є фізичні величини, крім того можна виміряти і економічні показники, показники якості, інформацію з біології, психології, медицини, педагогіки, соціології тощо.

Фізична величина (ФВ) являє собою властивість, спільну в якісному відношенні багатьом матеріальним об'єктам, та індивідуальну – кількісне відношення у кожного з них. Метрологія оперує рядом фізичних величин: довжина, температура, час, тиск, сила, швидкість, маса, об'єм, щільність. Звичайно термін «фізична величина» застосовується щодо тих властивостей чи характеристик, що можна оцінити кількісно.

2.2 Основне рівняння вимірювання

Відмінність ФВ, визначена різними властивостями явищ, відображає лише одну їх сторону – якісну. А поняття ФВ містить й іншу сторону – кількісну, що є індивідуальною для кожного об'єкта і оцінюваною числовим виразом величину. Останнє дає

можливість порівнювати фізичні величини і виконувати над ними математичні операції [4].

Вимірювання фізичних величин є одним з найважливіших експериментальних методів пізнання, що ґрунтується на принципі відображення, в якому чітко розрізняється предмет відображення, в даному випадку ФВ певного розміру, і результат відображення, тобто значення ФВ. Вимірювання починають експериментально, а завершують аналітично їх значеннями, тому методологічно виправдана і відповідна форма рівняння вимірювання. Основною операцією, що дозволяє отримати результат вимірювання, є операція порівняння вимірюваної величини Q , та величини, прийнятої за зразок q . Відома аксіома Евдокса-Архімеда

$$Q = X [q], \quad (2.1)$$

де Q – значення вимірюваної величини;

X – числове значення вимірюваної величини;

$[q]$ – одиниця вимірювання фізичної величини.

Це співвідношення називають **основним рівнянням вимірювання**.

Значення фізичної величини Q – це відображення фізичної величини у вигляді числового значення величини з позначенням її одиниці (наприклад: 20 мм – значення лінійної величини; 75 кг – значення маси тіла; HV 190 – число твердості за Бринелем).

Числове значення фізичної величини X – число, що дорівнює відношенню розміру фізичної величини, яка вимірюється, до розміру одиниці цієї фізичної величини чи кратної (часткової) одиниці.

Розрізняють *істинне* та *умовно істинне (дійсне)* 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, яке **називають дійсним значенням фізичної величини, або 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.

Теоретично відношення двох розмірів повинно бути визначеним, не випадковим числом. Але практично розміри порівнюються в умовах безлічі випадкових і не випадкових обставин, точний облік яких неможливий. Тому при багаторазовому вимірі однієї і тієї ж величини постійного розміру результат, що називається відліком по шкалі відносин, виходить весь час різним. Це положення, встановлене практикою, формулюється у вигляді *аксіоми, що є основним постулатом метрології: відлік є випадковим числом.*

Відмінність результату вимірювання від істинного значення пояснюється недосконалістю засобів вимірювань, недосконалістю способу застосування засобів вимірювань, впливом 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 за визначенням присвоєно числове значення, рівне одиниці, *називають одиницею фізичної величини.* Розмір одиниці фізичної величини може бути різним. Однак виміри повинні виконуватися в загальноприйнятих одиницях.

Якщо допустити довільність у виборі одиниць, то результати вимірювання виявляться непорівнянними між собою, тобто порушиться єдність вимірювання. Щоб цього не сталося, одиниці вимірювання встановлюються за певними правилами і закріплюються законодавчим шляхом.

Спільність одиниць у міжнародному масштабі встановлюють міжнародними угодами. В Україні діє ДСТУ 3561.0-97 «Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин. Міжнародна система одиниць. Основні положення, назви та позначення», відповідно до якого в нашій країні введена до обов'язкового застосування міжнародна система одиниць (СІ).

2.3 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 повсякденному житті різні одиниці фізичних величин, що гальмувало розвиток торгівлі, промисловості, науки й інших сфер людської діяльності в міждержавних відносинах, що розширюються. Спроби вирішення 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 дм³ при температурі 4°С (вода при цій температурі має максимальну густину). Як одиниці площі і об'єму були прийняті 1 м² і 1 м³.

У другій половині XIX століття, після підписання Метричної конвенції (20 травня 1875 р.), метрична система одержала міжнародне визнання. Комісія Міжнародного комітету мір і ваг підготувала пропозицію щодо міжнародної системи одиниць, що була прийнята в **1960 р.** на XI Генеральній конференції мір і ваг (*Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM, ГКМВ*). Система одержала назву Міжнародна система одиниць (*Système Internationale d'unités*), (скорочено SI, СІ). [3]

Система величин – це сукупність величин, серед яких одні умовно вважаються незалежними, а інші на основі фізичних законів виражаються через них. Незалежні величини такої системи є основними, а всі інші – похідними величинами. Відповідно одиниці основних величин мають назву **основні одиниці**, а похідних величин – **похідні одиниці**.

У Міжнародну систему одиниць увійшло сім 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, розташованих на відстані 1 м один від іншого у вакуумі, викликає би на кожній ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії, рівну $2 \cdot 10^{-7}$ Н;

- кельвін – дорівнює $1/273,16$ частини термодинамічної температури потрійної точки 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 $540 \cdot 10^{12}$ Гц, енергетична сила світла якого в цьому напрямку складає $1/683$ Вт/ср (ват на стерадіан).

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

Для позначення одиниць використовуються скорочення від назв величин, причому якщо назва величини походить від прізвища, то перша буква у позначенні повинна бути великою, наприклад, ампер – *A*, вольт – *V*, ват – *W*, ом – *Om*.

У позначеннях одиниць, для яких назва величини не походить від прізвища, перша буква є малою.

Наприклад: метр – *m*, секунда – *s*, кілограм – *kg*, крапка в кінці позначення одиниці не ставиться.

Одиниця, що у цілу кількість разів більша за системну одиницю, має назву *кратна одиниця*. Наприклад: 1 кілоом = 1000 *Om*, 1 мегават = 10^6 *Wat*.

Одиниця, що у цілу кількість разів менша за системну одиницю, має назву *часткова одиниця*. Наприклад: 1 сантиметр = 0,01 метра, 1 мілівольт = 0,001 вольта.

У позначеннях одиниць, назви яких походять від прізвищ, перша буква має бути велика, наприклад, W, Вт; Wб, Вб; Ω, Ом. Позначення одиниць проставляються тільки після числових значень величин в один рядок з ними.

Одиниці системи позначаються літерами латинського, грецького (міжнародні позначення) або українського алфавітів, а також спеціальними символами біля літер.

Одночасно з прийняттям Міжнародної системи одиниць XI Генеральна конференція мір і ваг 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 2.1 подано найменування і позначення приставок СІ.

Таблиця 2.1 – Найменування і позначення приставок СІ для утворення десяткових кратних і часткових одиниць і їх множники

<i>Найменування</i>	<i>Приставка</i>		<i>Множник</i>	<i>Приклади</i>
	<i>Позначення</i>			
	<i>між-народне</i>	<i>українське</i>		
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 – дм
Санти	c	с	10^{-2}	сантиметр – см
Мілі	m	м	10^{-3}	мілівольт – мВ
Мікро	μ	мк	10^{-6}	мікроампер – мкА
Нано	n	н	10^{-9}	наносекунда – нс

Позасистемні одиниці

Позасистемні одиниці підрозділяються на три види:

♦ одиниці, що одержали поширення нарівні з одиницями СІ й у сполученні з ними (таблиця 2.2);

♦ одиниці, застосовувані в спеціальних галузях науки і техніки (таблиця 2.3).

Таблиця 2.2 – 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	хв	60 с
Час	h	год	3600 с
Доба	d	доб	86400 с
Градус	... °	... °	($\pi/180$) рад
Хвилина	... '	... '	($\pi/10800$) рад
Секунда	... "	... "	($\pi/648000$) рад
Літр	l	л	10 ⁻³ м ³
Градус Цельсія	... °C	... °C	За величиною градус Цельсія дорівнює градусу Кельвіна

Таблиця 2.3 – Одиниці, що застосовуються в спеціальних галузях науки і техніки

Найменування	Позначення		Співвідношення з одиницею СІ	Область застосування
	міжнародне	українське		
Астрономічна одиниця	AU	а.о.	1,49598·10 ¹¹ м	Астрономія
світовий рік	l.y.	св. рік	9,4505·10 ¹⁵ м	
парсек	pc	пк	3,0857·10 ¹⁶ м	
Діоптрія	-	дітр	1 м ⁻¹	Оптика
Гектар	ha	га	10 ⁴ м ²	Сільське і лісове господарство
Електронвольт	eV	eВ	1,60219·10 ⁻¹⁹ Дж	Фізика

Одиниця фізичної величини, згідно з ДСТУ 2681 – 94, – це певний розмір величини, прийнятий за угодою Генеральної

конференції мір і ваг для кількісного відображення однорідних з нею величин.

Суть вимірювання полягає у порівнянні розміру вимірюваної величини з деяким її значенням, прийнятим за одиницю.

Отже, за означенням **одиниця фізичної величини** – це такий розмір величини, за якого числовому значенню величини присвоєно значення 1 (один). Оскільки розмір величини існує об'єктивно, то *числове значення величини залежить від розміру одиниці*.

Приклад 2.1. Довжина стержня дорівнює 12 дюймів (числове значення 12) або 294 міліметри (числове значення 294), так як $12 \text{ дюймів} \times 24,5 \text{ міліметра} / \text{дюйм} = 294 \text{ міліметри}$, тобто числове значення дорівнює 294. Висновок, саме числове значення величини без зазначення одиниці не дає однозначного відображення розміру величини. Під час вимірювань величину можна порівнювати не тільки з розміром одиниці, але також з іншим розміром, однозначно пов'язаним з розміром одиниці.

Приклад 2.2. Довжина стержня 0,68 метра (числове значення 0,68) дорівнює *68 сантиметрам* (числове значення 68), або *680 міліметрам* (числове значення 680).

2.4 Розмірність фізичних величин, правила утворення розмірностей

Якісною характеристикою вимірюваної величини є її **розмірність**. Розмірність позначають символом *dim*, який є похідним від слова *dimention*.

Розмірністю основної фізичної величини є умовний символ цієї фізичної величини у цій системі величин [5].

Розмірність основних фізичних величин позначають відповідними заголовними літерами. Наприклад, розмірність часу $\text{dim } t = T$, розмірність маси $\text{dim } m = M$, розмірність сили струму $\text{dim } I = I$.

Розмірність похідної фізичної величини – це вираз, що відображає її зв'язок з основними величинами певної системи величин і дорівнює добутку розмірностей основних величин, які піднесені до відповідного степеня n_i

$$\dim X = [X] = M^{n1} \cdot T^{n2} \cdot L^{n3} \cdot I^{n4} \cdot Q^{n5} \cdot N^{n6} \cdot Y^{n7} . \quad (2.2)$$

Наприклад, розмірність швидкості v у системі величин L, M, T – $\dim v = L \cdot T^{-1}$.

Для формул розмірностей похідних величин використовуються такі правила:

1) розмірність правої і лівої частини рівнянь мають бути однаковими, оскільки порівнюватися між собою можуть тільки однакові властивості;

2) розмірність добутку декількох величин дорівнює добутку їх розмірності. Якщо залежність між величинами має вигляд

$$Q = A \cdot B \cdot C, \quad (2.3)$$

$$\dim Q = \dim (A \cdot B \cdot C) = \dim A \cdot \dim B \cdot \dim C ; \quad (2.4)$$

3) розмірність частки при діленні однієї величини на іншу дорівнює відношенню їх розмірності, тобто

$$Q = A/B, \quad (2.5)$$

$$\dim Q = \dim (A/B) = \dim A / \dim B ; \quad (2.6)$$

4) для величини, що підноситься до ступеня, тобто

$$Q = A^n , \quad (2.7)$$

розмірність підноситься до того ж ступеня

$$\dim Q = \dim A^n = \dim^n A . \quad (2.8)$$

Приклад 2.3. Електричний опір в 1 Вт – розмірність:

$\dim \rho = ML^{-3} = (\text{кг}/\text{м}^3, \text{г}/\text{мм}^3)$; електрична провідність в 1 См (сіменс) – $\dim G = L^{-2}M^{-1}T^3I^2 = \text{м}^{-2}\text{кг}^{-1}\text{с}^3\text{А}^2$.

Якщо сила, згідно з другим законом Ньютона, $F=ma$, де прискорення $a=v/t$, то $\dim F = \dim m \dim a = ML/T^2 = LMT^{-2}$.

Поняття розмірності широко використовується для переведення одиниць з однієї системи в іншу; для перевірки

правильності складних розрахункових формул, отриманих в результаті теоретичного висновку; при з'ясуванні залежності між величинами.

Контрольні питання до лекції 2

- 1 Що таке фізична величина?
- 2 Що таке позначення фізичної величини? Наведіть приклади позначення.
- 3 Що таке вимірювана величина та розмір фізичної величини?
- 4 Що таке значення вимірюваної величини та одиниця вимірювання?
- 5 Що таке істинне та дійсне значення фізичної величини?
- 6 У чому полягає основний постулат метрології?
- 7 Що таке результат вимірювання та вимірювальна інформація?
- 8 Що таке система фізичних величин? Назвіть одиниці системи одиниць.
- 9 Як позначаються одиниці фізичних величин?
- 10 Що таке розмірність величини? Які існують правила для формул розмірностей похідних величин?

ТЕСТОВІ КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ ДО ЛЕКЦІЇ 2

Q1 Доповніть відповідь:

Сукупність величин, серед яких одні умовно вважаються незалежними, а інші на основі фізичних законів виражаються через них, має назву ...

- V1 система величин;
- V2 основні одиниці;
- V3 еталони;
- V4 аналогова фізична величина.

Q2 Перевагами системи SI є:

- V1 постійний розвиток, універсальність;
- V2 універсальність;
- V3 охоплення великої області вимірів;

V4 міжнародність;

V5 доступність.

Q3 Безрозмірні фізичні величини:

V1 дециметри;

V2 децилітри;

V3 децибели;

V4 децигерци.

Q4 Якщо величина в 10 разів більше, тоді використовують приставку:

V1 кіло;

V2 мілі;

V3 деци;

V4 піко.

Q5 Одна мікросекунда – це:

V1 10^{-3} с;

V2 10^{-6} с;

V3 10^3 с;

V4 10^6 с.

ТЕМА 3. ЛЕКЦІЯ 3. Вимірювання: суть, складові та види

3.1 Вимірювання як процес отримання кількісної інформації про вимірювальну величину

Вимірювання фізичних величин є одним з найважливіших експериментальних методів пізнання, що ґрунтується на принципі відображення, в якому чітко розрізняється предмет відображення – це фізична величина певного розміру, і результат відображення – це значення фізичної величини.

Вимірювання – це знаходження значення фізичної величини чи її параметра експериментально за допомогою спеціальних технічних засобів, що забезпечують порівняння величини з *одиницею*, а також, якщо необхідно, за допомогою виконання певних *обчислювальних процедур*.

Суть вимірювання – це порівняння вимірюваної величини з деяким її значенням, прийнятим за *одиницю*. Будь-яке

вимірювання здійснюється за допомогою обов'язкового виконання фізичного експерименту, в якому взаємодіють *об'єкт вимірювання* і *засоби вимірювальної техніки*, що мають *нормовані метрологічні властивості*. Основні компоненти вимірювального процесу наведені на рисунку 3.1.

Об'єктами вимірювань можуть бути фізичні тіла та їх системи, речовини та їх стани, а також пов'язані з ними фізичні явища. Так, об'єктом вимірювання може бути електричний трансформатор, що має декілька обмоток на осерді (система фізичних тіл), а також електромагнітне поле, яке створюється струмами, що протікають по обмотках (пов'язане з системою тіл явище). Осердя трансформатора характеризується геометричними розмірами, масою, магнітною проникністю, механічними і тепловими властивостями. Кожна з обмоток трансформатора має електричний опір, реактивний опір на певній частоті, опір ізоляції, об'єм, масу.



Рисунок 3.1 – Основні компоненти вимірювального процесу

Отже, кожен з об'єктів вимірювання має різноманітні властивості чи якості, які мають певний кількісний вміст і є *фізичною величиною*, яку можна вимірювати.

Основними операціями будь-якого вимірювання є відтворення розміру одиниці та порівняння з ним розміру вимірювальної величини [6].

Розмір вимірювальної величини може істотно відрізнятися від розміру одиниці, тоді для можливості їх порівняння

застосовують *масштабне перетворювання* вимірюваної величини чи одиниці. Можуть виникати технічні проблеми точного відтворення розміру одиниці певної фізичної величини, тоді перед операцією порівняння виконують перетворення фізичної величини в іншу величину, для якої відтворення одиниці є простішим.

Часто на практиці для отримання результату вимірювання необхідно здійснити *обчислення*. Отже, перелічені операції, згідно з ДСТУ 2681-94, можуть бути виконані окремими пристроями, а саме, *вимірювальними пристроями*, до яких належать *міри, вимірювальні перетворювачі, компаратори та обчислювальні компоненти*.

Пристрої, які реалізовані у формі комплексних пристроїв, мають назву *вимірювальні засоби*, до яких належать *вимірювальні прилади, вимірювальні системи, вимірювальні канали, вимірювальні системи та вимірювальні установки*. У засобах вимірювань реалізовані всі необхідні вимірювальні операції, тобто за їх допомогою безпосередньо отримують результат вимірювання.

Вимірювальні пристрої та засоби вимірювань об'єднують у так звані *засоби вимірювальної техніки (ЗВТ)*, які обов'язково мають *нормовані метрологічні властивості*, а саме, діапазон вимірювань, клас точності, швидкодія, чутливість та умови застосування. Ці властивості (характеристики) вказують у нормативно-технічній документації на засіб. ЗВТ використовують в певних умовах, серед них напруга та частота живлення, температура довкілля, тиск та вологість, напруженість магнітного та електростатичного поля, інтенсивність електромагнітного поля, рівень радіації та механічних вібрацій, стрясань та ударів. Під час вимірювання необхідно контролювати і враховувати усі величини, так як вони не є вимірюваними, однак такими, що впливають на роботу ЗВТ, змінюючи їх характеристики та результати вимірювань.

Існує суб'єкт вимірювання – це *експериментатор*, який може брати безпосередню участь у виконанні вимірювального експерименту.

В інших випадках, наприклад, в системах автоматичного керування технологічними процедурами, вимірювальний процес

здійснюється автоматично і експериментатор виконує функцію нагляду. Від експериментатора залежить якість виконаного вимірювального експерименту і його результатів. Якщо неправильно записані числові значення результатів чи одиниць, експериментатор може бути причиною появи *промахів*, тобто завідомо неправильних відхилень результатів від істинних значень величин. Часто від вміння і досвіду експериментатора залежить успіх та якість виконання вимірювань.

3.2 Загальна класифікація вимірювань

Фізичні величини та залежності між ними є найбільш поширеними характеристиками матеріальних об'єктів та процесів. Як було зазначено вище, вимірювання здійснюється за допомогою обов'язкового виконання фізичного експерименту, в якому взаємодіють об'єкт вимірювання і засоби вимірювальної техніки, а також здійснюються певні обчислювальні процедури над отриманими результатами. Вимірювання можна характеризувати з різних сторін, враховуючи їх різні класифікаційні ознаки, до яких належать: відсутність чи наявність в процедурі вимірювання перетворення роду вимірюваної величини та обчислення її значення за відомими фізичними залежностями; вид рівняння вимірювання; призначення вимірювання для незмінних чи змінних в часі вимірюваних величин; особливості визначення похибок вимірювань; наявність чи відсутність розмірності у вимірюваної величини; співвідношення між кількістю вимірюваних фізичних величин та кількістю вимірювань.

Вид вимірювання – це спосіб набуття числового значення вимірюваної величини. Види вимірювання показано на рисунку 3.2.

Принцип вимірювання – це фізичний закон (ефект, явище), на якому ґрунтується вимірювання, це наукова основа вимірювання.

За фізичним принципом, покладеним в основу вимірювань, а також залежно від галузі науки і технології розрізняють *електричні, магнітні, механічні, акустичні, оптичні, квантові, хімічні* вимірювання.

За способом порівняння з мірою розрізняють такі вимірювання (методи): безпосереднього оцінювання, порівняння з мірою та комбіновані.

За способом отримання результату розрізняють *прямі та непрямі* вимірювання, які поділяються на *опосередковані, спільні, сукупні* вимірювання:

– *прямі виміри* – виміри, при яких шукане значення величини знаходять безпосередньо за показниками засобів вимірювання. Наприклад, вимір маси на вагах, довжини лінійкою;

– *непрямі виміри* – виміри, при яких шукане значення величини знаходять на підставі відомої залежності між цією величиною і величинами, значення яких набуті прямими вимірами. Наприклад, площу прямокутника визначають за результатами вимірювання його сторін, щільність твердого тіла – за результатами вимірювання його маси і об'єму;

– *сукупні виміри* визначають розв'язанням системи рівнянь декількох однойменних величин, що отримуються при прямих вимірах різних поєднань цих величин. Наприклад, необхідно визначити масу окремих гир A_1 , A_2 , A , але немає засобів, які дали б можливість виміряти безпосередньо ці величини, а є засоби, що дозволяють визначити суми будь-яких двох з вказаних величин. Тоді, вимірюючи різні поєднання величин, отримаємо $A_1 + A_2 = a$, $A_1 + A_3 = b$, $A_2 + A_3 = z$, де a , b , z – результати вимірювання відповідних пар розмірів величин. Вирішивши систему рівнянь, можна визначити величини A_1 , A_2 , A_3 ;

– *спільні виміри* – це одночасно виміри двох або декількох неоднорідних величин для знаходження залежності між ними. Наприклад, ряд одночасних, прямих вимірювань електричного опору провідника і його температури для встановлення залежності опору і температури. Вимір струму при різних значеннях напруги для перевірки закону Ома.

За характером залежності вимірюваної величини від часу розрізняють: *статичні* (наприклад, вимір діаметра деталі при нормальній температурі) *та динамічні виміри* (наприклад, вимір змінної напруги електричного струму, виміри миттєвих значень швидкоплинних процесів: пульсацій, вібрацій, імпульсів).

Дають можливість прийняти рішення чи треба при конкретних вимірах враховувати швидкість зміни вимірюваної величини.

За способом вираження результатів вимірювання:

– *абсолютні виміри* – засновані на прямих вимірах однієї або декількох основних величин і (чи) використанні значень фізичних констант. Наприклад, вимір прискорення вільного падіння за формулою Ейнштейна $E=mc^2$, де маса (m) – основна величина, швидкість світла (c) – константа;

– *відносний вимір* – це встановлення відношення вимірюваної величини до однойменної, такої, що приймається за початкову.

За характеристикою точності вимірювання:

– *рівноточні* – виміри якої-небудь ФВ, виконані однаковими за точністю засобами вимірювальної техніки (ЗВТ) і в одних і тих же умовах;

– *нерівноточні* – виміри ФВ, виконані різними за точністю ЗВТ і (чи) в різних умовах.

Методики обробки результатів рівноточних і нерівноточних вимірювань різні.

Залежно від метрологічного призначення:

– *технічні* – виміри проводяться ЗВТ;

– *метрологічні* – виміри виконуються за допомогою еталонів з метою відтворення одиниць ФВ для передачі їх розміру ЗВТ.

За кількістю опрацьованих первинних результатів розрізняють *разові* та *багаторазові* вимірювання.

За характером взаємодії ЗВТ з об'єктом дослідження розрізняють *контактні* та *безконтактні*.

За докладністю оцінювання точності результатів вимірювання розрізняють *технічні, лабораторні, науково-дослідні* та *метрологічні* вимірювання.

В таблиці 3.1 наведені ознаки вимірювань, а на рисунку 3.2 наведена класифікація вимірювань.

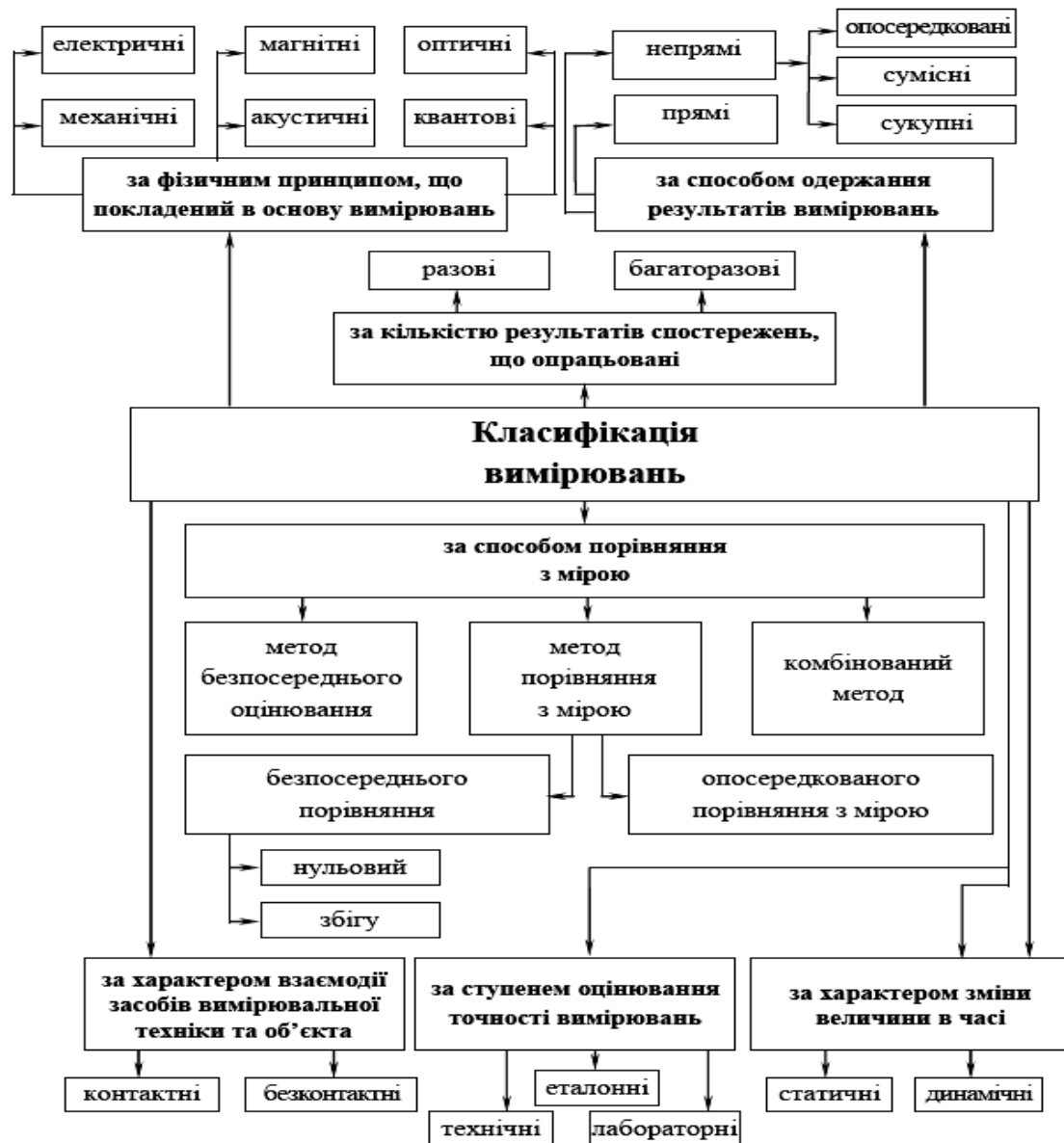


Рисунок 3.2 – Класифікація вимірювань

Таблиця 3.1 – Ознаки видів вимірювань

Вид вимірювання	Ознаки вимірювань
1	2
Разові вимірювання	Це вимірювання, які виконують у разі стабільних показань засобів вимірювань при наведених похибках. Необхідно здійснити 3...5 спостережень з метою переконання у стабільності показань

Продовження таблиці 3.1

1	2
Багаторазові вимірювання	Це вимірювання, які здійснюють, коли показання засобів вимірювань є нестабільними, а розходження між ними перевищують допустимі границі, що встановлені згідно з класом точності та метрологічних характеристик. Під час проведення таких вимірювань їх кількість становить від 3...5 до мільйонів. За середніми значеннями результатів забезпечується підвищення точності вимірювань завдяки взаємній компенсації складових змінних похибок
Контактні вимірювання	Це вимірювання, при яких засіб вимірювань має безпосередній механічний контакт з досліджуваним об'єктом. Наприклад, для вимірювання струму амперметр вмикається у вимірювальне коло, а термоелектричний перетворювач розміщується у досліджуване середовище при вимірюванні його температури
Безконтактні (дистанційні) вимірювання	Це вимірювання, під час яких не відбувається безпосереднього механічного контакту ЗВТ з досліджуваним об'єктом, а вимірювальна інформація про стан об'єкта одержується за допомогою використання різних випромінювань: оптичних, акустичних, теплових, іонізаційних, електромагнітних
Статичні вимірювання	Це вимірювання величини, яку можна вважати незмінною за час вимірювання, або характеристики зміни величини відповідають динамічним властивостям ЗВТ. Наприклад, вимірювання діаметра, довжини, маси стрижня
Динамічні вимірювання	Це вимірювання величини, яка змінюється протягом вимірювального експерименту, або характеристики зміни цієї величини не відповідають динамічним властивостям ЗВТ. Наприклад, вимірювання температури нагрівального елемента або вимірювання сталої температури відразу після розміщення терморезистивного перетворювача у досліджуване середовище, при цьому опір перетворювача ще не досяг усталеного значення

Продовження таблиці 3.1

1	2
Технічні вимірювання	Це типові вимірювання на об'єктах із застосуванням наперед заданих ЗВТ, вимірювальних схем відповідно до конкретної методики вимірювань. Як правило, у таких вимірюваннях спеціально не оцінюються характеристики точності результатів, оскільки вони закладені ще на етапі планування таких вимірювань у відповідній метрологічній установі, з урахуванням використовуваних ЗВТ та умов вимірювань. Наприклад, вимірювання параметрів генератора електричної станції (лінійні та фазові напруги, струми, частота, потужність) під час його роботи
Лабораторні (науково-дослідні) вимірювання	Вимірювання для дослідження фізичних закономірностей в різних об'єктах довкілля, зокрема, створюючи нові технології і засоби вимірювальної техніки. Переважно це не типові вимірювання, за яких необхідно спеціально планувати вимірювальний експеримент, розробляти вимірювальну схему, обґрунтовувати вибір ЗВТ (зокрема, їх характеристики точності), забезпечувати умови вимірювань з обов'язковим оцінюванням їх точності
Метрологічні (еталонні) вимірювання	Це вимірювання у метрологічних установках під час досліджень ЗВТ, створення нових методик вимірювань під час метрологічних випробувань, контролю, атестації та експертизи при передаваннях розмірів одиниць фізичних величин. Такі вимірювання здійснюються відповідно до суворо регламентованих рекомендацій, сформульованих у відповідних нормативних документах, що часто мають статус державних стандартів

Контрольні питання до лекції 3

- 1 Що таке вимірювання?
- 2 Які основні компоненти вимірювального процесу?
- 3 Які Вам відомі ознаки вимірювань?
- 4 У чому полягають технічні вимірювання?
- 5 Як розрізняють вимірювання за докладністю оцінювання точності результатів вимірювання?

ТЕСТОВІ КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ ДО ЛЕКЦІЇ 3

Q1 Суб'єкт вимірювання, який може брати безпосередню участь у виконанні вимірювального експерименту – це ...

- V1 дослідник;
- V2 експериментатор;
- V3 виконавець ;
- V4 спостерігач.

Q2 Вимірювання, при яких засіб вимірювань має безпосередній механічний контакт з досліджуваним об'єктом, мають назву ...

- V1 разові;
- V2 безконтактні;
- V3 технічні;
- V4 контактні.

Q3 Вкажіть види вимірювань за способом отримання результатів:

- V1 динамічні;
- V2 непрямі; прямі;
- V3 багаторазові;
- V4 спільні; сукупні.

Q4 Вкажіть види вимірювань за кількістю вимірювальної інформації:

- V1 динамічні; статичні;
- V2 непрямі; прямі;
- V3 багаторазові; одноразові.

Q5 Вкажіть види вимірювань залежно від зміни вимірювальної величини у часі:

- V1 динамічні; статичні;
- V2 непрямі; прямі;
- V3 багаторазові; одноразові.

ТЕМА 4. ЛЕКЦІЯ 4. Методи і методика вимірювання

4.1 Класифікація методів вимірювання

Метод вимірювання – це прийом або сукупність прийомів використання принципів і засобів вимірювання, вибраних для вирішення конкретного вимірювального завдання [6-8].

Вибір методу залежить від виду вимірюваної величини, її розміру, точності результату вимірювання, швидкості його отримання, умов, за яких робляться виміри, і ряду інших ознак (рисунок 4.1).

Розрізняють такі методи:

1) метод безпосередньої оцінки. Значення вимірюваної ФВ визначають безпосередньо за відліковим пристроєм ЗВТ прямої дії. Це найбільш поширений метод, його реалізують більшість ЗВТ. У методі безпосередньої оцінки міра в явному вигляді при вимірах не присутня, її розміри перенесені на відліковий пристрій (шкалу) ЗВТ заздалегідь при його градуюванні. Наприклад, вимір розміру за допомогою штангенциркуля або мікрометра, сили електричного струму амперметром тощо.

2) метод порівняння з мірою. Вимірювану величину порівнюють з величиною, відтворюваною мірою. Особливість – безпосередня участь міри в процедурі вимірювання. Наприклад, вимір маси на важільних вагах з урівноваженням гирями. Міра маси – гиря (кілограм, кг).

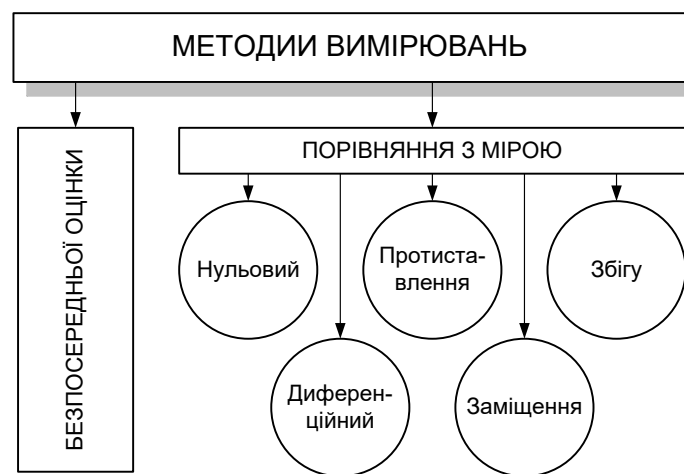


Рисунок 4.1 – Класифікація методів вимірювання

Методи *порівняння з мірою* ґрунтуються на обов'язковому використанні міри та пристрою порівняння (компаратора) як окремих ЗВТ і, якщо необхідно, вимірювальних перетворювачів, а значення вимірюваної величини встановлюють за показаннями міри при відповідному спрацюванні компаратора.

Метод порівняння з мірою має декілька різновидів (рисунок 4.2):

– **нульовий метод** (чи **метод повного урівноваження**) – результат порівняння вимірюваної величини і міри доводиться до нуля. Наприклад, вимір маси на рівноплечих вагах. Маса об'єкта m_x урівноважена з масою гир m_m , при цьому ясно, що $m_x = m_m$. Висока точність індикатора дозволить отримати малу похибку, нульовий метод застосовують в лабораторіях, аптеках, медицині;

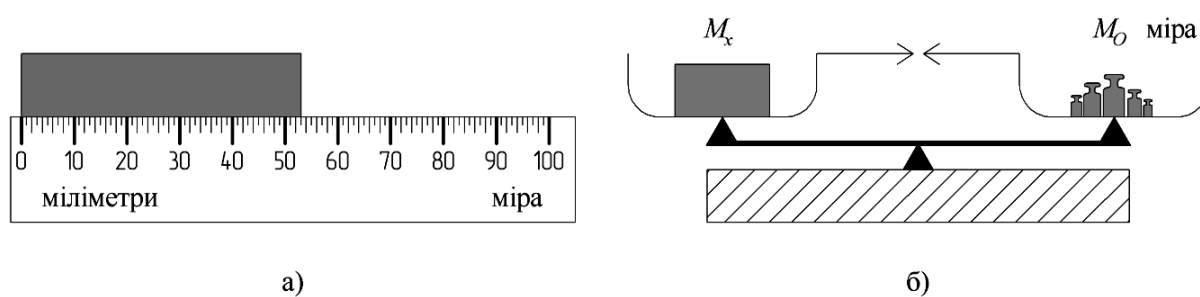


Рисунок 4.2 – Приклади вимірювань на основі методів порівняння з мірою

– **диференціальний метод** – метод порівняння з мірою, який характеризується вимірюванням різниці між значенням величини міри та величини, яку вимірюють.

Наприклад, порівняння міри довжини зі зразковою мірою на компараторі, які виконуються при перевірці мір довжини;

– **метод заміщення** – метод порівняння з мірою, в якому величину, що вимірюють, заміщують відомою величиною, що відтворюється мірою, зберігає всі умови незмінними.

Наприклад: вимірювання діаметра отвору з допомогою внутрішньоміра, що налагоджується з допомогою кінцевих мір довжини або еталонних кілець;

– **метод збігів** – різницю між вимірюваною величиною і величиною, відтворюваною мірою, вимірюють, використовуючи збіги відміток шкал або періодичних сигналів. Наприклад, вимір

довжини за допомогою штангенциркуля з ноніусом. Метод збігів, що використовує збіг основної і ноніусної відміток шкал.

Компенсаційний метод, нульовий метод і метод протиставлення – це різні назви, що відображають різні сторони методів порівняння з мірою. Головною особливістю методів порівняння з мірою є використання для вимірювання міри як засобу вимірювальної техніки. Її показання, а також інші метрологічні характеристики безпосередньо враховують, визначаючи результат вимірювання і оцінюючи його якість: похибки вимірювання чи невизначеності результату. Якщо вихідна величина міри і вимірювана величина однорідні, то говорять, що здійснено вимірювання *методом безпосереднього порівняння з мірою*. Реалізація цього методу вимірювання забезпечує найвищу точність вимірювання, що визначається лише точністю міри та компаратора.

Методика виконання вимірювання (МВВ) – це сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує отримання результатів вимірювання з необхідною точністю. МВВ включає вимоги до обрання засобів вимірювання, послідовності виконання усіх операцій, дотримання встановлених умов вимірювання, числа вимірювання, способів обробки їх результатів. Законодавчою і нормативною базою розробки МВВ є Закон України «Про метрологію і метрологічну діяльність» (ст. 10, п. 2) і міждержавний стандарт ГОСТ 8.010-99.

Процедура вимірювання – це послідовність вимірювальних операцій, що забезпечує вимірювання згідно з обраним методом.

4.2 Умови вимірювання

Умови вимірювання – сукупність величин, що описують стан довкілля і ЗВТ.

Кожні ЗВТ призначено для роботи в певних умовах, що вказуються в нормативно-технічній документації. Величини, що впливають, при вимірах ЗВТ нормовані: температура, тиск, напруга тощо, якщо їх значення вийшли за межі норми, то їх вплив перекоордує результати вимірювання і впливає на похибку вимірювання.

Впливальна величина – це ФВ, яка не вимірювана даним ЗВТ, але вона чинить вплив на його результати.

Вплив умов вимірювання на ЗВТ проявляється в зміні його метрологічних характеристик. При цьому та частина похибки вимірювання, яка виникає через зміну умов, називається додатковою похибкою.

Відповідно до встановлених для конкретних ситуацій діапазонів значень впливальних величин розрізняють:

– *нормальні умови вимірювання* – це умови, при яких зміною результату вимірювання під впливом впливальної величини можна нехтувати відповідно до встановлених норм точності. Нормальні умови вимірювання задаються в нормативній документації на ЗВТ цього виду у формі номіналів з нормованими відхиленнями. За нормальних умов визначається основна похибка даного ЗВТ. Наприклад, амперметр призначений для вимірювання змінного струму з номінальною частотою (50 ± 5) Гц. Відхилення частоти за ці межі приведе до додаткової похибки вимірювання;

– *робочі умови вимірювання* – умови, при яких впливальні величини викликають зміни показань ЗВТ;

– *граничні умови вимірювання* – характеризуються екстремальними значеннями вимірюваної і впливальних величин, які ЗВТ може витримати без руйнувань і погіршень його метрологічних характеристик.

За умов, відмінних від нормальних, визначається додаткова похибка даного ЗВТ. Для оцінювання додаткової похибки в нормативній документації на ЗВТ вказані норми зміни показань при виході умов вимірювання за межі нормальних.

Наприклад, розміри деталей визначаються при нормальній температурі, яка в усіх країнах прийнята $20\pm 2^\circ\text{C}$ (близька до температури робочих приміщень). Температура деталі і вимірювального засобу у момент контролю мають бути однаковими (досягається спільною витримкою деталі і вимірювального засобу в однакових умовах). Інакше виникає температурна похибка вимірювання.

4.3 Характеристики якості вимірювання

До основних характеристик якості вимірювання відносяться:

точність вимірювання – відображає наближеність до нуля похибки результату вимірювання. Висока точність вимірювання відповідає малим похибкам і навпаки;

достовірність вимірювання – міра довіри до результату вимірювання, характеризується імовірністю того, що істинне значення вимірюваної величини знаходиться у вказаних межах. Ця імовірність називається довірчою, вказана межа називається *довірчим інтервалом*;

правильність вимірювання – відображає наближеність до нуля систематичних похибок в результатах вимірювання;

збіжність результатів вимірювання – відображає наближеність один до одного результатів вимірювання однієї і тієї ж ФВ, що виконуються в однакових умовах повторно одними і тими же ЗВТ, одним і тим же методом. Відображає вплив випадкових похибок на результат вимірювання;

відтворюваність результатів вимірювання – відображає наближеність один до одного результатів вимірювання однієї і тієї ж ФВ, що виконуються в різних умовах (різний час, різні місця, різні методи, різні оператори і ЗВТ), але в результаті приведених до одних і тих же умов.

4.4 Галузі вимірювання

За типом вимірюваної ФВ виміри підрозділяються на області вимірювання.

Область вимірювання – це сукупність вимірювання ФВ, властивих якій-небудь галузі науки і техніки, виділяються своєю специфікою. Розрізняють області вимірювання:

001 – виміри геометричних величин: довжин, відхилень форми поверхні, параметрів складних поверхонь, кутів;

002 – виміри механічних величин: маси, сили, напруги, деформацій, твердості, крутних моментів, параметрів руху;

003 – виміри параметрів потоку: витрати, рівня, об'єму речовин;

- 004 – виміри тисків, вакуумні виміри;
- 005 – виміри фізико-хімічних властивостей і складу речовин: в'язкості, щільності, концентрації, вологості, електрохімічні виміри;
- 006 – теплофізичні і температурні виміри;
- 007 – виміри часу і частоти;
- 008 – виміри електротехнічних і магнітних ФВ на постійному і змінному струмі: сили струму, заряду, ЕРС, напруги, потужності, енергії, кута зрушення фаз, опору, ємності тощо;
- 009 – радіотехнічні і радіоелектронні виміри: інтенсивності сигналів, параметрів форми і спектра сигналів;
- 10 – виміри акустичних величин: частоти, сили звуку;
- 11 – оптико-фізичні виміри: коефіцієнта пропускання, віддзеркалення, заломлення;
- 12 – виміри іонізуючих випромінювань і ядерних констант;
- 13 – виміри біологічних і біомедичних величин і характеристик.

4.5 Значущість вимірювань

Розглянемо головні аспекти значущості вимірювань.

У *філософському* аспекті значущість вимірювань визначається тим, що вимірювання є універсальним і разом із лічбою найбільш точним методом пізнання фізичних явищ і процесів. Тому метрологія, як наука про вимірювання, займає особливе місце серед інших наук, що обслуговує кожну з них та тісно переплітається з ними.

У *науці* значущість вимірювань визначається тим, що за допомогою вимірювань у фізичних науках здійснюється зв'язок науки і практики. Тому-то фізики часто відносять метрологію до експериментальної фізики. Відомо, що в основі як математики, так і метрології лежить аксіома Евдокса-Архімеда про несумірні відрізки і натуральний ряд чисел, при цьому, якщо враховувати відоме визначення математики як науки про числа і простір, то можна стверджувати, що метрологія, яка методологічно об'єднує неперервні фізичні величини і просторові з числами, є фізико-математичною наукою.

Значущість вимірювання в *технічному* аспекті визначається тим, що вимірювання забезпечують створення кількісної вимірювальної інформації про об'єкт, без якої неможливе точне відтворення всіх заданих умов технологічного процесу, які необхідні для одержання високої якості виборів.

Контрольні питання до лекції 4

1 Назвіть відмітну особливість вимірювання методами порівняння.

2 Що таке умови вимірювання? Які вони бувають?

3 Що таке область вимірювання? Які області вимірювання розрізняють?

4 Назвіть характеристики якості вимірювання і дайте їм визначення.

5 У чому відмінність між такими характеристиками якості вимірювання, як точність і правильність?

6 Які головні аспекти значущості вимірювань?

ТЕСТОВІ КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ ДО ЛЕКЦІЇ 4

Q1 Доповніть відповідь:

... - це сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує отримання результатів вимірювання з необхідною точністю.

V1 методика виконання вимірювання;

V2 принцип вимірювання;

V3 процедура вимірювання;

V4 алгоритм виконання вимірювань.

Q2 Суб'єкт вимірювання, який може брати безпосередню участь у виконанні вимірювального експерименту – це ...

V1 дослідник;

V3 виконавець;

V2 експериментатор;

V4 спостерігач.

Q3 Вимірювання, при яких засіб вимірювань має безпосередній механічний контакт з досліджуваним об'єктом, мають назву ...

- V1 разові;
- V2 безконтактні;
- V3 технічні;
- V4 контактні.

Q4 До методів порівняння з мірою НЕ належить:

- V1 метод збігу;
- V2 метод безпосередньої оцінки;
- V3 нульовий метод;
- V4 метод заміщення.

Q5 Доповніть відповідь:

прийом або сукупність прийомів використання принципів і засобів вимірювання, вибраних для вирішення конкретного вимірювального завдання – це ...

- V1 метод вимірювання;
- V2 метрологічна атестація;
- V3 опосередковані вимірювання;
- V4 алгоритм вимірювання.

ТЕМА 5. ЛЕКЦІЯ 5. Похибки при вимірюваннях та їх визначення

5.1 Загальні положення

Точність вимірювання є ступенем відповідності результату вимірювання істинним значенням вимірюваної величини та позитивною якісною ознакою вимірювання. Чим ближче результат вимірювання до істинного значення, тим точніше вимірювання і навпаки. Зазвичай точність вимірювання не має числового вираження, а є лише суто якісною характеристикою [7-8].

Процедура вимірювання складається з етапів: прийняття моделі об'єкта вимірювання, вибір методу вимірювання, вибір засобу вимірювання та проведення експерименту для отримання результату вимірювань. На кожному з етапів виникає та існує невідповідність між ідеальними і реальними умовами, тому-то

результат вимірювання відрізняється від істинного значення фізичної величини.

Для кількісної оцінки якості вимірювання застосовують *похибку результату вимірювання (похибку вимірювання)*, яка є відхиленням результату вимірювання X від істинного (дійсного) значення X_I (X_δ) вимірюваної величини

$$\Delta x = x - X_I = x - X_\delta. \quad (5.1)$$

Істинне значення фізичної величини – це значення фізичної величини, яке ідеально відображає певну властивість об'єкта. Визначити істинне значення величини вимірюванням неможливо через обмежені властивості засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Тому то відмічена неможливість визначення істинного значення є наслідком недосконалості відображення при вимірюваннях та є причиною неминучої похибки вимірювання. Для визначення похибки вимірювань істинне значення фізичної величини замінюють дійсним значенням величини.

Дійсне значення фізичної величини – це значення фізичної величини, яке знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинного значення, що може використовуватись замість істинного значення.

5.2 Фактори, які впливають на процес формування похибок вимірювання

Вимірювання виконують неідеальними засобами, їх взаємодія з об'єктом може привести до небажаної зміни розміру вимірюваної величини. Експериментатор може допускати певні неточності при проведенні вимірювального експерименту та при обчисленні результатів, а також умови, в яких відбуваються вимірювання, змінюються і негативно впливають на об'єкт вимірювання, при цьому можуть змінюватись як розмір вимірюваної величини, так і засоби вимірювальної техніки.

Існуючі причини виникнення похибок, відрізняючись своїми властивостями, по-різному впливають на результат вимірювання, а саме:

- недосконалість засобів, що використовують при вимірюваннях (інструментальний фактор);
- вплив зовнішніх умов на об'єкт та засоби вимірювань;
- недостатня кваліфікація експериментатора, що здійснює вимірювання;
- взаємний вплив засобів вимірювань та об'єкта;
- незбіг моделі вимірюваної величини та справжньої властивості об'єкта, розмір якої слід виміряти;
- недосконалість обчислювального алгоритму та обчислень при опрацюванні первинних результатів вимірювань для кінцевих результатів;
- неточні калібрування;
- часові зміни вимірювальної величини та властивостей ЗВТ;
- математичні спрощення (математичний фактор);
- втрати цифрових даних під час передавання та зберігання.

5.3 Класифікація похибок вимірювань

Похибки вимірювань класифікують за п'ятьма основними класифікаційними ознаками – за способом вираження, за причинами чи місцями виникнення, за характером зміни вимірюваної величини, за режимом виникнення, за характером поведінки у часі (рисунок 5.1).

У загальному випадку похибка результату вимірювання містить *систематичну й випадкові* складові та навіть коли була введена *поправка* – це значення величини, що алгебраїчно додається до результату вимірювання з метою вилучення систематичної похибки. Пояснити це, по-перше, можна тим, що значення факторів не залишаються у процесі вимірювання постійними, а по-друге, тим, що на результат вимірювання впливають фактори, дія яких у експерименті не передбачалася, або ж виникли фактори, дію яких неможливо було врахувати.

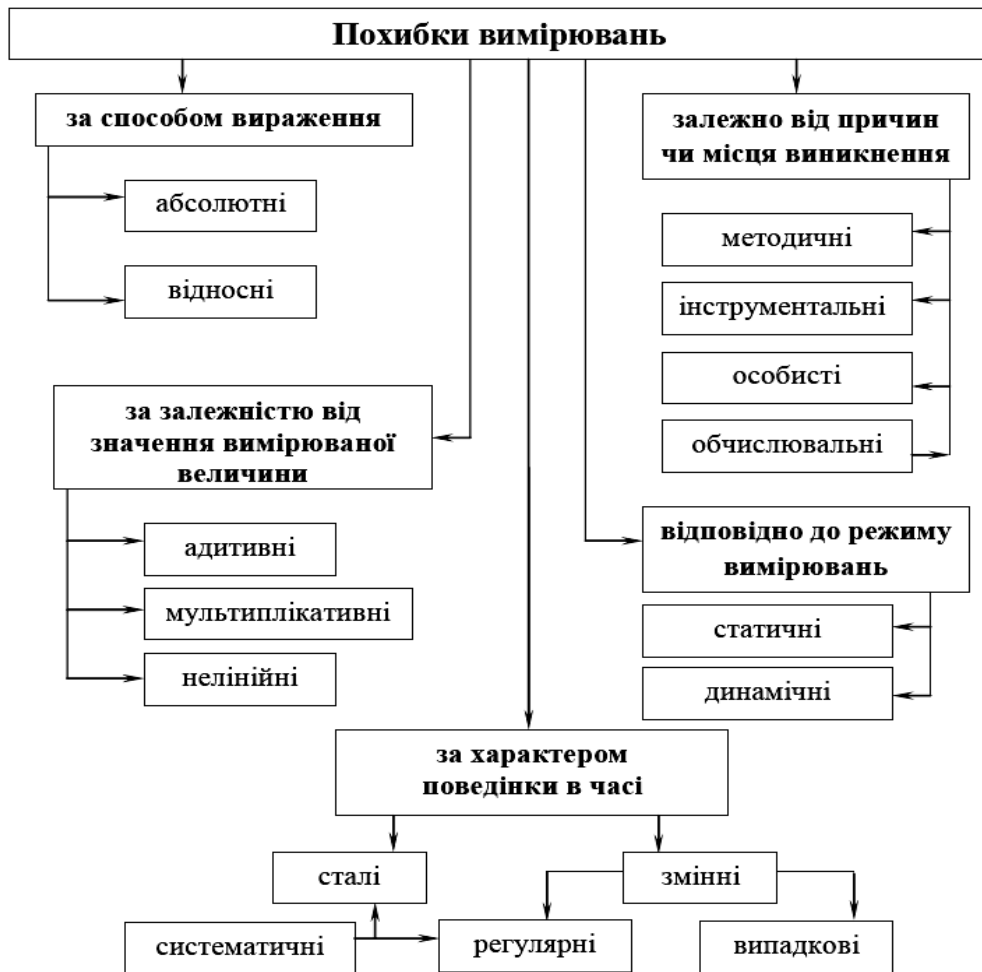


Рисунок 5.1 – Класифікація похибок вимірювань

Внаслідок дії зазначених факторів виникають різні види похибок, а саме:

- **випадкова похибка** (Δ) – це складова похибки, що не прогнозовано (випадково) змінюється у ряді вимірювань однієї й тієї ж величини;

- **систематична похибка** (Δ_c) – це складова похибки, що залишається сталою або прогнозовано змінюється у ряді вимірювань однієї й тієї ж величини. Систематичну похибку можна усунути шляхом введення поправки. Систематичні похибки в свою чергу поділяють на **інструментальні**, **методичні** та **суб'єктивні**;

- **інструментальні похибки**, що зумовлені недосконалістю ЗВТ та залежністю їх властивостей від впливу зовнішніх умов. Така похибка є завжди, так як вимірювання неможливе без вимірювальних засобів;

- під час вимірювань різні за кваліфікацією виконавці вимірювань по-різному визначають показання аналогових приладів, при цьому похибка може сягати до половини поділки, а то і більше. Така похибка має назву *особиста*. Слід відзначити, що під час застосування цифрових ЗВТ така похибка не виникає;

- *методичні похибки* зумовлені методом вимірювання та вимірювального перетворення. Такі похибки пов'язані з невідповідними моделями вимірюваних об'єктів та їх величин, а виникають вони при взаємодії засобів вимірювальної техніки та об'єктів. На вибір моделі вимірюваної величини впливає мета вимірювання, яка встановлює потрібну точність вимірювання;

- *суб'єктивні похибки* обумовлені недосконалістю, індивідуальністю органів чуття спостерігача.

Систематичні похибки можна виявити шляхом порівняння робочих засобів вимірювання зі зразковими;

- причинами виникнення *обчислювальної похибки* можуть стати ефекти заокруглення та обчислювальні проблеми розв'язування вимірювальної задачі. Так як при проведенні вимірювань для отримання результату опрацьовують первинні результати спостережень за відповідними виразами, алгоритмами та залежностями, тому виконують певні обчислення. В залежності від складності вимірювальної задачі обчислення здійснюють за допомогою обчислювальних засобів різної складності: від олівця та паперу до калькулятора та обчислювальних комплексів. При обчисленні виконують заокруглення чисел, так і виникає похибка від заокруглень. Сам алгоритм розв'язування вимірювальної задачі є нестійким, так як при невеликих похибках у вихідних даних (тисячні чи соті частки відсотка) результат розрахунку може містити похибку, яка дорівнює одиниці чи десяткам відсотків і навіть більше;

- *абсолютна похибка вимірювання* (Δ) – це різниця між результатом вимірювання та істинним (дійсним) значенням вимірюваної величини. Абсолютна похибка виражена у одиницях вимірюваної величини згідно з формулою (5.1);

- однак, у більшій мірі точність засобів вимірювань характеризує *відносна похибка* (δ), тобто виражене у відсотках відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини:

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{X_I} \cdot 100 \% \approx \frac{\Delta x}{A_0} \cdot 100 \% ; \quad (5.2)$$

- **приведена похибка** ($\gamma_{пр}$) – це відношення абсолютної похибки до максимального значення діапазону вимірювань величини X (шкали засобу вимірювань)

$$\gamma_{пр} = \frac{\Delta_x}{X_k} , \quad (5.3)$$

де X_k – максимальне значення діапазону вимірювань;

- **статичні похибки** – це похибки, яка виникають під час статичних вимірювань, у яких вимірювана величина упродовж вимірювального експерименту не змінюється, а також у засобах вимірювальної техніки, що використовуються при вимірюваннях, в яких закінчилися перехідні процеси при поданні на їх вхід вимірюваної величини;

- **динамічні похибки** – це похибки, які виникають під час динамічних вимірювань, в яких вимірювана величина під час вимірювального експерименту може змінюватися, або якщо у застосовуваних ЗВТ ще не закінчилася перехідні процеси при поданні на їх вхід вимірюваної величини;

- **адитивні похибки** – це абсолютні похибки, які не залежать від значення вимірюваної величини, та які ніби-то алгебраїчно додаються (від англ. *add* – додавати) до вимірюваної величини;

- **мультиплікативні похибки** – це абсолютні похибки, які лінійно зростають чи зменшуються при збільшенні значення вимірюваної величини, а саме, є пропорційними до добутку (від англ. *multiplication* – множення) певного коефіцієнта і значення вимірюваної величини;

- **нелінійні похибки** – це абсолютні похибки, які нелінійно залежать від значення вимірюваної величини;

- **сталі (систематичні) похибки** – це похибки, які упродовж здійснення вимірювального експерименту не змінюють свого значення, хоча воно може залишатися невідомим;

- **змінні похибки**, які поділяються на *прогресуючі*, *регулярні* та *випадкові*: *прогресуючі похибки* – це похибки, які упродовж

здійснення вимірювального експерименту практично лінійно змінюють своє значення та мають назву *дрейфи*; *регулярні похибки* – це похибки, які під час виконання вимірювального експерименту змінюються регулярно, наприклад, періодично, і закон їх часової зміни може бути дослідженим, визначеним, і такі похибки можуть бути враховані; *випадкові похибки* – це похибки, що змінюються в часі нерегулярно, непередбачувано, а їх майбутні значення можна прогнозувати лише з певною часткою ймовірності.

Розрізняють *надмірні похибки* й *промахи*.

Промахи – це результати вимірювання, які мають надмірні похибки. Причиною промахів є несправність вимірювальних засобів, неправильні дії оператора, стрибкоподібні зміни напруги живлення.

Надмірні похибки – це похибки вимірювання, що суттєво перебільшують очікувані похибки. При оцінюванні результатів вимірювань промахи вилучаються із ряду багаторазових спостережень як аномальні результати вимірювань. У наступних лекціях розглянемо похибки вимірювань більш детально.

Контрольні питання до лекції 5

1 Поясніть поняття істинного, дійсного і вимірюваного значення.

2 Що таке похибка результату вимірювання?

3 Як розрізняються похибки за способом вираження?

4 Назвіть, за якими принципами класифікуються похибки?

5 Що таке абсолютна та відносна похибки вимірювань?

6 Назвіть основні причини виникнення похибок вимірювання.

7 Що таке інструментальна та особиста похибки вимірювань?

8 Що таке обчислювальна та методична похибки вимірювань?

9 Що таке адитивна та мультиплікативна похибки вимірювань?

ТЕСТОВІ КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ ДО ЛЕКЦІЇ 5

Q1 Значення фізичної величини, яке знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинного значення, що може використовуватись замість нього, має назву...

- V1 істинне значення;
- V2 похибка результату вимірювання;
- V3 результат вимірювання;
- V4 дійсне значення.

Q2 Яка похибка є систематичною похибкою?

V1 це складова похибки, що випадково змінюється у ряді вимірювань однієї й тієї ж величини;

V2 це різниця між результатом вимірювання та дійсним значенням вимірюваної величини;

V3 це складова похибки, що залишається сталою або прогнозовано змінюється у ряді вимірювань однієї й тієї ж величини;

V4 це абсолютна похибка, яка не залежить від значення вимірюваної величини.

Q3 Які похибки зумовлені недосконалістю засобів вимірювальної техніки та залежністю їх властивостей від впливу зовнішніх умов?

- V1 методичні похибки;
- V2 інструментальні;
- V3 адитивні похибки;
- V4 мультиплікативні похибки.

Q4 Кравець сім раз відміряв і один раз відрізав – цим він зменшив:

- V1 систематичну похибку;
- V2 випадкову похибку;
- V3 границю вимірювань;
- V4 помилку оператора.

Q5 Що таке абсолютна похибка вимірювань?

V1 це різниця між результатом вимірювання та істинним значенням вимірюваної величини;

V2 це відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірювальної величини;

V3 це значення, яке ідеальним чином відображає властивість даного об'єкта, як у кількісному, так і в якісному відношенні;

V4 це приблизна оцінка істинного значення величини, яка знайдена шляхом вимірювання.

ТЕМА 5. ЛЕКЦІЯ 6. Загальні відомості та оцінювання похибок вимірювання

6.1 Абсолютна та відносна похибки вимірювання

Похибки вимірювання за способом вираження поділяються на *абсолютні* та *відносні*. Як було зазначено вище, **абсолютна похибка (Δ) вимірювання** – це різниця між результатом вимірювання x та істинним значенням вимірюваної величини X_I :

$$\Delta x = x - X_I = x - X_d . \quad (6.1)$$

Абсолютна похибка є розмірною величиною, яка має таку ж розмірність, яка і величина, яка вимірюється. Якщо вимірюють електричну напругу, то абсолютна похибка вимірювання має таку ж розмірність, що й напруга (вольт, В, мікровольт, мВ, кіловольт, кВ).

Приклад 6.1. Істинне (дійсне) значення струму $I = 10,3$ мА, а в результаті вимірювання отримано значення вимірювання струму $10,5$ мА, тоді абсолютна похибка вимірювання струму становить

$$\Delta I = I - I_d = 10,5 - 10,3 = 0,2 \text{ мА}.$$

Така послідовність величин в означенні похибки потрібна для коригування систематичних похибок, зокрема, введення відповідних поправок до результату вимірювань. Коли при вимірюванні говорять «*похибка вимірювання*», то мають на увазі *абсолютну похибку*.

Відносна похибка. Для порівняння якості вимірювань різних значень однієї величини або різних вимірюваних величин абсолютна похибка є незручною. У таких випадках для кількісної характеристики якості вимірювання використовують *відносну похибку*. Теоретично це відношення абсолютної похибки до істинного (дійсного) значення вимірюваної величини, а практично – це відношення до вимірюваного значення, виражене у відсотках (5.2)

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{X_I} \cdot 100 \% \approx \frac{\Delta x}{A_o} \cdot 100\%.$$

Чим менша відносна похибка, тим точніше вимірювання і навпаки.

Приклад 6.2. Здійснено вимірювання ємності 0,225 мкФ з похибкою $\Delta C = 0,003$ мкФ і індуктивності 20,1 мГн з похибкою $\Delta L = 0,15$ мГн. Встановити, в якому випадку точність вимірювання краща.

Розв'язання

1 При вимірюванні ємності відносна похибка дорівнює

$$\delta_C = \frac{\Delta C}{C_o} \cdot 100 \% = \frac{0,003}{0,225} \cdot 100\% = 1,33\%.$$

2 Під час вимірювання індуктивності відносна похибка дорівнює

$$\delta_L = \frac{\Delta L}{L_o} \cdot 100 \% = \frac{0,15}{20,1} \cdot 100\% = 0,7\%.$$

3 Точність вимірювання індуктивності є найвищою, оскільки відносна похибка вимірювання індуктивності є меншою.

6.2 Систематична та випадкова похибки

Систематичні похибки при повторних вимірах залишаються постійними або закономірно змінюються за певним законом. Ці похибки в деяких випадках можна визначити експериментально,

а отже, отриманий результат вимірювання може бути уточнений шляхом введення поправки.

Систематична похибка вважається специфічною випадковою величиною, що має деякі, але не усі властивості випадкової величини, яка вивчається в теорії імовірності і математичній статистиці.

У метрологічній практиці при оцінці систематичних похибок повинен враховуватися вплив таких чинників:

1) об'єкт вимірювання. Перед виміром він має бути добре вивчений з метою коректного вибору його моделі. Наприклад, при вимірі площі сільськогосподарських угідь кривизна земної поверхні може не враховуватися, оскільки вона не вносить відчутної похибки, проте при вимірі океанів нею нехтувати вже не можна;

2) суб'єкт вимірювання. Щоб зменшити похибку вимірювання, необхідно підібрати оператора високої кваліфікації;

3) метод і засіб вимірювання. Надзвичайно важливий їх правильний вибір;

4) умови вимірювання. Забезпечення і стабілізація нормальних умов – необхідна вимога.

Відомий ряд способів виключення систематичних похибок, які умовно можна розділити на чотири основні групи:

- усунення джерел похибок до початку вимірювання;
- виключення похибок в процесі вимірювання способами заміщення, компенсації похибок по знаку, протиставлення (перестановки), симетричних спостережень;
- внесення відомих поправок до результату вимірювання (виключення похибок обчисленням);
- оцінка меж систематичних похибок, якщо їх не можна виключити.

Як було зазначено вище, залежно від характеру поведінки в часі розрізняють похибки *сталі систематичні* та *змінні*, які поділяються на *прогресуючі*, *регулярні* та *випадкові*.

Найнебезпечнішими є сталі систематичні похибки, так як під час вимірювань вони не проявляються, а при повторних вимірюваннях показання приладу залишається незмінним. Такі похибки важко виявити і їх неврахування може істотно спотворити результат вимірювання.

Повністю вилучити систематичні похибки неможливо, так як залишаються невраховані залишки. Залишки необхідно враховувати, щоб оцінити межі невилученої систематичної похибки результату. Для виявлення, оцінки та вилучення систематичних похибок необхідно знати причини виявлення та застосувати способи виявлення і вилучення цих похибок.

Сталі систематичні похибки описують їх граничними значеннями, тобто такими, яких може набувати похибка у несприятливих умовах:

- абсолютні

$$\Delta_C = \pm \Delta_{гр} \quad \text{або} \quad -\Delta_{гр} \leq \Delta_C \leq +\Delta_{гр} ; \quad (6.2)$$

- відносні

$$\delta_C = \pm \delta_{гр} \quad \text{або} \quad -\delta_{гр} \leq \delta_C \leq +\delta_{гр} . \quad (6.3)$$

Це означає, що фактичне значення систематичної похибки залишається сталим, але є невідомим та таким, що не виходить за встановлені граничні значення.

Приклад 6.3. При вимірюванні напруги абсолютна систематична похибка задана граничними значеннями $\pm \Delta_{гр} = 0,15 \text{ В}$. Що це означає?

Розв'язання. Це означає, що похибка залишається сталою і невідомою та знаходиться в межах $-0,15 \text{ В} \leq \Delta_C \leq +0,15 \text{ В}$.

Слід визначати, що під час повторних вимірювань систематична похибка кожен раз буде набувати того самого значення із зазначеного діапазону.

Слід зауважити, що усунути повністю систематичну похибку вимірювання неможливо. Таким чином, в кінцевому результаті вимірювання завжди залишається певна систематична похибка, яку часто називають *невилученим залишком систематичної похибки* або просто *невилученою систематичною похибкою*.

Регулярні похибки – це похибки, які змінюються у часі та протягом майбутнього часу зберігаються, при цьому виникають закономірності, які можна використовувати для зменшення

впливу похибок. Похибки, які змінюються за складними законами, описуються у вигляді часової функції чи графіка, а також можуть вказуватися допустимі відхилення певних характеристик змінної систематичної похибки.

Випадкові похибки обумовлені випадковим характером прояву фізичних процесів у засобах вимірювання й випадковими змінами умов вимірювань, які практично неможливо врахувати. Основні причини виникнення випадкових похибок:

- конструктивні та технологічні недосконалості вузлів та деталей вимірювальних приладів;
- випадкові коливання параметрів навколишнього середовища;
- нестабільність живлення електронних приладів;
- суб'єктивні помилки оператора;
- вібрації та теплові шуми в електронних приладах;
- часова та просторова нестабільність об'єкта вимірювання.

Випадкові похибки є похибками, в появі кожної з яких не спостерігається якої-небудь закономірності.

Випадкові похибки неминучі і неусувні і завжди присутні в результаті вимірювання. Вони викликають розсіяння результатів при багатократному і досить точному вимірі однієї і тієї ж величини за незмінних умов, за допомогою одного і того ж вимірювального пристрою одним і тим же оператором, викликаючи відмінність в останніх значущих цифрах.

Отже, під випадковою величиною розуміють числовий результат експерименту з випадковим результатом $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.

Кожна випадкова похибка виникає в результаті дії багатьох чинників, кожен з яких сам по собі не чинить значного впливу на результат, але сумарна їх дія може викликати помітні похибки.

Оскільки випадкові похибки не піддаються виключенню з результатів вимірювання, то при розгляді їх впливу на результат вимірювання завдання зводиться до вивчення властивостей сукупностей результатів окремих спостережень.

Передбачити результат окремого спостереження і виправити його введенням поправки неможливо.

Можна лише з певною часткою упевненості стверджувати, що істинне значення вимірюваної величини знаходиться в межах

розкиду результатів спостережень від x_{\min} та x_{\max} , $x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max}$, де x_{\min} – нижня межа розкиду; x_{\max} – верхня межа розкиду.

Для вивчення властивостей випадкових похибок у великих сукупностях використовуються методи теорії імовірності і математичної статистики. Ці методи застосовні і для невиключених систематичних складових.

6.3 Правила округлення результатів вимірювання та значень похибки

Оскільки похибки вимірювання визначають лише зону невизначеності результатів, їх не вимагається знати дуже точно. У остаточному записі похибку вимірювання прийнято виражати числом з одним або двома значущими цифрами. Основні нормативні документи за правилами округлення і запису результатів вимірювання: ГОСТ8.207-76, МИ 1730-87.

1 Похибка результату вимірювання вказується двома значущими цифрами, якщо перша з них дорівнює 1 або 2, наприклад, $0,1245=0,12$; $0,001245=0,0012$; $1245=12$. Однією – якщо перша цифра дорівнює 3 і більш, наприклад, $0,344=0,3$; $0,0057=0,006$; $0,00550=0,006$; $0,00554=0,006$. При $n>10$ надійно залишати в усіх випадках дві значущі цифри.

2 Округлювати числове значення результату вимірювання слід відповідно до числового розряду значущої цифри похибки. Наприклад: при вимірі набуто значення сили електричного струму $2,65$ А, похибка $\pm 0,06145$ А. Результат округлення має бути записаний у вигляді $I=(2,65\pm 0,06)$ А. Якщо похибка складає $\pm 0,006145$ А, то результат $I=(2,650\pm 0,006)$ А. Наочно вказувати межі інтервалу невизначеності вимірюваної величини $2,59\text{А}<I<2,71$.

3 Якщо цифра старшого з відкиданих розрядів менше 5, то інші цифри числа не змінюються. Зайві цифри в цілих числах замінюються нулями, а в десяткових дробах відкидаються.

4 Якщо цифра старшого з відкиданих розрядів більше або дорівнює 5, але за нею йдуть відмінні від нуля цифри, то останню цифру, що залишається, збільшують на одиницю.

5 Якщо відкидана цифра дорівнює 5, а цифри, що йдуть за нею, невідомі або нулі, то останню цифру числа не змінюють, якщо вона парна, і збільшують на одиницю, якщо вона непарна.

6 Округлення робиться лише в остаточній відповіді, а усі попередні обчислення проводять з одним-двома зайвими знаками.

Якщо керуватися цими правилами округлення, то кількість значущих цифр в числовому значенні результату вимірювання дає можливість орієнтовно судити про точність вимірювання. Це пов'язано з тим, що гранична похибка, обумовлена округленням, дорівнює половині одиниці останнього розряду числового значення результату вимірювання. Так, для разового вимірювання за відсутності інформації щодо характеристики складових похибки результат вимірювання має вигляд

$$X = (x \pm \Delta_{ep}), \quad (6.4)$$

де X – фізична величина;

x – числове значення результату, заокруглене за правилами;

$\pm \Delta_{ep}$ – граничні значення (заокруглені) похибки результату.

Приклад 6.4. Записати результат вимірювань струму при дослідженнях за правилами заокруглення, якщо значення струму дорівнює $I = 3,648$ мА, а оцінка граничної похибки при його вимірюванні дорівнює $\Delta_{ep} = \pm 0,079$ мА.

Розв'язання. Так як перша значуща цифра похибки 7, то похибка заокруглюється до однієї значущої цифри, а саме, $\Delta_{ep} = \pm 0,08$ мА. Результат вимірювання струму також слід заокруглити так, щоб він закінчувався таким самим розрядом, що й похибка (до сотих міліампера): $I = (3,65 \pm 0,08)$, мА.

6.4 Невизначеність вимірювання (measurement uncertainty, uncertainty of measurement, uncertainty)

У вітчизняних нормативних документах для оцінювання точності вимірювань зберігається традиційний підхід, що ґрунтується на понятті «похибка вимірювань» [7]. Новий підхід рекомендується МКМВ, МОЗМ, Міжнародною електротехнічною комісією (МЕК) та іншими міжнародними організаціями. Цей підхід ґрунтується на оцінюванні точності вимірювань за допомогою поняття «невизначеність вимірювань» (або просто «невизначеність») [9].

Поняття «*невизначеності вимірювання*» офіційно введено в міжнародну практику в 1993 р., у документі ISO/IEC «Настанова з висловом неvizначеності вимірювань (GUM)».

Неvizначеність вимірювання (а точніше, неvizначеність результату вимірювання) – це параметр, що зв'язаний з результатом вимірювання та характеризує певну дисперсію (розсіяння) значень, які можуть бути обґрунтовано приписані вимірюваній величині.

Отже, *невизначеність вимірювань означає сумнів відносно вірогідності результатів вимірювань.*

Тому неvizначеність є часткою результату виміру і визначає його точність. Невизначеність вимірювань — це основне поняття, пов'язане з будь-яким виміром. Воно може використовуватися для професійного прийняття рішень, а також для оцінювання властивостей у багатьох галузях як теоретичних, так і експериментальних. Оскільки вимоги до допусків, застосовуваних у промисловому виробництві, стають усе більш суворими, роль неvizначеності вимірювань при оцінці якості продукції зростає все більше. Вимірювання допомагає приймати рішення у всіх видах діяльності. Невизначеність вимірювань дозволяє робити порівняння при оцінюванні відповідності, приймати правильне рішення, засноване на вимірі, і управляти ризиками, що виникають.

Неvizначеність вимірювань відіграє центральну роль в оцінюванні якості та встановленні стандартів якості. Звіт про неvizначеність вимірювань необхідний при оцінюванні придатності значення вимірюваної величини для необхідного завдання.

Вважається, що термін «невизначеність вимірювань» прийшов на зміну терміну «похибка вимірювань».

У літературі з метрології та в будь-яких міжнародних документах нема досить переконливих обґрунтувань щодо відмови від терміна «похибка» і заміни його новим терміном «невизначеність». Це найактуальніша тема в метрології за останні 5 – 6 років.

В сучасній літературі наголошується на перевазі неvizначеності як показника вимірювань у порівнянні з класичним поняттям похибки вимірювань.

Визначаються три переваги невизначеності:

- з уведенням поняття невизначеності усувається поняття істинного значення вимірювальної величини;
- з уведенням поняття невизначеності усувається поняття абсолютної похибки вимірювань, яка виражається через істинне значення вимірювальної величини;
- усувається розподіл похибок вимірювань на систематичні та випадкові похибки.

Оскільки в класичній метрології поняття істинного значення вимірювальної величини, абсолютної похибки вимірювань, і розподілу похибок на систематичні та випадкові є фундаментальними положеннями, то ставиться під сумнів вся класична метрологія, хоча все це не ґрунтується на поглибленому аналізі.

Дійсно, в класичному підході в метрології притаманні окремі вади та протиріччя, хоча жодне з них не вдалося усунути введеним поняття невизначеності вимірювання.

У 2009 р. опубліковано важливий документ JCGM 104:2009 «Evaluation of measurement data — An introduction to the «Guide to the expression of uncertainty in measurement» and related documents (Оцінювання даних вимірювання — Вступ до «Настанови з висловом невизначеності вимірювань» та пов'язаний з цим документ). У цьому документі пояснюються причини переходу на концепцію «невизначеності» й підкреслюються основні переваги введення цього поняття та викладені основні принципи розрахунку невизначеності.

Контрольні питання до лекції 6

1 Яку похибку використовують для кількісної характеристики якості вимірювання?

2 Яку розмірність має абсолютна похибка?

3 Які існують способи виключення систематичних похибок?

4 Сформулюйте властивості випадкової і систематичної складових похибки вимірювання.

5 Як змінюються систематичні похибки при повторних вимірах?

6 Якими факторами обумовлені випадкові похибки?

- 7 Назвіть основні причини виникнення випадкових похибок.
8 Перерахуйте правила округлення результатів вимірювання.
9 Як орієнтовно оцінити похибку результату вимірювання за кількістю його значущих цифр?
10 Що означає термін «невизначеність вимірювань»?

ТЕСТОВІ КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ ДО ЛЕКЦІЇ 6

Q1 Ліквідувати систематичні похибки можна шляхом:

- V1 проведення повторних вимірів;
V2 внесення поправок до шкали приладу;
V3 зміни температури дослідів;
V4 зміни цифрового приладу.

Q2 Відносні фізичні величини виражають у:

- V1 відсотках, метрах;
V2 відсотках, проміле;
V3 метрах, сантиметрах, міліметрах;
V4 метрах, проміле.

Q3 Які похибки виникають від ефектів заокруглення та від обчислення при розв'язанні вимірювальної задачі?

- V1 випадкові похибки;
V2 надмірні похибки;
V3 регулярні похибки;
V4 обчислювальні похибки.

Q4 Абсолютну похибку знаходять за формулою (В — результати вимірювання; X — істинне значення вимірювальної величини; A — абсолютна похибка):

- V1 $A = (B - X) \cdot A$;
V2 $A = B - X \cdot 15$;
V3 $A = B - X$;
V4 $A = B - X \cdot 20$.

Q5 Для знаходження відносної похибки використовують формулу:

- V1 $\delta = \frac{A}{X}$;
V2 $\delta = A \cdot X$;

$$\sqrt{3} \delta = \frac{A \cdot X}{X};$$

$$\sqrt{4} \delta = A - X.$$

ТЕМА 6. ЛЕКЦІЯ 7. Опрацювання результатів вимірювання

Після проведення вимірювальних експериментів здійснюється опрацювання результатів вимірювань з метою визначення результату вимірювання, тобто кінцевої мети вимірювання.

При опрацюванні результатів оператору необхідно розв'язати дві задачі:

- знайти найкращу оцінку значення вимірюваної величини;
- оцінити характеристики точності вимірювання у вигляді характеристик похибки чи невизначеності (непевності) результату вимірювання.

Результат вимірювання є лише тоді повноцінним, коли він супроводжується оцінкою його точності. Обсяг опрацювання результатів вимірювань залежить від виду вимірювань, від кількості отриманих експериментальних даних, вимог щодо точності вимірювань, від апріорної інформації про систематичні та випадкові похибки вимірювань.

При прямих разових вимірюваннях результат спостереження є результатом вимірювань, і лише за умови, що систематичні похибки вимірювань не коригують.

При сукупних і сумісних вимірюваннях обов'язковим є розв'язування систем рівнянь методом найменших квадратів.

Основні операції опрацювання результатів вимірювань:

- попередній аналіз результатів спостережень, їх систематизація, відкидання явно недостовірних;
- виявлення та коригування систематичних ефектів, а саме, вивчаються умови вимірювань, розраховуються та вносяться поправки;
- виконання розрахунків згідно з пунктами алгоритму опрацювання;

- аналіз випадкових ефектів, перевірка гіпотез про їх розподіл;
- підсумовування складових похибок результатів;
- аналіз отриманих результатів;
- подання за відповідною формою результатів вимірювань та характеристик їх точності.

7.1 Оцінка випадкових похибок

Якщо систематичні похибки можуть бути виявлені та ураховані в результатах вимірювань, то вплив випадкових похибок оцінюють за допомогою *методів теорії імовірності*.

Щоб зробити оцінку випадкових похибок на кінцевий результат, виконують багаторазові вимірювання однієї і тієї ж величини. За дійсне значення цієї величини приймають середньоарифметичне результатів вимірювання, а для істинного значення установлюють інтервал, в якому знаходиться істинна величина з певною вірогідністю. Для цього використовують функції розподілу похибок вимірювання.

Якщо вимірювання величини x провести багато разів, то їх результати можуть бути подані *гістограмою*, вісь абсцис якої являє собою результат вимірювань, а вісь ординат – частоту попадання цього результату в довільні інтервали, на які поділена (розбита) вісь абсцис (рисунок 7.1).

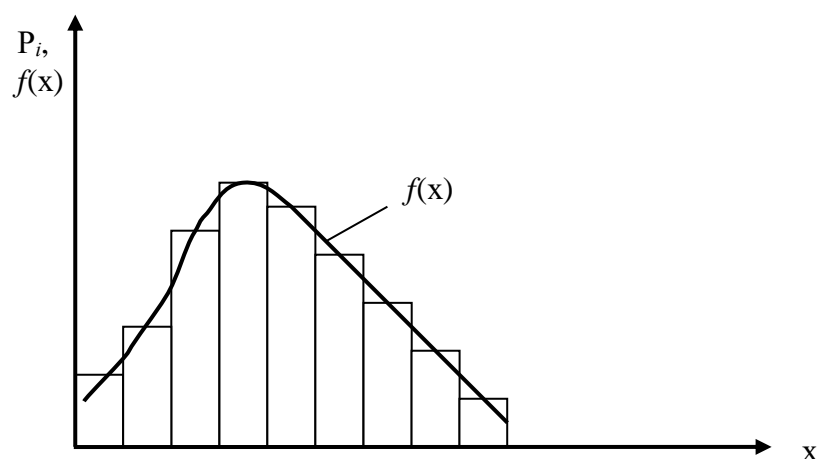


Рисунок 7.1 – Гістограма вимірюваної величини

Після згладжування гістограми одержують плавну криву щільності імовірності $f(x)$ для даної неперервної величини x .

7.2 Функції (закони) розподілу випадкових похибок

Як було зазначено вище, *випадковою* називають таку величину, яка в результаті досліду може набути того або іншого значення, невідомо заздалегідь – якого саме. Безліч значень випадкової величини може бути кінцевою або рахунковою – дискретна випадкова величина. У інших ситуаціях випадкова величина набуває будь-якого значення з деякого проміжку – це безперервна випадкова величина. Наприклад: довжина відрізка лінії, інтервал температури, відхилення розміру виготовленої деталі від норми, похибка вимірювання, величина відхилення від норми.

У метрології використовуються закони розподілу щільності імовірності випадкової величини. *Законом розподілу* випадкової величини називається всяке співвідношення, що встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкової величини і відповідною ним імовірністю. Про випадкову величину говорять, що вона підпорядкована цьому закону розподілу.

Закон розподілу може бути заданий в різній формі. Мають місце в практичних ситуаціях закони розподілу з дискретних:

- біноміальний розподіл;
- розподіл Пуассона;
- з безперервних:
 - нормальний розподіл (розподіл Гаусса);
 - експоненціальний розподіл;
 - розподіли, використовувані в статистичних розрахунках: *χ²*-квадрат, Ст'юдента, Фішера;
 - трапецеїдальний розподіл; двомодальний розподіл; – рівномірний розподіл.

Для вивчення розподілу випадкових величин користуються рядом числових характеристик: мір центральної тенденції, мір мінливості, форми кривої розподілу.

Рівняння, яке описує криву, називають законом розподілу випадкової величини x .

Площа під кривою $f(x)$ являє собою імовірність появи події x . Очевидно, що імовірність попадання поточного вимірювання (x_i) в інтервал від мінус нескінченності до плюс нескінченності дорівнює одиниці, тому

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1. \quad (7.1)$$

Крива розподілу чинності імовірності може мати різну форму (рисунок 7.2).

Прямокутник (рисунок 7.2, 1) відображає **закон рівномірної щільності**, коли можливі значення випадкових похибок однаково імовірні.

Трикутник (рисунок 7.2, 3) вказує, що ці похибки розподіляються за **законом Сімпсону**, або «**законом трикутника**».

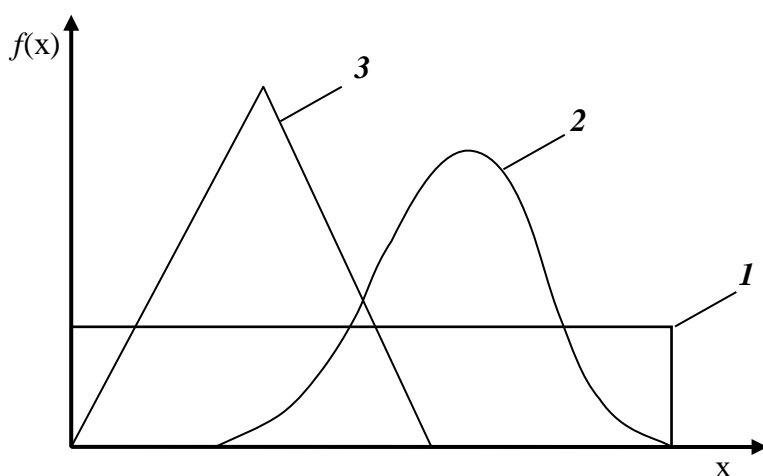


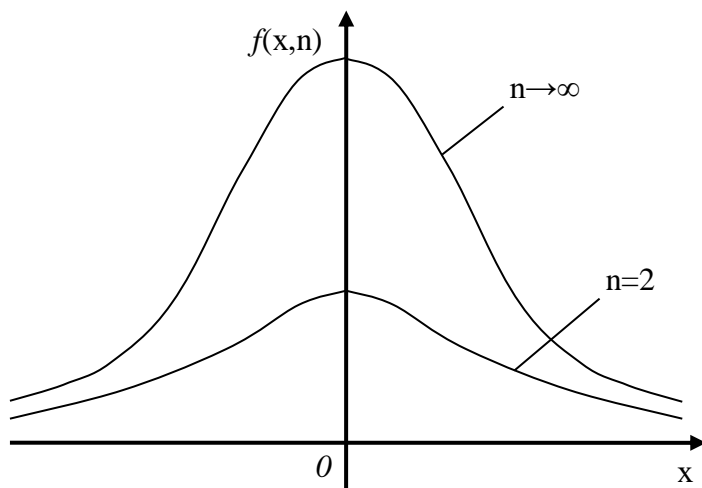
Рисунок 7.2 – Форми кривих розподілу щільності імовірності

Нормальний (гауссівський) закон розподілу випадкових похибок (рисунок 7.2, 2) – найбільш поширений розподіл сукупності безперервних випадкових величин. Його використання може бути рекомендовано для обробки кінцевих сукупностей випадкових величин при числі вимірювань більше ніж тридцять ($n \geq 30$).

В статистиці малих вибірок, коли число вимірювань менше тридцяти ($n \leq 30$), велику роль відіграє **розподіл Ст'юдента**.

Розподіл **Ст'юдента** за формулою нагадує нормальний розподіл, до якого він наближається при кількості вимірювань, які прямують до нескінченності ($n \rightarrow \infty$). Отже, розподіл **Ст'юдента** є функцією, яка ще залежить від кількості вимірювань, тобто $f(x, n)$ (рисунок 7.3).

Усі види розподілу випадкової величини є симетричними функціями відносно точки, яка відповідає істинному (середньоарифметичному) значенню величини, яку вимірюють. Тоді відхилення від середньоарифметичного значення на цих кривих будуть характеризувати випадкові похибки при вимірюванні.



$n \rightarrow \infty$ – нормальний розподіл; $n=2$ – розподіл Ст'юдента

Рисунок 7.3 – Криві розподілу щільності імовірності

Для практичних цілей зручно, щоб значення x_1 і x_2 були симетричні відносно центру розподілу випадкової величини.

Імовірність того, що результати вимірювань не вийдуть за границі якого-небудь інтервалу похибок, визначають за площею, яка обмежена кривою розподілу і границями цього інтервалу, який відкладений по осі абсцис. Такий інтервал (рисунок 7.4) називають **довірчим**, а відповідно до нього імовірність появи випадкової похибки (заштрихована площа) – **довірча імовірність**.

Довірча імовірність (P) – це імовірність того, що істинне значення виміряної величини знаходиться в довірчому інтервалі.

Довірчий інтервал похибки результату вимірювання (ϵ) – це інтервал, у середині якого зі заданою імовірністю P знаходиться значення істинного розміру.

Підібравши значення x_1 і x_2 (рисунок 7.4), можна добитися того, щоб імовірність дорівнювала будь-якій наперед заданій

величині ($P=0,5; 0,8; 0,9; 0,95, 0,98$ і т.д.), і навпаки, задаючись величиною P , можна визначити границі довірчого інтервалу.

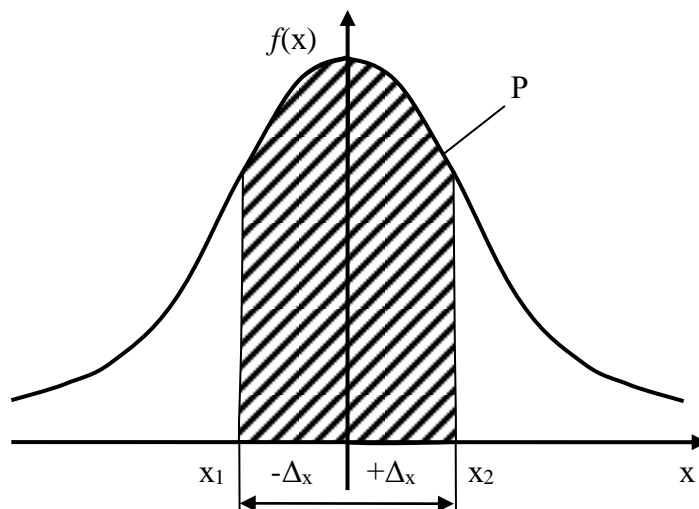


Рисунок 7.4 – Довірчий інтервал та довірна імовірність

Визначення довірчого інтервалу являє собою дуже складну математичну задачу, тому в інженерній практиці використовують виконані результати розрахунків, які зведені в спеціальні таблиці, так звані *коефіцієнти Ст'юдента t* (таблиця 7.1).

Таблиця 7.1 – Залежність довірчого інтервалу (ϵ) та довірчої імовірності (P) від числа вимірювань (n)

Число вимірювань, n	Значення t при p				
	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
1	6,31	12,71	31,8	63,7	-
4	2,35	3,182	4,54	5,84	12,94
5	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
6	2,02	2,57	3,36	4,03	6,86
10	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
12	1,196	2,20	2,12	3,11	4,49
20	1,729	2,09	2,54	2,86	3,38

Результат вимірювання за допомогою довірчого інтервалу може бути записаний у вигляді

$$x = \bar{x} \pm \Delta x; \quad P = P_{зад}, \quad (7.2)$$

де \bar{x} – середнє арифметичне значення вимірюваної величини;
 Δx – довірчий інтервал похибки вимірювання;
 P – довірна імовірність результату вимірювання.

У випадку коли довірна імовірність дорівнює 0,95 ($P=0,95$), дозволяється запис

$$x = \tilde{x} \pm \Delta x. \quad (7.3)$$

У випадку одиночного вимірювання підрахувати похибку результату вимірювання неможливо, тому про похибку результату вимірювання судять за метрологічними характеристиками засобу вимірювання.

7.3 Методика обробки результатів прямих вимірювань

1 Визначення середнього арифметичного вибірки (\bar{x}):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (7.4)$$

де n – число вимірювань;
 x_i – результати вимірювань.

2 Визначення середнього арифметичного відхилення $\tilde{\sigma}$:

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (7.5)$$

3 Оцінка середнього квадратичного відхилення результату вимірювання $\sigma_{\bar{x}}$:

σ – параметр, що характеризує ступінь випадкового розкиду результатів окремих вимірів відносного істинного значення ΔX .

За своїм змістом щільність ймовірності дорівнює відношенню ймовірності попадання випадкової величини в інтервал ΔX до довжини цього інтервалу в припущенні, що останнє прагне до нуля.

Величину σ називають середнім квадратичним відхиленням випадкової похибки виміру і визначають зі співвідношення

$$\sigma_{\tilde{x}} = \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}}. \quad (7.6)$$

4 Визначення довірчого інтервалу Δx

$$\Delta x = t \cdot \sigma_{\tilde{x}} = t \cdot \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}}, \quad (7.7)$$

де t – коефіцієнт Ст'юдента.

5 Подання результату виміру з використанням довірчого інтервалу

$$x = \bar{x} \pm \Delta x; \quad P = P_{\text{зад}}. \quad (7.8)$$

6 Визначення відносної похибки δ_x

$$\delta_x = \pm \frac{\Delta x}{\tilde{x}} \cdot 100 \% \quad . \quad (7.9)$$

7.4 Методика обробки результатів непрямих вимірювань

Непрямі – це такі вимірювання, коли вимірювана величина розраховується за формулою, в яку входять величини, знайдені шляхом прямих вимірювань.

Встановимо формулу для розрахунку похибки при непрямих вимірюваннях. Для цього спочатку розглянемо найпростіший варіант. Припустимо, що ми вимірюємо одну величину x і за нею вираховуємо іншу величину y :

$$y = f(x). \quad (7.10)$$

З математики відомо, що

$$y(x + \Delta x) - y(x) = \frac{dy}{dx} \Delta x, \quad (7.11)$$

звідки

$$y(x + \Delta x) = y(x) + \frac{dy}{dx} \Delta x, \quad (7.12)$$

або

$$y(x + \Delta x) = y(x) + \Delta y, \quad (7.13)$$

де

$$\Delta y = \left| \frac{dy}{dx} \right| \Delta x. \quad (7.14)$$

Як бачимо з (7.14), для того щоб знайти похибку непрямого вимірювання Δy , треба похідну $\left| \frac{dy}{dx} \right|$ помножити на похибку прямого вимірювання Δx .

У випадку, коли вимірюється декілька величин x_1, x_2, \dots, x_n і величина y залежить від них:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (7.15)$$

то похибка Δy залежить від похибок кожної з вимірюваних величин, аналогічно до (7.15):

$$\Delta y = \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n. \quad (7.16)$$

Тут $\frac{\partial y}{\partial x_1}, \frac{\partial y}{\partial x_2} \dots$ – частинні похідні (тобто похідні по кожній змінній x_1, x_2, \dots, x_n зокрема);

$\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ – похибки прямих вимірювань величин x_1, x_2, \dots, x_n .

В теорії похибок показується, що більш точною оцінкою є не арифметична сума (7.16), а так звана «квадратична сума»

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n\right)^2}. \quad (7.17)$$

Таким чином, визначивши похідні $\frac{\partial y}{\partial x_1}, \frac{\partial y}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial y}{\partial x_n}$, а також визначивши похибки прямих вимірювань $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$, за формулою (7.17) можемо розрахувати похибку непрямого вимірювання Δy .

Зауважимо, що $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ – це похибки прямих вимірювань, наприклад, похибки приладів, тобто ті, які розраховуються за класом точності приладу. При непрямих вимірюваннях часто буває простіше спочатку визначити відносну похибку δ , а потім абсолютну Δ :

$$\Delta = \delta \cdot x. \quad (7.18)$$

Можна показати, що при непрямих вимірюваннях, коли y є множенням і діленням незалежних змінних x_1, x_2, \dots, x_n , наприклад,

$$y = \frac{x_1 x_2}{x_3 \dots x_n}.$$

Відносна похибка визначається за формулою

$$\Delta \delta = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta x_n}{x_n}\right)^2}. \quad (7.19)$$

У загальному ж випадку, коли

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

відносна похибка

$$\delta = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln y}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln y}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial \ln y}{\partial x_n} \Delta x_n\right)^2}. \quad (7.20)$$

7.5 Грубі похибки. Методи їх виключення

Груба похибка, або промах – це похибка результату окремого вимірювання, що входить в ряд вимірювання, яка для цих умов різко відрізняється від інших результатів цього ряду.

Джерела грубих похибок:

- різкі зміни умов вимірювання;
- несправність засобів вимірювальної техніки (ЗВТ);
- помилки оператора (неправильно вибрано ЗВТ, неправильний запис результату вимірювання).

При одноразових вимірах виявити промах неможливо.

Для зменшення імовірності появи промахів вимірювання проводять два-три рази і за результат приймають середнє арифметичне отриманих значень.

При багатократних вимірах грубі похибки можуть сильно перевертнути довірчий інтервал, тому їх необхідно виключити з серії вимірювання і перерахувати параметри розподілу.

При багатократних вимірах для виявлення промахів використовують статистичні критерії, заздалегідь визначивши, якому виду розподілу відповідає результат вимірювання.

Широко використовується поняття **максимальної похибки**, під яким розуміють закон трьох сигм [6-8].

Критерій 3σ застосовується для результатів вимірювання, розподілених за нормальним законом.

На практиці число вимірів зазвичай не перевищує декількох десятків, звідси поява похибки, яка дорівнює $\pm 3\sigma$, малоімовірна і її можна вважати промахом (рисунок 7.5). $P=0,997$, $\alpha \leq 0,003$. Тому похибка $\pm 3\sigma$ вважається максимально можливою випадковою похибкою.

Похибки більше $\pm 3\sigma$ вважаються помилками і при обробці результатів вимірів не враховуються.

Сумнівний результат x_i відкидається, якщо $\left| \bar{x} - x_i \right| \geq 3\sigma$. Цей критерій надійний при числі вимірювання $n \geq 20 \dots 50 \dots$

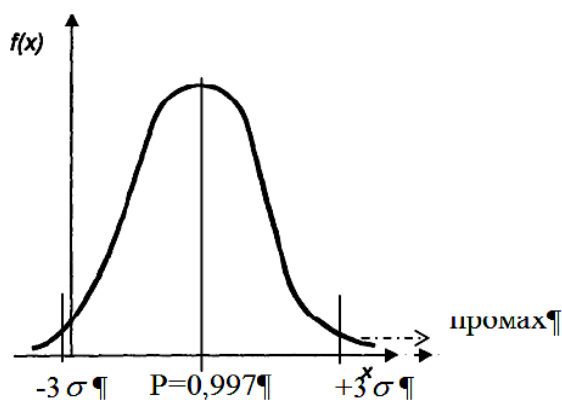


Рисунок 7.5 – Критерій 3σ

При $n > 20$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (7.21)$$

Критерій Романовського застосовується, якщо число вимірювання $n < 20$.

Обчислюється відношення $\left| \frac{x - x_i}{\sigma_x} \right| = \beta$, якщо $\beta \geq \beta_t$, то результат x_i вважається промахом і відкидається. При $n < 20$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (7.22)$$

В таблиці 7.2 подано значення критерію Романовського.

Таблиця 7.2 – Значення критерію Романовського

α/P	$n=4$	$n=6$	$n=8$	$n=10$	$n=12$	$n=15$	$n=20$
0,01/ 0,99	1,73	2,16	2,43	2,62	2,75	2,90	3,08
0,02/ 0,98	1,72	2,13	2,37	2,54	2,66	2,80	2,96
0,05/0,95	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,64	2,78
0,10 /0,9	1,69	2,00	2,17	2,29	2,39	2,49	2,62

Приклад 7.1. При діагностуванні паливної системи автомобіля результати п'яти вимірювань витрати палива склали 22, 24, 26, 28 і 48 л/100 км. $\alpha=0,01$. Виключити з результатів вимірювання грубі похибки.

$$\bar{x} = \frac{22 + 24 + 26 + 28 + 48}{5} = 29,4 \text{ л/100км.}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{(28 - 29,4)^2 + (26 - 29,4)^2 + (24 - 29,4)^2 + (48 - 29,4)^2}{5 - 1}} = \\ &= \sqrt{\frac{1,96 + 11,4 + 29,16 + 54,76 + 345,96}{5 - 1}} = 10,52 \text{ л/100км} \end{aligned}$$

$$\beta = \frac{|29,4 - 48|}{10,52} = 1,76;$$

$$1,76 > 1,73.$$

Останній результат ставимо під сумнів.

Критерій свідчить про необхідність відкидання останнього результату.

Кінцевою метою аналізу похибок вимірювань є оцінювання границь похибок, у яких вони містяться з певною ймовірністю, а результат вимірювання разом з інтервалом, який визначається цими границями похибки, із вказаною ймовірністю накриває істинне значення вимірюваної величини.

7.6 Підсумовування похибок

Похибка вимірювального приладу залежить від похибок його окремих вузлів. Підсумовування похибок здійснюється за певними правилами. Систематичні похибки S_i – підсумовують алгебраїчно з урахуванням власних знаків

$$S_{\Sigma} = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n = \sum_{i=1}^n S_i. \quad (7.23)$$

Оскільки знаки окремих складових похибки різні, можливі випадки, коли $S_{\Sigma} = 0$. На практиці часто знаки систематичних похибок невідомі, а відомі лише їх найбільші значення. У більшості випадків їх дійсні величини значно менші. Арифметичне підсумовування в цьому випадку дає максимальну похибку приладу, яка має мізерно малу ймовірність. Більш правильним є підсумовування похибок за квадратичним законом.

Випадкові похибки підсумовують з обліком їх кореляційних зв'язків. Якщо є дві випадкові величини, що характеризуються середніми квадратичними оцінками σ_1 і σ_2 , то сумарну похибку можна визначити за формулою, яку надає теорія ймовірностей

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_1^2 + 2r\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2, \quad (7.24)$$

де r – коефіцієнт кореляції;

σ_1 і σ_2 – дисперсії випадкових величин.

Сумарна середня квадратична похибка

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + 2r\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}. \quad (7.25)$$

Коефіцієнт r характеризує ймовірнісний зв'язок між випадковими величинами. На практиці, звичайно, інформація про ступінь кореляційного зв'язку відсутня і формулу (7.25) використовують за таких крайніх випадків:

$$r = 0 \text{ і } r = \pm 1.$$

При цьому

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}. \quad (7.26)$$

Якщо ж джерел похибок n , то

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2}. \quad (7.27)$$

При твердому кореляційному зв'язку, коли $r = \pm 1$, вираз (7.25) набуває вигляду

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_1 \pm \sigma_2 . \quad (7.28)$$

Додавання σ_1 і σ_2 здійснюється в тому випадку, коли випадковий фактор викликає у двох вузлах приладу зміну похибок в одному напрямку, а віднімання – коли зміна похибок відбувається в протилежних напрямках.

Контрольні питання до лекції 7

1 Що таке густина розподілу випадкової похибки? Що характеризує форма густини розподілу похибки?

2 Охарактеризуйте довірчі границі випадкової похибки.

3 Коли виникають випадкові похибки?

4 Що є причиною появи випадкових похибок?

5 Основні операції опрацювання результатів вимірювань.

6 Які закони розподілу випадкових похибок Ви знаєте?

7 Як визначити середню арифметичну похибку?

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

9 Як перевірити, чи не містять результати спостережень грубих промахів?

ТЕСТОВІ КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ ДО ЛЕКЦІЇ 7

Q1 Визначити величину відносної похибки вимірювань температури, якщо результат вимірювання дорівнює $37,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, істинне значення дорівнює $37,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

V1 $0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

V2 мінус $0,8 \text{ } \%$;

V3 мінус $0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

V4 $0,8 \text{ } \%$.

Q2 Вимірювання, в якому значення однієї чи декількох вимірюваних величин знаходять за результатами обчислень

за відомими залежностями від декількох величин аргументів, що вимірюються прямо – це ...

- V1 непряме вимірювання;
- V2 метрологічна атестація;
- V3 опосередковані вимірювання;
- V4 сумісні вимірювання.

Q3 При непрямих вимірюваннях похибка знаходиться:

- V1 як середньоквадратичне значення всіх впливових параметрів;
- V2 простим арифметичним складанням;
- V3 як середньоквадратичне значення з поправкою на коефіцієнт Ст'юдента;
- V4 як середньоквадратичне значення з поправкою у вигляді часткових похідних.

Q4 Випадкова похибка в аналогових приладах при невеликому числі вимірювання підпорядковується:

- V1 рівновірогідному закону;
- V2 нормальному (гауссовому) закону;
- V3 розподіленню Ст'юдента;
- V4 розподіленню Пуассона.

Q5 Сформулюйте правило «трьох сигм»:

- V1 будь-який відлік є випадковим;
- V2 відлік є постійним, заздалегідь відомим числом;
- V3 порівняння невідомого розміру з відомим і вираження першого через другий в кратному або частковому відношенні;
- V4 якщо при багаторазовому вимірі сумнівний результат окремого вимірювання відрізняється від середнього більше ніж на три сигми, то з імовірністю 99 % він є помилковим і його слід відкинути;
- V5 порівняння відбувається під впливом безлічі випадкових і невідомих факторів, точний облік яких неможливий, а результат спільного впливу непередбачуваний.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. Засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) та їх вибір

ТЕМА 7. ЛЕКЦІЯ 8. Класифікація засобів вимірювань за функціональним призначенням

8.1 Засоби вимірювань, їх види та класифікаційні ознаки

Засіб вимірювальної техніки (ЗВТ) – це технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики. ЗВТ взаємодіє з об'єктами, внаслідок чого на його вході отримують сигнали, які містять інформацію про вимірювану величину. Згідно з ДСТУ 2681-94 до ЗВТ належать *засоби вимірювань (ЗВ)* та *вимірювальні пристрої (ВПР)* [2].

Засобами вимірювань є засоби, що реалізують процедуру вимірювань, а саме, вимірювальні та реєструвальні прилади, аналогові вимірювальні прилади, цифрові вимірювальні прилади, вимірювальні установки, вимірювальні канали та вимірювальні інформаційні системи. Особливістю засобів вимірювань є те, що з їх допомогою безпосередньо одержують результат вимірювань.

Вимірювальні пристрої – це засоби вимірювальної техніки, в яких виконується лише одна зі складових частин процедури вимірювань – вимірювальна операція. Виділяють такі вимірювальні пристрої: міра, вимірювальний перетворювач, масштабний перетворювач, компаратор та числовий вимірювальний перетворювач (обчислювальний компонент). Особливістю ВПР є те, що вони самотійно не забезпечують одержання результату вимірювання, а лише в сукупності з іншими пристроями та засобами вимірювань.

На рисунку 8.1 наведена узагальнена класифікація засобів вимірювальної техніки.

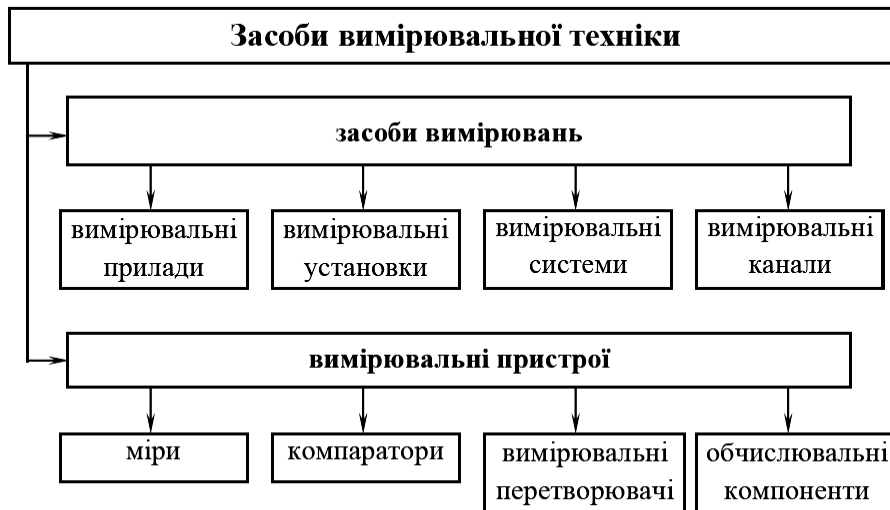


Рисунок 8.1 – Узагальнена класифікація засобів вимірювальної техніки

8.2 Вимірювальні прилади

Відтворення фізичної величини – це вимірювальна операція, що полягає у створенні та (чи) зберіганні фізичної величини заданого значення. Відтворення є найважливішою операцією вимірювання, тому що визначається ступінь його досконалості – точність. Засіб відтворення фізичної величини в метрології має назву **міра**.

Міра – це вимірювальний пристрій, що реалізує відтворення та (або) зберігання фізичної величини заданого розміру. Структурна схема міри наведена на рисунку 8.2.

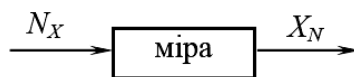


Рисунок 8.2 – Структурна схема міри

На вхід такого пристрою надходить значення відтворюваної величини, тобто число NX , а на виході – відтворена із заданою точністю величина XN .

Міри поділяються на **еталони**, **зразкові** та **робочі**.

Еталони займають значне місце серед мір, так як мають найвищу точність та здійснюють відтворення та зберігання

одиниць фізичних величин з метою передачі їх розміру зразковим мірам.

Крім того, міри поділяються на *однозначні*, які відтворюють фізичну величину у даний момент часу одного розміру, і *багатозначні*, які відтворюють багато значень фізичної величини із заданими у деякому діапазоні. Наприклад, гиря – однозначна міра маси; вимірювальний резистор – однозначна міра електричного струму; лінійка з діленнями – багатозначна міра довжини; конденсатор змінної ємності з градуйованою шкалою – багатозначна міра електричної ємності.

Спеціально підібраний комплекс конструктивно відокремлених мір, які використовуються не тільки окремо, але і в різних співз'єднаннях, називається *набором мір* (наприклад, набір вимірювальних резисторів, набір гирь і т. д.).

Набір мір, конструктивно об'єднаних в одне ціле із засобами для включення їх в різних комбінаціях, називається *магазином мір* (наприклад, магазин опорів, магазин індуктивностей, магазин ємності).

Точне порівняння з мірою виконують за допомогою спеціальних технічних засобів – компараторів (рівноплечі ваги, вимірювальний міст та ін.).

Компаратор (пристрій порівняння) – це вимірювальний пристрій, що реалізує порівняння однорідних фізичних величин.

Порівняння – це вимірювальна операція, що полягає у відображенні співвідношення між розмірами двох однорідних фізичних величин відповідальним висновком: більша, менша чи однакова за розміром. Порівняння величин широко використовується в різноманітних процедурах: вимірюванні, контролі, розпізнаванні образів та керуванні.

До однозначних мір відносяться також зразки та зразкові речовини. Стандартні зразки речовин і матеріалів являють собою спеціально оформлені тіла або проби речовин певного та строго регламентованого складу, одна із властивостей яких за певних умов є величиною з відомим значенням. До них відносяться зразки твердості, шорсткості, білої поверхні, а також стандартні зразки, що використовуються для визначення механічних властивостей матеріалів. Зразкові речовини відіграють значну роль у створенні реперних точок під час виконання шкал.

Наприклад, чистий цинк служить для відтворення температури 419,58 °С, золото – 1064,43 °С. Залежно від похибки атестації міри поділяють на розряди (міри 1-го, 2-го і т.д. розрядів), а похибка мір є основою їх поділення на класи. Міри, яким присвоєний той або інший розряд, застосовуються для перевірки вимірювальних засобів і називають зразковими.

Зразкові міри передають розмір фізичних величин **робочим мірам**, які призначені для визначення метрологічних характеристик засобів вимірювання.

Вимірювальне перетворювання фізичної величини – це вимірювальна операція, під час якої вхідна фізична величина перетворюється у вихідну, функціонально з нею пов'язану. Головне завдання вимірювальних перетворень – це одержання вихідних фізичних величин та залежностей між ними, які зручні для порівняння та відтворення.

Вимірювальний перетворювач – це вимірювальний пристрій, що реалізує вимірювальне перетворення (рисунок 8.3).

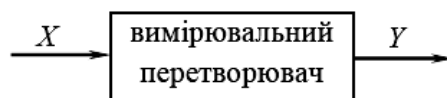


Рисунок 8.3 – Структурна схема вимірювального перетворювача

Допоміжний засіб вимірів – засіб вимірів величин, що впливають на метрологічні властивості іншого засобу вимірів.

Вимірювальна установка – сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірів (вимірювальних приладів, мір, вимірювальних перетворювачів) і допоміжних пристроїв, призначених для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручній для безпосереднього сприйняття спостерігачем і розташованій в одному місці.

Вимірювальна система – сукупність засобів вимірів, з'єднаних між собою каналами зв'язку, призначена для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручній для автоматичної обробки, передачі і використання в автоматичних системах керування.

Вимірювальний прилад – засіб вимірювань, що призначений для отримання сигналу вимірювальної інформації у

формі, яка доступна для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

Вимірювальні системи різноманітні за призначенням, принципом дії, метрологічними експлуатаційними характеристиками. Тому класифікаційних ознак існує дуже багато. Розглянемо найбільш загальні з них.

Відповідно до форми вимірювальної інформації, яка є у вихідних сигналах вимірювальних приладів, їх підрозділяють на **аналогові і цифрові**.

Аналоговим називається прилад, *інформативний параметр* вихідного сигналу якого є фізичним аналогом вимірювальної величини (інформативного параметра вхідного сигналу). Наприклад, переміщення рухомої частини пружинного манометра – аналог вимірювального тиску.

Цифровим називається прилад, у якого *вихідний сигнал* є цифровим, тобто містить інформацію про значення *вимірювальної величини*, яка закодована в цифровому коді. Показання аналогових приладів також цифрові, але їх аналогові вихідні сигнали квантує і кодує в цифровому коді сам спостерігач в процесі зчитування показань по шкалі, тоді як в цифровому приладі ці операції здійснюються автоматично.

Вимірювальний прилад, який допускає тільки зчитування показань, називається **показувальним**, а прилад, в якому передбачена автоматична фіксація вимірювальної інформації – **реєструвальним**.

Класифікаційна ознака, якою є вимірювальна величина, відображається у найменуванні вимірювального приладу (наприклад, вологомір або гігрометр, висотомір або альтиметр, частотомір, манометр, калориметр, амперметр, вольтметр і т.д.), тобто у найменуванні відображена одиниця вимірювальної величини.

За методами, що використовуються у вимірювальних перетвореннях, вимірювальні прилади можна поділити на прилади прямого перетворення і зрівноваження.

Вимірювальні прилади за способом порівняння *вимірювальної величини* з мірою поділяються на прилади безпосередньої оцінки і прилади порівняння.

Прилади безпосередньої оцінки, як правило, градууються заздалегідь в одиницях вимірювальної величини. Отож, міра бере участь в процесі градуювання, а не при вимірах.

В приладах порівняння міра виступає невід'ємною частиною кожного процесу виміру.

Найбільшого поширення набули прилади прямої дії, в процесі використання яких вимірювана величина підлягає низці послідовних перетворень в одному напрямі, тобто без повернення до вихідної величини.

До приладів прямої дії відноситься більшість манометрів, термометрів, амперметрів, вольтметрів.

Контрольні питання до лекції 8

- 1 Дайте визначення таким термінам: засоби вимірювальної техніки, міра, вимірювальний прилад та система.
- 2 Що таке засоби вимірювань? Наведіть приклади.
- 3 Що таке вимірювальні пристрої? Наведіть приклади.
- 4 Що таке зразкові міри, їх призначення?
- 5 Дайте визначення термінам: набір мір та магазин мір.

ТЕСТОВІ КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ ДО ЛЕКЦІЇ 8

Q1 Вимірювальний пристрій, що реалізує відтворення та (або) зберігання фізичної величини заданого розміру – це ...

- V1 вимірювальний перетворювач;
- V2 міра;
- V3 компаратор;
- V4 аналоговий вимірювальний прилад.

Q2 Вимірювальний пристрій, що реалізує вимірювальне перетворення – це ...

- V1 міра;
- V2 вимірювальний перетворювач;
- V3 реєструвальний засіб вимірювання;
- V4 цифровий вимірювальний прилад.

Q3 Сукупність засобів вимірів, з'єднаних між собою каналами зв'язку – це...

- V1 вимірювальний перетворювач;
- V2 вимірювальна система;
- V3 компаратор;
- V4 аналоговий вимірювальний прилад.

Q4 Засіб вимірювань, що призначений для отримання сигналу вимірювальної інформації у формі, яка доступна для безпосереднього сприйняття спостерігачем – це...

- V1 міра;
- V2 вимірювальний перетворювач;
- V3 реєструвальний засіб вимірювання;
- V4 вимірювальний прилад.

Q5 Засіб вимірів величин, що впливають на метрологічні властивості іншого засобу вимірів – це...

- V1 допоміжний засіб вимірів;
- V2 вимірювальна система;
- V3 компаратор;
- V4 аналоговий вимірювальний прилад.

ТЕМА 8. ЛЕКЦІЯ 9. Метрологічні показники та характеристики засобів вимірювань

9.1 Характеристики засобів вимірювальної техніки

Вимірювальна техніка має великий арсенал різноманітних засобів. Проблема правильного вибору необхідного засобу вимірювань є важливою та актуальною. Для вирішення такої проблеми є критерії оцінки ефективності застосування засобів вимірювань, якими є технічні характеристики засобів вимірювань [6, 9].

Технічні характеристики (метрологічні та неметрологічні) відображають властивості та функціонування засобів вимірювальної техніки.

Метрологічними є ті характеристики засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), які впливають на результат та точність вимірювання.

Нормованими метрологічними характеристиками вимірювальних приладів є: діапазон вимірювань, клас точності, чутливість та поріг чутливості, стала та ціна поділки шкали,

умови застосування – для аналогових вимірювальних приладів, та кількість розрядів і значення одиниці найменшого розряду – для цифрових вимірювальних приладів. Ці характеристики використовуються для оцінювання результатів вимірювань та встановлення параметрів якості виконаних вимірювань.

В таблиці 9.1 наведені розподіл усієї сукупності метрологічних характеристик ЗВТ, який містить шість груп. Слід відзначити, що для конкретного ЗВТ застосовують такі метрологічні характеристики, які необхідні для визначення результату та оцінювання точності вимірювань. Такі метрологічні характеристики для конкретного ЗВТ регламентуються Державними стандартними та нормативно-технічними документами на певний ЗВТ.

Таблиця 9.1 – Складові сукупності метрологічних характеристик

Найменування групи	Складові сукупності метрологічних характеристик
1. Характеристики, за якими визначають результат вимірювання	- функція перетворення ЗВТ; - номінальне значення однозначної або номінальні значення багатозначної міри; - стала приладу (ціна поділки шкали) вимірювального приладу або багатозначної міри; - вид вихідного коду, кількість розрядів коду, одиниця молодшого розряду коду цифрових засобів вимірювань.
2. Характеристики, за якими оцінюють точність ЗВТ	- характеристики систематичної складової похибки; - характеристики випадкової складової похибки.
3. Характеристики чутливості ЗВТ до величин впливу	- функція або коефіцієнт впливу; - зміни значень метрологічних характеристик ЗВТ, які спричинені змінами величин впливу у встановлених межах.
4. Динамічні характеристики ЗВТ	Характеристики відповідають динамічному режиму роботи ЗВТ, за якого перетворювана величина є функцією часу: - часові динамічні характеристики; - частотні динамічні характеристики.
5. Характеристики взаємодії ЗВТ з об'єктами дослідження та навантаження	
6. Неінформативні параметри вихідного сигналу ЗВТ	

Основними характеристиками вимірювальних приладів є діапазон показань, діапазон вимірювань, поріг чутливості, ціна поділки шкали та стала приладу – для аналогових вимірювальних приладів та значення одиниці найменшого розряду – для цифрових вимірювальних приладів.

Складовою частиною аналогового приладу є шкала.

Шкала – це частина пристрою відліку у вигляді впорядкованої сукупності позначок разом з пов’язаною з нею певною послідовністю чисел. Позначкою шкали може бути риска або інший знак на шкалі, що відповідає одному або декільком значенням вимірюваної величини.

Якщо довжина поділок (відстань між осями сусідніх позначок) є сталою вздовж всієї шкали, то така шкала є **рівномірною**. Шкала з поділками різної довжини має назву **нерівномірної (нелінійної)**.

На рисунку 9.2 наведена структура шкали аналогового приладу – ватметра, яка наочно пояснює такі характеристики аналогового приладу, як діапазон показань, межі (границі) та діапазон вимірювань.



Рисунок 9.2 – Структура шкали аналогового приладу

Вказане на шкалі **початкове значення шкали** X_n є найменшим значенням вимірюваної величини X . Вказане на шкалі **кінцеве значення шкали** X_k є найбільшим значенням вимірюваної величини X .

Діапазон показань – це інтервал значень вимірюваної величини, який обмежений найменшим у діапазоні показань та найбільшим її значенням.

Частина діапазону показань засобу вимірювань, для якої пронормовані границі допустимих похибок, називається **діапазоном вимірювань**.

Найменше і найбільше значення діапазону вимірювань називають **нижньою** X_n і **верхньою** X_v **границею вимірювань**.

Верхня границя вимірювання X_v практично завжди збігається з верхньою границею показань X_k ЗВ, тобто $X_v = X_k$, а

нижня границя вимірювання X_n не завжди збігається з початковим значенням шкали X_n , як видно з рисунка 9.2.

Інтервал показань між позначками шкали X_n та X_n є *неробочим* і не входить в діапазон вимірювань засобу вимірювання. У таких випадках нижню границю вимірювання X_n засобу позначають спеціальною точкою на шкалі біля цифри.

Враховуючи усе вищенаведене визначаємо згідно з рисунком 9.2:

- початкове значення шкали X_n дорівнює 0 Вт ;
- нижня границя вимірювання X_n дорівнює 30 Вт ;
- верхня границя вимірювання X_v дорівнює верхній границі показань X_k та дорівнює 75 В ;
- діапазон показань становить $0 \dots 75 \text{ Вт}$;
- діапазон вимірювань становить $30 \dots 75 \text{ Вт}$.

Показання вимірювального приладу (x) – це значення вимірюваної величини, яке відтворене шкалою вимірювального приладу і подане сигналом вимірювальної інформації. Найбільше число, яке можна зчитати з пристрою відліку, має назву **максимальне показання**.

Відлік (N_v) – це неіменоване абстрактне число, яке зчитане з пристрою відліку або одержане підрахунком послідовних позначок чи сигналів. Найбільше число, яке можна зчитати з пристрою відліку, має назву **максимальний відлік ($N_{v,max}$)**.

Ціна поділки шкали ($C_{под}$) – це різниця значень вимірюваної величини, що відповідає відстані між двома найближчими позначками шкали.

Стала приладу (C) – це відношення границі вимірювання приладу (X_k) або максимального значення багатозначної міри до максимального показання і є іменованим числом в одиницях величини x . Сталу приладу визначають за виразом

$$C = \frac{X_k}{N_{v,max}}. \quad (9.1)$$

Показання x , відлік N_v , стала приладу C і ціна поділки шкали $C_{под}$ пов'язані між собою співвідношенням

$$x = N_v \cdot C = N_{под} \cdot C_{под} \quad (9.2)$$

Приклад 9.1. Визначити сталу вольтметра з границею вимірювання 600 В і максимальним відліком 150 .

Розв'язання

Так як границя вимірювального приладу $U_{\kappa}=600\text{ В}$, максимальний відлік, тоді за виразом (9.1) визначається стала вольтметра

$$C_{PV} = \frac{U_{\kappa}}{N_{Bmax}} = \frac{600}{150} = 4\text{В}.$$

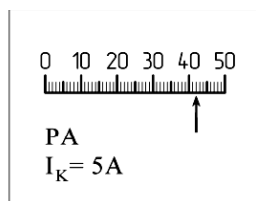
Приклад 9.2. Визначити сталу ватметра з границею вимірювання напруги 150 В та границею вимірювання струму 5 А та з максимальним відліком 75 .

Розв'язання

Так як границя вимірювання активної потужності ватметра дорівнює

$P_{\kappa}=U_{\kappa} \cdot I_{\kappa}= 150\text{ В} \cdot 5\text{ А}=750\text{ Вт}$, отже, стала ватметра дорівнює

$$C_{PW} = \frac{U_{\kappa} \cdot I_{\kappa}}{N_{Bmax}} = \frac{750}{75} = 10\text{Вт} / \text{под}.$$



Приклад 9.3. Задана шкала амперметра на 5 А і положення покажчика (рисунок до прикладу 9.3). Визначити відлік, зчитану кількість поділок, сталу та ціну поділок, показання відповідної сталої та показання

відповідно до ціни поділки.

Розв'язання

1 Границя вимірювального приладу $I_{\kappa}= 5\text{ А}$; максимальний відлік $N_{B,max}=50$; максимальна кількість поділок $N_{\text{под},max}=50$.

2 Відлік дорівнює $N_B=42$; зчитана кількість поділок $N_{\text{под}}=42$.

3 Згідно з виразом (9.1) та означенням ціни поділки шкали визначаємо, що стала амперметра дорівнює

$$C_{PA} = \frac{I_{\kappa}}{N_{Bmax}} = \frac{5}{50} = 0,1\text{А} / \text{под},$$

а ціна поділки дорівнює $C_{под} = 0,1 \text{ A/под}$.

4 Показання амперметра I відповідно до сталої амперметра дорівнює

$$I = N_B C_{РА} = 42 \cdot 0,1 = 4,2 \text{ A.}$$

5 Показання амперметра I відповідно до ціни поділки шкали амперметра дорівнює

$$I = N_{под} C_{под} = 42 \cdot 0,1 = 4,2 \text{ A.}$$

Для кожного типу засобів вимірювання установлюють свої, характерні для цього типу, метрологічні характеристики, які фіксуються у паспорті приладу.

Так, наприклад:

у паспорті на мікрометр МК 25 вказані такі характеристики:

- границі вимірювань, мм від 0 до 25;
- допустима похибка, мм $\pm 0,004$;
- ціна поділки, мм $- 0,01$.

У паспорті на штангенциркуль ШЦ-П-250 вказані такі характеристики:

- границі вимірювань, мм від 0 до 250;
- величина відліку по ноніусу, мм від 0,05 або 0,1;
- похибка вимірювань, мм $\pm (0,005 \text{ або } 0,1)$.

Контрольні питання до лекції 9

1 Що відображають технічні характеристики ЗВТ?

2 Що відноситься до нормованих метрологічних характеристик?

3 Що таке метрологічні та неметрологічні характеристики ЗВТ?

4 Охарактеризуйте такі поняття: «шкала приладу», «діапазон показань та діапазон вимірювань», «показання вимірювального приладу», «ціна поділки» та «стала приладу».

5 Як пов'язані між собою показання, стала приладу та ціна поділки?

6 Які існують границі вимірювань?

ТЕСТОВІ КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ ДО ЛЕКЦІЇ 9

Q1 Які характеристики засобів вимірювальної техніки є метрологічними?

V1 характеристики, які впливають на результат та точність вимірювання;

V2 характеристики, які відображають властивості та функціонування засобів вимірювальної техніки;

V3 характеристики, які описують функціональний взаємозв'язок між вихідною та вхідною фізичними величинами;

V4 характеристики, за якими оцінюють точність засобів вимірювальної техніки.

Q2 Що таке стала вимірювального приладу?

V1 це різниця значень вимірюваної величини, що відповідає відстані між двома найближчими позначками шкали;

V2 це інтервал значень вимірюваної величини, який обмежений початковим і кінцевим значеннями шкали приладу;

V3 це найбільше число, яке можна зчитати з пристрою відліку;

V4 це відношення границі вимірювання приладу або максимального значення багатозначної міри до максимального показання приладу.

Q3 Визначити сталу вольтметра, В/поділка, з границею вимірювання 600 В і з максимальним відліком 150.

V1 4 В/поділка;

V2 4,5 В/поділка;

V3 3,5 В/поділка;

V4 0,4 поділка/В.

Q4 Визначити показання ватметра, Вт, стала якого дорівнює 5 Вт/поділка, якщо за положенням стрілочного покажчика на шкалі встановлено, що відлік дорівнює 70.

V1 300 Вт;

V2 400 Вт;

V3 350 Вт;

V4 250 Вт.

Q5 Визначити сталу електродинамічного ватметра, Вт/поділка, у якого границя вимірювання за напругою

дорівнює 300 В, границя вимірювання за струмом – 5 А, максимальний відлік 150.

V1 2 В/поділлка;

V2 0,33 А/поділлка;

V3 10 Вт/поділлка;

V4 3 поділлка/А.

ТЕМА 8. ЛЕКЦІЯ 10. Клас точності та похибки засобу вимірювання

10.1 Клас точності засобу вимірювання та оцінка похибки одноразових вимірювань

Для визначення похибки ЗВТ, які використовуються в повсякденній практиці, введена метрологічна характеристика – клас точності ЗВТ (К) [6, 11].

Клас точності засобу вимірювань – це узагальнена характеристика засобу, яка визначається границями його допустимих основної і додаткових похибок, а також регламентованими характеристиками, що впливають на його точність. Слід відзначити, що клас точності ЗВ – *це не похибка*, а кількісна характеристика, за величиною якої можна оцінити похибку ЗВ.



На практиці можна застосувати вимірювальний прилад високого класу точності, але в результаті неправильно проведеного експерименту (наприклад, в області неробочого інтервалу вимірювань) отримати велику похибку показання приладу.

Клас точності присвоюють ЗВТ при їх розробці на підставі досліджень і випробувань показної партії ЗВТ цього типу.

У технічній документації клас точності встановлений у вигляді абсолютних похибок, позначений прописними буквами латинського алфавіту (менша межа похибки відповідає букві ближче до початку алфавіту) або римськими цифрами (менша межа похибки – менша цифра). ЗВТ повинні задовольняти вимоги до метрологічних характеристик, встановлених для присвоєного їм класу точності як при випуску їх з виробництва, так і в процесі експлуатації.

В таблиці 10.1 наведені умовні позначення класів точності ЗВ з поясненням їх змісту.

Таблиця 10.1 – Умовні позначення класів точності ЗВ

Позначення класу точності		Форма похибки	Вираз для оцінювання, границі допустимої основної похибки	Пояснення
на засобі вимірювання	в технічній документації			
0,5	клас точності 0,5	зведена	$\gamma = \frac{\Delta X}{X_H} \cdot 100\%$; $\gamma = \pm 0,5\%$	нормоване значення X_H визначено в одиницях вимірюваної фізичної величини
	клас точності 1,5	зведена	$\gamma = \frac{\Delta X}{X_H} \cdot 100\%$; $\gamma = \pm 1,5\%$	нормоване значення X_H приймається рівним довжині шкали або її частині
	клас точності 2,5	відносна	$\delta = \pm 2,5\%$	позначення класу точності надає безпосередню вказівку на границю допустимої основної похибки

Метрологічні характеристики, які визначаються класом точності, нормують межі допустимих основної і додаткової похибок, які виражаються у формі приведених, відносних або абсолютних похибок, залежно від характеру зміни похибок в межах діапазону вимірювання.

Межа допустимої основної похибки – це інтервал, в якому знаходиться значення основної похибки.

Рівномірна шкала ЗВТ:

1 У формі приведених похибок, якщо допустимі межі основної і додаткових похибок приладу практично незмінні в усьому діапазоні вимірювання ΔX , тобто $\Delta_{си} = \pm a$:

$$\delta_p = \frac{\Delta_{си}}{\Delta x} 100\% = \pm K\%. \quad (10.1)$$

Клас точності позначається числом із стандартизованого ряду чисел К. Наприклад, на приладі 0,5.

2 У формі відносних похибок, якщо допустимі межі основної і додаткових похибок приладу прямо пропорційні виміряній величині x_i , тобто $\Delta_{си} = \pm bx$.

$$\delta_p = \frac{\Delta_{cu}}{x_{\text{показання-приладу}}} 100\% = \pm K\%. \quad (10.2)$$

Клас точності позначається із стандартизованого ряду чисел.

З У формі відносних похибок, якщо допустимі межі основної і додаткових похибок приладу характеризуються абсолютною похибкою, $\Delta_{cu} = \pm (a+bx)$:

$$\delta = \pm [c+d(\Delta X/x-1)] \% . \quad (10.3)$$

Клас точності позначається дробовим числом c/d , де величини c і d позначаються числами із стандартизованого ряду чисел. Наприклад, на приладі 0,02/0,01.

Нерівномірна шкала ЗВТ

Межі абсолютної похибки (Δ_{cu}) приймають рівними усій довжині шкали або її частини (ΔX), виражають, як і довжину шкали, в одиницях довжини, мм,

$$\Delta_{cu} = \pm a : \delta_p = \pm \frac{\Delta_{cu}}{\Delta x} 100\% = \pm K\%. \quad (10.4)$$

На приладі клас точності позначають K , наприклад 0,5.

Стандартизований ряд чисел для визначення класу точності ЗВТ

$$\delta_{r, n} = \alpha_r * 10^n,$$

де $r = 1, \dots, 10$; $n = 1, 0, -1, -2, \dots$

$\alpha_1 = 1,0$; $\alpha_2 = 1,5$; $\alpha_3 = 1,6$; $\alpha_4 = 2,0$; $\alpha_5 = 2,5$; $\alpha_6 = 3$; $\alpha_7 = 4,0$; $\alpha_8 = 5,0$; $\alpha_9 = 6$; $\alpha_{10} = 7,0$.

Клас точності вимірювального засобу $K = \delta_{r, n} * 100$.

На практиці виконуються одноразові виміри методом безпосередньої оцінки результату вимірювання. Похибка одноразового вимірювання прирівнюється до похибки ЗВТ, за допомогою якої вона отримана в нормальних умовах його експлуатації.

Результат одноразового вимірювання записується у вигляді $Q \pm \Delta$.

Приклад використання класу точності для оцінки похибки ЗВТ в нормальних умовах експлуатації, а значить, і похибки одноразового вимірювання, виконаного методом безпосередньої оцінки результату вимірювання.

Приклад 10.1. У нормальних умовах експлуатації виконаний одноразовий вимір ФВ приладом класу точності 0,02/0,01 з діапазоном вимірювання $\Delta X = 50$ А. Виміряне значення ФВ $x = 25$ А. Визначити Δ похибку одноразового вимірювання і записати кінцевий результат вимірювання ФВ. Абсолютна похибка результату одноразового вимірювання визначається похибкою приладу.

Розв'язання

$$\delta = \pm [c + d(\Delta X/x - 1)] \% = \pm [0,02 + 0,01(50 \text{ А}/25 \text{ А} - 1)] \% = \pm 0,03 \%. \\ \Delta = \pm (\delta * x_{\text{вим}}) / 100 \% = \pm (0,03\% * 25 \text{ А}) / 100 \% = \pm 0,0075 \text{ А}.$$

Результат одноразового вимірювання $I = (25,000 \pm 0,007) \text{ А}$.

Приклад 10.2. Визначити клас точності ЗВТ. В результаті дослідження приладу встановлено, що в усьому діапазоні вимірювання $\Delta X = 250$ А, максимальна абсолютна похибка приладу не більш 6 А ($\Delta = 6$ А). Визначити клас точності приладу.

Розв'язання

Оскільки абсолютна похибка приладу постійна в усьому діапазоні вимірювання, то клас точності визначається через приведену похибку:

$$\delta_p = \pm \frac{\Delta}{\Delta x} 100\% = \pm K\%, \quad \delta_p = \pm \frac{64}{250 \text{ А}} 100\% = \pm 2,4\%.$$

Серед стандартизованого ряду чисел для класу точності значення 2,4 немає. Тому для класу точності вибираємо найближче значення з ряду стандартизованих чисел – 2,5. $K = 2,5$.

Для цифрових приладів клас точності на шкалі позначається записом, наприклад, 0,02/0,01. В технічній документації це позначення класу точності має вигляд c/d , яке дорівнює 0,02/0,01. Форма похибки – відносна.

Клас точності, в загальному вигляді, записується через косу риску з двома літерами c/d : літера d – клас точності при нульовому значенні $x = 0$, літера c – клас точності при кінцевому

значенні. Числове значення класу точності ЗВТ вказується на циферблаті аналогового вимірювального приладу або у паспорті чи технічному описі приладу, як для багатограничних цифрових вимірювальних приладів: $x = X_k$.

10.2 Класифікація похибок засобів вимірювань та їх нормування

Через недосконалість конструкції засобів вимірювання, а також через кінцеві можливості технології їх виготовлення виникають інструментальні похибки, які необхідно оцінювати кількісно в процесі експлуатації. На рисунку 10.1 наведена класифікація похибок засобів вимірювань.

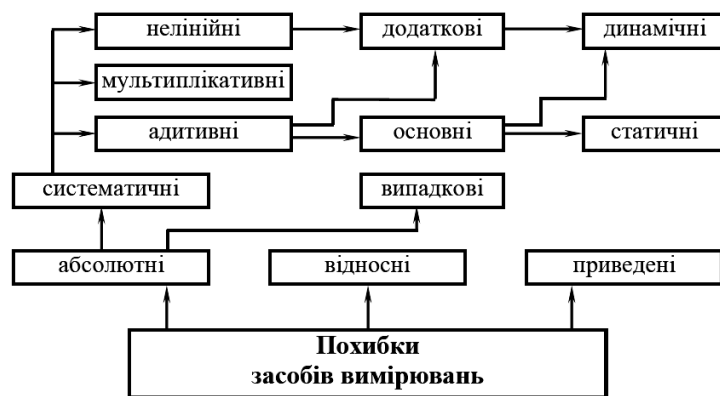


Рисунок 10.1 – Класифікація похибок засобів вимірювань

Похибки вимірювальної техніки за способом вираження поділяють на *абсолютні, відносні та приведені*.

Залежно від умов експлуатації розрізняють *основну і додаткову* похибки.

Основна похибка – це похибка засобу вимірювальної техніки за нормальних умов його застосування.

Нормальні умови застосування ЗВ – це такі умови, за яких впливні величини мають нормальні значення чи знаходяться у межах нормального інтервалу значень.

Впливні величини – це сукупність величин, які є вимірюваними, але впливають на точність засобів вимірювальної техніки та змінюють результати вимірювань. До таких величин належать характеристики навколишнього середовища, в якому

відбуваються вимірювання, та кліматичні величини: температура, вологість, тиск, магнітне поле, вібрації, радіоактивне випромінювання, а також це характеристики живлення ЗВТ, а саме, нестабільність напруги живлення та частота струму.

Якщо значення впливної величини виходить за межі нормальних значень, але знаходиться у межах робочих значень, крім основної похибки виникає ще й *додаткова інструментальна похибка ЗВТ*.

Адитивна похибка – це складова абсолютної похибки засобу вимірювальної техніки, яка не залежить від вимірюваної величини. Така похибка ще має назву *похибка нуля*.

Мультиплікативна похибка – це складова похибки засобу вимірювальної техніки, яка пропорційна вимірюваній величині. Така похибка ще має назву *похибка чутливості*.

Для оцінки похибок засобів вимірювань в процесі вимірювання призначені **нормовані значення похибок**, які є граничними для певного типу засобів вимірювань.

Границя допустимої похибки ЗВТ – це найбільше значення похибки ЗВТ, за яким цей засіб ще може бути придатним до застосування.

Основні теоретичні положення про похибки вимірювань логічно пов'язані із властивостями ЗВТ, особливостями методик вимірювань, повірки та рівнем розвитку науки про вимірювання — метрології.

10.3 Неметрологічні характеристики ЗВ

Крім метрологічних характеристик засобів вимірювань важливо знати й їх неметрологічні характеристики, а саме, *надійність, працездатність, відмова, безвідмовність, довговічність, економічність та термін служби* (таблиця 10.2).

Таблиця 10.2 – Неметрологічні характеристики ЗВТ

Неметрологічна характеристика	Означення
1	2
Надійність	Здатність ЗВТ зберігати свої характеристики у заданих межах за певних умов експлуатації упродовж заданого часу

Продовження таблиці 10.2

1	2
Працездатність	Стан ЗВТ, при якому він здатний виконувати свої функції згідно з вимогами нормативно-технічної та конструкторсько-технологічної документації
Відмова	Стан ЗВТ, при якому здійснюється порушення його працездатності. Відмова поділяється на раптову відмову та на поступову відмову
Безвідмовність	Властивість ЗВТ зберігати працездатність упродовж певного інтервалу часу у певних умовах експлуатації
Ймовірність безвідмовної роботи	Ймовірність того, що протягом певного часу безперервної роботи не відбудеться жодної відмови
Економічність	Простота конструкції ЗВТ та виправдана економічна вартість
Довговічність	Властивість ЗВТ зберігати працездатність і задану ефективність в часі

Контрольні питання до лекції 10

- 1 Що таке клас точності ЗВТ?
- 2 Які різні способи вираження класу точності існують?
- 3 Наведіть умовні позначення класів точності ЗВ та поясніть їх зміст.
- 4 Що таке нормування похибок ЗВТ?
- 5 Як класифікують похибки засобів вимірювань?
- 6 Що таке неметрологічні характеристики ЗВТ?

ТЕСТОВІ КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ ДО ЛЕКЦІЇ 10

Q1 Що таке клас точності засобу вимірювальної техніки?

V1 це похибки, які виникають під час динамічних вимірювань, в яких вимірювана величина під час вимірювального експерименту може змінюватися;

V2 це похибки, які виникають під час статичних вимірювань, в яких вимірювана величина упродовж вимірювального експерименту не змінюється;

V3 це узагальнена характеристика засобу вимірювань, що визначається межами його допустимих основної і додаткових

похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на його точність;

V4 це занадто великі відхилення результату вимірювання від істинного значення, які є неможливими при використанні справних засобів вимірювань в робочих умовах.

Q2 Розшифруйте умовне позначення класу точності 0,5/0,2:

V1 клас точності цифрового приладу;

V2 клас точності аналогового приладу;

V3 клас точності електронного приладу;

V4 приведена похибка приладу.

Q3 Похибка засобу вимірювальної техніки за нормальних умов його застосування є ...

V1 основною похибкою;

V2 додатковою інструментальною;

V3 адитивною;

V4 мультиплікативною.

Q4 Здатність засобу вимірювальної техніки зберігати свої характеристики у заданих межах за певних умов експлуатації упродовж заданого часу має назву ...

V1 працездатність засобу вимірювальної техніки;

V2 економічність засобу вимірювальної техніки;

V3 відмова засобу вимірювальної техніки;

V4 надійність засобу вимірювальної техніки.

Q5 Є два вимірювальних прилади рівня 0,5 і 1,0. Із них перший:

V1 має більшу похибку, ніж другий;

V2 має меншу похибку, ніж другий;

V3 прилади відрізняються діапазоном вимірювальних величин;

V4 прилади мають різні ціни.

ТЕМА 9. ЛЕКЦІЯ 11. Метрологічне забезпечення єдності вимірювань

Точність результатів вимірювань однакових фізичних величин неможлива без використання єдиної кількісної міри.

Єдність у вимірюваннях одних і тих самих фізичних величин незалежно від того, якими методами та засобами й у яких умовах виконується вимірювання, є необхідною вимогою до сучасної вимірювальної техніки, тобто проведення вимірювань у будь-якій точці простору або часу за однаковими методиками та на ЗВТ, що відтворюють установлені одиниці фізичних величин, дає змогу отримати достовірні результати. Тому забезпечення єдності вимірювань є одним з основних завдань метрології.

11.1 Класифікація еталонів

Еталон одиниці ФВ – це високоточна міра, призначена для відтворення, зберігання і передачі її розміру нижчим за повірочною схемою засобам вимірювання, виконана за особливою специфікацією і офіційно затверджена в установленому порядку як еталон.

Французьке слово «*etalon*» означає зразок, мірило, узаконений тип чогось, ретельно виготовлену міру, прийняту як зразок.

ДСТУ 3231-95 встановлює класифікацію, призначення, загальні вимоги до створення, зберігання і застосування еталонів.

Еталон повинен мати ознаки: незмінність, відтворюваність одиниці фізичної величини з найменшою похибкою, можливість порівняння за повірочною схемою з найвищою точністю.

Незмінність еталона – властивість еталону утримувати незмінним розмір відтвореної ним одиниці протягом тривалого періоду часу, а усі виміри, залежні від зовнішніх умов (температура, вологість, тиск тощо), мають бути строго визначеними функціями величин, що доступні точному вимірюванню.

Відтворюваність еталона – можливість відтворення одиниці фізичної величини з найменшою похибкою для даного рівня розвитку вимірювальної техніки.

Звірюваність еталона – можливість забезпечення звірення з еталоном інших засобів вимірювання, нижчих за повірочною схемою, з найвищою точністю для цього рівня розвитку техніки вимірювання.

Розрізняють види еталонів: первинний, спеціальний, державний, вторинний, еталон-свідок, еталон-копія, еталон-порівняння, робочий еталон, міжнародний еталон.

Первинний еталон – дає найвищу точність і може бути національним (*державним*) і *міжнародним*. Первинні еталони є унікальними засобами вимірювання, що часто є складними вимірювальними комплексами. Еталони створюються при необхідності з урахуванням новітніх досягнень науки і техніки і складають основу державної системи забезпечення єдності вимірювання. Перелік еталонів не повторює переліку ФВ, наприклад, немає еталону площі.

Спеціальний еталон – забезпечує відтворення одиниці в особливих умовах і замінює в цих умовах первинний.

Національний (державний) еталон одиниці величини – еталон, визнаний рішенням уповноваженого на те державного органу як вихідний на території України. В Україні еталони стверджує і зберігає Державний комітет України з питань технічного регулювання і споживчої політики (Держспоживстандарт).

Міжнародні еталони зберігає і підтримує їх стан Міжнародне бюро мір і ваг (МБМВ, Франція). Головним завданням МБМВ є систематичні міжнародні звірення національних еталонів. Ці звірення допомагають виявити систематичні похибки відтворення одиниці національними еталонами, виявити, наскільки національні еталони відповідають міжнародному рівню, і намітити шляхи вдосконалення національних еталонів. Звіренню підлягають як еталони основних величин системи SI, так і похідних. Встановлені певні періоди звірення. Наприклад, еталони метра і кілограма звіряють кожні 25 років, а електричні і світлові еталони – один раз на три роки.

Первинному еталону підпорядковані *вторинні і робочі еталони*.

Вторинні еталони – створюються для забезпечення збереження і найменшого зносу державних еталонів, передають розмір одиниці робочим еталонам. Вторинні еталони (їх іноді називають «*еталони-копії*») можуть затверджуватися або Держспоживстандартом України, або державними науковими метрологічними центрами, що пов'язано з особливостями їх використання.

Наприклад, 1 раз на 10 років звіряють національний еталон маси з вторинним.

Робочі еталони передають розмір одиниці від вторинного еталона менш точному робочому еталону і робочим засобам вимірювання. Робочі еталони є найпоширенішими, застосовуються в територіальних метрологічних організаціях, лабораторіях міністерств і відомств, на підприємствах в метрологічних службах.

Застосовувати робочий еталон для проведення вимірювання неприпустимо.

11.2 Перспективи розвитку еталонів

За останні роки отримані високі результати точності і надійності еталонів, створюваних на основі використання квантових ефектів, що дозволяє припустити можливість створення нових еталонів у недалекому майбутньому [11].

З використанням квантових ефектів був створений сучасний еталон ампера й ома. Квантові еталони характеризуються високим ступенем стабільності значень похибки відтворення одиниць величини.

За допомогою нових методів і засобів вимірів вимірюються фундаментальні фізичні константи, тому точність квантових еталонів буде зростати.

В 1983 р. ГКМВ було прийнято нове визначення метра як відстані, що проходить світло в вакуумі за $1/299792458$ частки секунди.

Що стосується еталона маси – кілограма, то в кінці 2004 р. була розроблена програма, в якій взяли участь вчені з восьми країн. Перші 140 г речовини для нового еталона вже існують. Це надчистий кремній, який на 99,99 % складається з ізотопу кремнія-28. Через три роки його буде достатньо для виготовлення кілограмового шару, в якому число атомів кремнія-28 буде точно відомо. Тоді гирю в паризькій Палаті мір і ваг буде замінено еталоном, в якому відома не тільки маса, а й кількість атомів визначені з граничною точністю для науки сьогодення.

В 1967 р. ГКМВ було прийнято визначення секунди, що дорівнює 91926317770 періодам випромінювання при переході між двома надтонкими рівнями основного стану атому цезія-133. Але останнє визначення секунди вже не задовольняє вчених. В проекті створення невідстаючих годинників. В Японії успішно закінчилися випробування прототипу атомних годинників.

11.3 Повірка та калібрування вимірювальної техніки: схожість та відмінність

Засоби вимірювальної техніки є технічними засобами, які характеризуються нормованими метрологічними характеристиками [12].

Надійність ЗВТ визначається їхньою здатністю зберігати метрологічні характеристики в регламентованих межах. Вихід за ці межі класифікується як метрологічна відмова.

Засоби вимірювальної техніки, що виготовляються або підлягають ремонту, ввозяться з-за кордону, знаходяться в експлуатації та на зберіганні, підлягають *метрологічній повірці*.

Метрологічна повірка ЗВТ (надалі – *повірка*) – це встановлення придатності ЗВТ до застосування на основі експериментального визначення його метрологічних характеристик і контролю їх відповідності встановленим нормам.

Метрологічну перевірку ЗВТ здійснюють згідно з «Законом України про метрологію та метрологічну діяльність» та ДСТУ 2708-99 «Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація і порядок проведення».

Відповідно до Державної системи забезпечення єдності вимірювань повірка може бути *первинною, періодичною, позачерговою, інспекційною та експертною*.

В процесі повірки здійснюється нагляд за одноманітністю ЗВТ, яка характеризується виконанням двох вимог: ЗВТ мають бути проградуйовані в узаконених одиницях, а їх метрологічні характеристики повинні відповідати нормам.

Повірка здійснюється територіальними метрологічними службами, державні повірники ЗВТ. Можуть також проводити повірку метрологічні служби підприємств, що отримали право на її проведення. ЗВТ, визнане придатним до застосування, оформлюється видачею свідоцтва про повірку і нанесенням повірочного клейма.

Міжповірочний інтервал встановлюється власником ЗВТ, що несе відповідальність за його робочий стан.

Калібрування – визначення метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки, *на які не поширюється*

Державний нагляд. Встановлюють метрологічні характеристики ЗВТ в реальних умовах їх застосування.

Калібрування підрозділяється так:

– *первинне*, якому піддаються усі ЗВТ, що виходять з виробництва або ремонту;

– *періодичне*, якому піддаються усі ЗВТ, що знаходяться в експлуатації, через встановлений власником міжповірочний інтервал;

– *позачергове*, якому піддаються ЗВТ, що викликали підозри до своїх метрологічних характеристик.

На відміну від повірки, яку можуть здійснювати тільки органи державної метрологічної служби, калібрування може проводитися усякою метрологічною службою (фізичною особою) при наявності належних умов для кваліфікаційного виконання цієї роботи. Калібрування – добровільна операція, яку може виконувати метрологічна служба підприємства.

11.4 Передача розмірів одиниць від еталонів зразковому і робочому засобам вимірів

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

Зразковими називаються ЗВ, які служать для повірки інших ЗВ і офіційно затверджені як зразкові (наприклад, зразкова міра, зразковий вимірювальний прилад, перетворювач). До зразкових ЗВ відносяться також зразкова речовина і стандартний зразок.

Зразкова речовина – зразкова міра у вигляді речовини з відомими властивостями, що можуть бути відтвореними при дотриманні умов виготовлення, які вказані в затвердженій специфікації. Наприклад, чиста вода, чисті гази (водень, кисень), чисті метали (цинк, срібло, золото, платина), неметали, сполуки.

Стандартний зразок – міра для відтворення одиниць величин, які характеризують властивості або склад речовин і матеріалів (наприклад, стандартний зразок властивостей феромагнітних матеріалів, легованої сталі з атестованим вмістом хімічних елементів).

Зразкові ЗВ атестуються і повіряються за допомогою інших, більш точних зразкових ЗВ відповідного розряду. Так

здійснюється передача розмірів одиниць фізичних величин від еталона зразковим, а в підсумку – робочим ЗВ (рисунок 11.1).

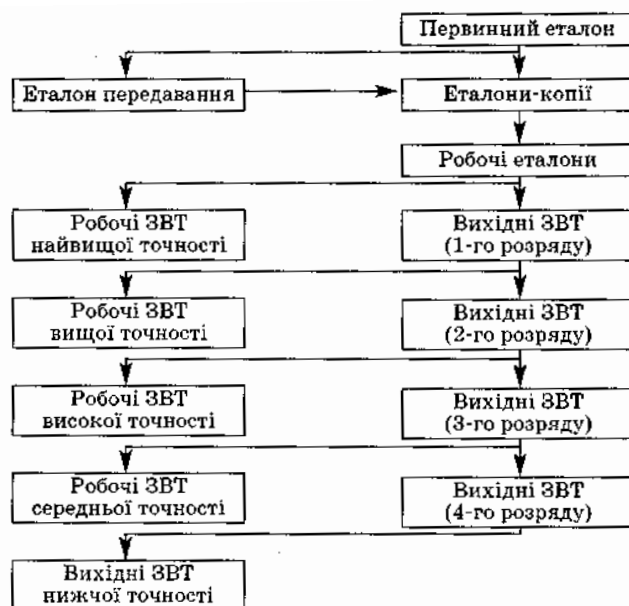


Рисунок 11.1 – Узагальнена схема передавання розміру одиниць фізичних величин

Еталон – (еталон одиниці) – ЗВ (або комплекс ЗВ), що забезпечує відтворення і (або) зберігання одиниці з метою передачі її розміру нижче розташованим за повірочною схемою ЗВ і офіційно затверджений у встановленому порядку як еталон (наприклад, комплекс ЗВ для відтворення метра через довжину світлової хвилі, затверджений як Державний еталон метра).

Передача розмірів фізичних одиниць – це технічна операція, яка проводиться за допомогою повірочних схем шляхом перевірки або калібрування засобів вимірювання.

Повірочна схема – це ухвалений в установленому порядку нормативний документ, що регламентує засоби, методи, точність, похибку передачі розмірів одиниць фізичної величини від державного еталона або початкового еталона робочим засобам вимірювання. Повірочна схема може бути державною або локальною.

Державна повірочна схема – поширюється на усі ЗВТ даної ФВ, наявні в країні. Розробляються метрологічними установами, що є головними центрами державних еталонів. Вони очолюються державними еталонами.

Локальна повірочна схема – поширюється на ЗВТ даної ФВ, підлягає належній повірці в окремому органі метрологічної служби (відомство, підприємство). Розробляється метрологічною службою підприємства і до затвердження керівництвом підприємства узгоджується з територіальним органом Держспоживстандарту. Вона очолюється початковим еталоном.

Відомча повірочна схема – поширюється на СІ цієї ФВ, що підлягають відомчій перевірці.

Повірочні схеми оформляються у вигляді креслень, доповнюються текстовою частиною, яка включає вступну частину і пояснення до елементів креслення.

Засоби, що мають метрологічні характеристики, які відповідають найвищому ступеню повірочної схеми метрологічної служби, називають **вихідними зразковими ЗВТ** (1-го розряду). Усі інші зразкові ЗВТ за ієрархією поділяють на зразкові ЗВТ відповідно другого, третього та четвертого розрядів.

ЗВ, які використовуються для виконання різноманітних вимірів, але які не служать для повірки інших ЗВ, називаються **робочими засобами вимірів**.

Робочі ЗВ не можна використовувати для повірки інших ЗВ, якщо вони навіть точніші за зразкові засоби, так як вони не затвержені офіційно як зразкові. З іншого боку, зразкові ЗВ не дозволяється використовувати як робочі засоби для виконання практичних вимірів.

Проведення будь-якого вимірювального експерименту передбачає знаходження співвідношення вимірюваної величини з деяким її значенням, прийнятим за одиницю, відтворення якої на найвищому за точністю рівні забезпечує еталон одиниці фізичної величини. Тому єдність і точність вимірювань різних фізичних величин визначається станом еталонної бази метрології. У державних еталонах повинна бути втілена найвища можлива точність відтворення як основних, так і похідних одиниць.

Удосконалення наявних і створення нових, точніших еталонів є складним процесом. Можливості відомих способів еталонування майже повністю вичерпані і простим їх удосконаленням підвищити точність еталонів на один чи кілька порядків неможливо. Тому сучасна метрологія веде пошук принципово нових шляхів і способів еталонування основних

фізичних величин, спираючись на досягнення інших наук, передусім фізики.

У теоретичному аспекті точність еталона обмежена рівнем людських знань про навколишнє середовище, фізичні, хімічні, біологічні й інші явища та закони, в технічному і технологічному – рівнем досконалості апаратури, яка відображає і реалізує ці явища та закони. Тому вчені-метрологи постійно намагаються знайти або штучно створити такі явища чи ефекти, які дали б змогу отримати результати, практично не залежні від апаратурного рішення та впливних факторів (умов експлуатації).

Контрольні питання до лекції 11

1 У чому полягає сутність державної системи забезпечення єдності вимірів?

2 Чому система державних еталонів одиниць фізичних величин є складовою технічної основи метрологічного забезпечення?

3 За якими критеріями класифікують ЗВТ на розряди і чому?

4 Вкажіть причини необхідності постійного вдосконалення еталонів.

5 Повірка та калібрування вимірювальної техніки: схожість та відмінність?

ТЕСТОВІ КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ ДО ЛЕКЦІЇ 11

Q1 Що забезпечує відтворення та/або зберігання одиниці вимірювання одного чи декількох значень:

V1 засіб вимірювальної техніки;

V2 еталон;

V3 атестація методики;

V4 вимірювальна лабораторія;

V5 лабораторія перевірки.

Q2 У чому полягає принципова відмінність повірки від калібрування:

V1 обов'язковий характер;

V2 добровільний характер;

- V3 заявний характер;
- V4 правильної відповіді немає.

Q3 Який з еталонів має найвищі метрологічні властивості серед еталонів даної одиниці, що є у державі, на підприємстві, в установі чи організації :

- V1 робочий;
- V2 державний;
- V3 первинний;
- V4 вихідний еталон;
- V5 нормативний.

Q4 У разі відсутності первинних еталонів статус державних еталонів може бути наданий:

- V1 вторинним;
- V2 похідним;
- V3 національним;
- V4 вихідним;
- V5 правильна відповідь V1 і V4.

Q5 Які вимоги ставлять до еталонів:

- V1 розмірність;
- V2 похибка;
- V3 незмінність; відтворюваність;
- V4 точність.

ТЕМА 9. ЛЕКЦІЯ 12. Державна система забезпечення єдності вимірювань

12.1 Державна система забезпечення єдності вимірювань

Державна система забезпечення єдності вимірювань (ДСВ) – це комплекс загальнодержавних нормативно-технічних і нормативних документів, які регламентують загальні правила, норми та вимоги, спрямовані на забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань.

Основними нормативно-технічними документами ДСВ є *державні стандарти*, які регламентують загальні правила, норми та вимоги щодо одиниць фізичних величин та їх еталонів, метрологічної термінології, нормування метрологічних

характеристик, метрологічної перевірки та випробувань засобів вимірювальної техніки, методик вимірювань і форм подання результатів вимірювань тощо [13].

Основні вимоги ДСВ такі:

- результати вимірювань повинні виражатися в одиницях фізичних величин згідно з ДСТУ 3651.0-97;

- проектування, виробництво та експлуатація засобів вимірювальної техніки здійснюється під метрологічним наглядом згідно із Законом України про метрологію та метрологічну діяльність;

- засоби вимірювальної техніки, призначені для серійного виробництва, підлягають випробуванням згідно з ДСТУ 3400-2000 та МИ 154-86;

- засоби вимірювальної техніки, що знаходяться в експлуатації, підлягають періодичній державній метрологічній перевірці згідно з ДСТУ 2708-99;

- метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки, що підлягають нормуванню у нормативно-технічних документах на засоби вимірювальної техніки, повинні відповідати ГОСТ 8.009-84;

- методики виконання вимірювань та характеристики похибок, які встановлюються відповідними нормативно-технічними документами, повинні відповідати ГОСТ 8.010-90;

- форма подання похибок та результатів вимірювань повинна відповідати МИ 157-86.

Поряд з цими та іншими базовими стандартами в складі ДСВ є стандарти, які регламентують конкретніші питання в окремих галузях вимірювань, наприклад, стандарти на конкретні засоби вимірювань, методи їх перевірки тощо. До складу ДСВ, крім стандартів, входять інші нормативно-технічні документи – технічні умови, інструкції, методики, методичні вказівки, правила тощо, які спрямовані на забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань у різних галузях народного господарства.

ДСВ України створює необхідні засади для забезпечення єдності вимірювань у державі.

Основними завданнями цієї системи є:

- 1) реалізація єдиної технічної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності;

2) захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань;

3) здійснення фундаментальних і прикладних досліджень та наукових розробок у сфері метрології та метрологічної діяльності;

4) економія всіх видів енергетичних і матеріальних ресурсів;

5) забезпечення якості та конкурентоспроможності вітчизняної продукції;

6) створення нормативно-правових, нормативних, науково-технічних та організаційних основ забезпечення єдності вимірювань у державі.

12.2 Єдність вимірювань та їх метрологічне забезпечення. Правовий аспект

Єдність у вимірюваннях однакових фізичних величин, незалежно від того, якими методами і засобами та в яких умовах виконуються вимірювання, є основною вимогою до вимірювальної техніки. Необхідним є досягнення внутрішньої єдності між окремими видами вимірювань, чому сприяють сучасні системи одиниць, орієнтовані на відповідну фізичну та математичну теорію. Такий підхід відповідає вимогам сьогодення і є однією із складових метрологічного забезпечення. Другою важливою складовою є забезпечення потрібної точності вимірювань.

Правові основи забезпечення єдності вимірювань в Україні регулюються Законом України про метрологію та метрологічну діяльність, згідно з яким *єдність вимірювань* – це стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в узаконених одиницях вимірювань, а похибки вимірювань відомі та із заданою ймовірністю не виходять за встановлені межі.

Основна суть цього означення полягає у забезпеченні такого стану вимірювань, щоб можна було порівняти результати вимірювань одних і тих самих величин, які виконані в різних місцях, у різний час та з використанням різних методів і методик вимірювань і різних засобів вимірювальної техніки.

«Єдність вимірювань» передбачає вирішення найважливіших завдань метрології: уніфікацію одиниць фізичних величин;

розроблення схем збереження і відтворення розмірів одиниць фізичних величин та передачу їх робочим засобам вимірювальної техніки із встановленою точністю; виконання вимірювань з похибкою, що із заданою ймовірністю не виходить за встановлені межі; запис результату вимірювання у стандартизованій формі тощо.

Єдність вимірювань забезпечується дотриманням певних норм, вимог і правил вимірювань, встановлених державними стандартами та іншими нормативно-технічними документами в галузі метрології.

Суспільні відносини у сфері метрологічної діяльності та забезпечення єдності вимірювань на державному рівні регулюються ***Державною системою метрологічного забезпечення вимірювань.***

Метрологічне забезпечення вимірювань – це встановлення та застосування наукових та організаційних основ, правил, норм і технічних засобів, необхідних для досягнення єдності та потрібної точності вимірювань.

Основні положення метрологічного забезпечення вимірювань регламентовані Законом України про метрологію та метрологічну діяльність.

Оскільки точність вимірювань залежить від характеристик використаних засобів вимірювальної техніки і методик вимірювань, то забезпечення єдності вимірювань досягається єдністю засобів вимірювальної техніки і методик виконання вимірювань.

Єдність засобів вимірювальної техніки полягає в тому, що вони проградуйовані в узаконених одиницях, а їх метрологічні характеристики відповідають встановленим нормам.

Єдність методик виконання вимірювань полягає в тому, що вони задовольняють регламентовані вимоги і забезпечують офіційно гарантовану точність результатів вимірювань.

Правовою основою метрологічного забезпечення є Державна система забезпечення єдності вимірювань у вигляді державних стандартів та інших нормативно-технічних документів.

Науковою основою метрологічного забезпечення є метрологія – наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності.

Організаційною основою метрологічного забезпечення є метрологічна служба країни, яка складається з Державної

метрологічної служби та метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій.

Технічною основою метрологічного забезпечення є система державних і робочих еталонів одиниць фізичних величин, система зразкових ЗВТ та стандартних зразків складу і властивостей матеріалів і речовин, система робочих ЗВТ, які застосовуються безпосередньо для розроблення, виробництва та використання продукції тощо.

Метою метрологічного забезпечення вимірювань є підвищення якості продукції, ефективності виробництва, наукових досліджень, використання матеріальних цінностей та енергетичних ресурсів, охорони довкілля тощо.

Законодавча метрологія регулює фактично всі сфери діяльності за ініціативою виробників на принципах добровільності й економічної вигоди. У зв'язку з поширенням міжнародного поділу праці, загальною глобалізацією потреба у дотриманні єдності вимірювань усе більше актуалізується.

Зарубіжний досвід свідчить про доцільність встановлення відповідальності перед законом юридичних і фізичних осіб, які порушують метрологічні норми та правила, зокрема законодавство деяких країн передбачає кримінально-правову відповідальність порушників та інспекторів, що здійснюють роботи з метрологічного контролю і нагляду.

Україна теж дотримується світових норм, прийнятих у метрології. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» визначає правові основи забезпечення єдності вимірювань в державі, регулює суспільні відносини у сфері метрологічної діяльності, спрямований на захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань.

Правову відповідальність за порушення метрологічних вимог несуть працівники природоохоронних структур згідно з чинним законодавством України.

Забезпечення єдності і точності вимірювань необхідне у країні загалом та у кожній конкретній галузі знань зокрема як передумова отримання достовірної інформації про вимірювання.

Контрольні питання до лекції 12

- 1 У чому полягає єдність вимірювання?
- 2 Що таке державна система забезпечення єдності вимірювань?
- 3 Що формує організаційну основу метрологічного забезпечення?
- 4 Які галузі діяльності регулює законодавча метрологія?
- 5 Мета метрологічного забезпечення вимірювань.

ТЕСТОВІ КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ ДО ЛЕКЦІЇ 12

Q1 Як називається сукупність основоположних нормативних документів, призначених для забезпечення єдності вимірювань з необхідною точністю:

- V1 державна система забезпечення єдності вимірювань;
- V2 державна система стандартизації;
- V3 державний метрологічний контроль;
- V4 державний метрологічний нагляд;
- V5 математична база.

Q2 Які із зазначених галузей підлягають державному регулюванню забезпечення єдності вимірювань:

- V1 охорона навколишнього середовища; торгівля;
- V2 ведення підприємницької діяльності;
- V3 освіта;
- V4 будівництво.

Q3 Які із зазначених галузей підлягають державному регулюванню забезпечення єдності вимірювань:

- V1 індивідуальна трудова діяльність;
- V2 будівництво;
- V3 освіта;
- V4 оцінка відповідності продукції обов'язковим вимогам.

Q4 Вкажіть з перерахованих форми державного регулювання в галузі забезпечення єдності вимірювань:

- V1 атестація методик (методів) вимірювань;
- V2 державний метрологічний нагляд;
- V3 нагляд за випуском, станом і застосуванням засобів вимірювань;

V4 нагляд за кількістю товарів, відчужуваних при здійсненні торгових операцій;

V5 перевірка засобів вимірювальної техніки;

V6 V1; V2; V5.

Q5 Сукупність організаційних і технічних засобів, що забезпечують виконання вимог «Про забезпечення єдності вимірювань» – це ...

V1 стандартизація;

V2 сертифікація;

V3 метрологічне забезпечення;

V4 технічний регламент.

ТЕМА 10. ЛЕКЦІЯ 13. Державна метрологічна служба України

13.1 Структура державної метрологічної служби (ДМС)

Мережа метрологічних органів і їх діяльність, спрямована на забезпечення єдності вимірювань, одноманітності ЗВТ в країні і здійснення метрологічного контролю і нагляду, називається *метрологічною службою*.

Метрологічна служба України складається з державної метрологічної служби і метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій[8, 13, 14].

ДМС очолює Держспоживстандарт України, який від імені уряду проводить єдину політику в галузі метрологічного забезпечення в усіх галузях діяльності. ДМС має надвідомчий характер і виконує законодавчі і контрольні функції.

Державна метрологічна служба має таку структуру:

– відповідні підрозділи центрального апарату Держспоживстандарту України. У складі Держспоживстандарту створено управління метрології, що координує роботи з забезпечення єдності вимірювань;

– державні наукові центри з метрології. Головною організацією з забезпечення єдності вимірювань в Україні є національний науковий центр «Інститут метрології» (м. Харків). Харківський, Львівський і Український центр стандартизації, метрології і сертифікації призначені опорними організаціями з

впровадження наукових розробок у виробництво. Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації і захисту прав споживачів (Укрметртестстандарт) об'єднує в собі функції науково-дослідного інституту і територіального органу Держспоживстандарту. За статусом Укрметртестстандарт є Державним науковим метрологічним центром України; головним центром державної метрологічної служби стандартних довідкових даних про фізичні постійні і властивості речовин і матеріалів; головною організацією з ряду видів і підвидів вимірювання;

– центри державних еталонів, що є головними організаціями за закріпленими за ними видами вимірювань і що відповідають за рівень і випереджаючий розвиток метрологічного забезпечення народного господарства, за створення і вдосконалення державних, робочих і початкових еталонів. До центрів еталонів входять: національний науковий центр «Інститут метрології» (м. Харків); Державний НДІ «Система» (м. Львів); Український ЦСМС (ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ); Харківський ЦСМС (ДП «Харків стандарт метрологія»); Білоцерківський ЦСМС; Дніпропетровський ЦСМС; Івано-Франківський ЦСМС;

– державна служба єдиного часу і еталонних частот (ДСЧЧ);
– державна служба стандартних зразків речовин і матеріалів;
– державна служба стандартних довідкових даних про фізичні константи, властивості речовин і матеріалів;

– територіальні органи державної метрологічної служби;
– центри стандартизації, метрології, сертифікації. В Україні створено 25 обласних і 9 міських державних ЦСМС;

– виробничою базою ДМС є заводи «Еталон» (м. Київ, Донецьк, Харків, Умань, Біла Церква), дослідні заводи «Прилад» (Вінниця, Полтава);

– підготовка кадрів для ДМС ведеться навчальними закладами: Українським учбово-науковим центром зі стандартизації, метрології і якості продукції (УкрУНЦ) і багатьма ЗВО Міністерства освіти і науки України.

Державна метрологічна служба забезпечує проведення єдиної технічної політики в Україні відносно єдності вимірювання і їх достовірності шляхом організації:

– фундаментальних досліджень в галузі метрології;

- створення і функціонування еталонної бази України;
- метрологічні вимоги до ЗВТ (перевірка, калібрування, ремонт), а також методи вимірювання, атестовані методики проведення вимірювання, обробка результатів вимірювання, обов'язкове визначення похибки вимірювання;
- метрологічна експертиза технічної документації;
- метрологічне забезпечення підготовки виробництва;
- акредитація вимірювальних лабораторій;
- метрологічна атестація ЗВТ;
- державні випробування ЗВТ;
- державний контроль і нагляд;
- міжнародна співпраця в галузі метрології.

13.2 Метрологічний контроль і нагляд за засобами вимірювальної техніки

Метрологічний контроль і нагляд за засобами вимірювальної техніки (ЗВТ) в Україні здійснюється згідно із Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність».

Система метрологічного контролю і нагляду за ЗВТ являє собою комплекс правил, положень і вимог технічного, економічного та правового характеру, що визначають порядок здійснення робіт з державних випробувань і метрологічної атестації, метрологічної перевірки, метрологічної ревізії та експертизи засобів вимірювальної техніки.

Метрологічний нагляд за ЗВТ в Україні здійснюється у формі державного метрологічного контролю і нагляду та метрологічного контролю і нагляду, який здійснюють метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій, тобто так званого відомчого метрологічного контролю і нагляду за ЗВТ, який необхідний для забезпечення єдності вимірювань як необхідної умови підвищення ефективності виробництва, технічного рівня та якості продукції.

Державний метрологічний контроль і нагляд за ЗВТ являє собою систему контролю за виробництвом, технічним станом, застосуванням і ремонтом ЗВТ та дотриманням метрологічних правил та норм і здійснюється державною метрологічною службою у формі:

- державних приймальних і контрольних випробувань ЗВТ згідно з ДСТУ 3215-95;
- державної метрологічної перевірки ЗВТ згідно з ДСТУ 2708-99;
- реєстрації підприємств і організацій, що виготовляють, ремонтують і перевіряють ЗВТ;
- перевірок стану і застосування ЗВТ, діяльності відомчих метрологічних служб у міністерствах (відомствах) і на підприємствах, впровадження та дотримання метрологічних правил, норм і вимог.

Відомчий метрологічний контроль і нагляд за ЗВТ – це контроль відомчої метрологічної служби за технічним станом, застосуванням і ремонтом ЗВТ, дотриманням метрологічних правил, норм і вимог на підприємствах та організаціях міністерства (відомства). Основними формами відомчого метрологічного контролю є:

- відомча метрологічна атестація ЗВТ згідно з ДСТУ 3215-95;
- відомча метрологічна перевірка ЗВТ згідно з ДСТУ 2708-99;
- перевірка технічного стану і застосування ЗВТ, впровадження і дотримання метрологічних правил, норм і вимог на підприємствах системи міністерства (відомства);
- атестація випробувальних та аналітичних лабораторій на підприємствах системи міністерства (відомства) згідно з Р 50-062-95.

До основних функцій метрологічного контролю і нагляду за ЗВТ належать: державні випробування ЗВТ, метрологічна атестація, метрологічна перевірка, метрологічна ревізія та метрологічна експертиза ЗВТ.

Всі ЗВТ, що випускаються серійно або імпортуються партіями з-за кордону, підлягають державним випробуванням, які передбачають: експертизу технічної документації на ЗВТ та їх експериментальні дослідження для виявлення відповідності нормам і вимогам НТД на них, а також потребам народного господарства, сучасному рівню розвитку приладобудування та доцільності їх виробництва.

Засоби вимірювальної техніки, які не підлягають державним випробуванням, наприклад, дослідні та експериментальні зразки ЗВТ, що виготовляються під час виконання науково-дослідних робіт, піддаються **метрологічній атестації**, до якої входять:

встановлення переліку метрологічних характеристик ЗВТ, які підлягають контролю під час метрологічної перевірки; експертиза методики перевірки ЗВТ, яка здійснюється згідно з ДСТУ 3215-95; визначення метрологічних характеристик ЗВТ і встановлення їх відповідності нормам НТД.

Якщо результати державних випробувань чи метрологічної атестації ЗВТ позитивні, оформляється акт або свідоцтво за відповідною формою, які дозволяють застосування цього ЗВТ.

Метрологічна ревізія полягає у перевірці стану та застосування ЗВТ, дотримання метрологічних правил, норм і вимог у діяльності відомчих метрологічних служб. Як форма контролю за повсюдним дотриманням єдності вимірювань метрологічна ревізія передбачає також контроль за забезпечуваністю засобами вимірювальної техніки, технологічних процесів, відповідністю використовуваних методів і засобів вимірювань сучасним вимогам виробництва, правильністю виконання вимірювальних операцій, технічним рівнем нових ЗВТ тощо.

Метрологічна ревізія здійснюється органами Держстандарту України на підприємствах, що виготовляють, ремонтують чи експлуатують ЗВТ, і в організаціях, які їх зберігають і продають. Результати метрологічної ревізії оформляються актом, який містить конкретні результати перевірки, а також рекомендації та пропозиції щодо усунення виявлених недоліків і вдосконалення метрологічного забезпечення.

Метрологічна експертиза – це аналіз і оцінювання оптимальності технічних рішень щодо реалізації питань метрологічних вимог, правил і норм, передовсім пов'язаних з єдністю та точністю вимірювань. Розрізняють метрологічну експертизу документації (технічних завдань, програм, конструкторських і технологічних документів тощо) і метрологічну експертизу об'єктів. Метрологічна експертиза здійснюється, якщо виникають спірні питання щодо оцінювання стану ЗВТ, методів і засобів їх перевірки, правильності застосування та виконується особами - уповноваженими органів Держстандарту України.

13.3 Міжнародні метрологічні організації

Необхідність міжнародної співпраці в галузі метрології стала очевидною з розвитком наукових, культурних і торговельних стосунків між країнами. Тому «для забезпечення міжнародної єдності і удосконалення метричної системи» 20 травня 1875 р. в Парижі за участю повноважних представників 20-ти країн була підписана Метрична конвенція, яка визначила принципи подальшого розвитку метрології у світі.



Відповідно до цієї конвенції створена перша міжнародна метрологічна наукова установа – Міжнародне бюро мір і ваг (МБМВ), яке утримується на внески країн, що підписали конвенцію і веде дослідження за спільно виробленими програмами. МБМВ знаходиться в Севрі (біля Парижа) і займається питаннями створення міжнародних еталонів і шкал для головних фізичних величин, зберіганням міжнародних еталонів, звіренням національних еталонів з міжнародними, узгодженням методик виконуваних при цьому вимірювань, визначенням і узгодженням значень фундаментальних фізичних констант.

Метрична конвенція

Метрична конвенція – міжнародна угода, підписана 20 травня 1875 р. в Парижі, яка заснувала три організації з метою встановлення й підтримки міжнародної системи одиниць: Генеральну конференцію мір і ваг, Міжнародне бюро мір і ваг та Міжнародний комітет мір і ваг.

Міжнародна організація законодавчої метрології



В 1956 р. була підписана міжурядова конвенція про установа Міжнародної організації законодавчої метрології (МОЗМ). Метою діяльності цієї організації є уніфікація законів, правил і інструкцій по лінії метрологічних служб держав-членів МОЗМ, тобто забезпечення єдності вимірювання в міжнародному масштабі законодавчим шляхом, що дає можливість встановити взаємну довіру до результатів усіх

видів вимірювання в країнах-партнерах по торгівлі, виробництву, науковому обміну, уникнути непродуктивних витрат на повторну перевірку технічних характеристик сировини, матеріалів. МОЗМ розробляє міжнародні рекомендації з термінології, методів вимірювання, усіх видів нормативних документів, що регламентують передачу інформації про розміри одиниць фізичних величин від їх еталонів засобом вимірювальної техніки.

Міжнародна конференція з вимірювальної техніки і приладобудування



У 1958 р. була утворена Міжнародна конференція з вимірювальної техніки і приладобудування (ІМЕКО) як наукова консультативна організація, яка проводить міжнародні конгреси і семінари з актуальних проблем і завдань розвитку вимірювальної і діагностичної техніки.

Крім перерахованих Міжнародних метрологічних організацій, ряд метрологічних питань вивчають інші міжнародні організації. Так, в Міжнародній організації зі стандартизації (ISO; International Organization for Standardization) працює технічний комітет ІСО (ТК 12), що займається стандартизацією одиниць; в Міжнародній електротехнічній комісії (МЕК) – технічний комітет № 24 з електричних величин і одиниць.

Контрольні питання до лекції 13

- 1 Що таке державна метрологічна система (ДМС) і яке її призначення?
- 2 Яка структура метрологічної служби України?
- 3 Назвіть складові компоненти нормативної бази ДМС.
- 4 Визначте сферу поширення державного метрологічного нагляду.
- 5 З якою метою створена Міжнародна організація законодавчої метрології?

ТЕСТОВІ КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ ДО ЛЕКЦІЇ 13

Q1 Державна метрологічна система – це:

V1 сукупність законодавчих та інших нормативно-правових актів, організаційної структури, наукової, технічної та нормативної бази з метрології;

V2 сукупність документів, які контролюють процес вимірювання;

V3 процедура встановлення відповідності методики метрологічним вимогам, що ставлять до неї;

V4 документ, який встановлює правила, положення, інші вимоги чи норми, що стосуються метрології та метрологічної діяльності;

V5 немає правильної відповіді.

Q2 Діяльність щодо забезпечення функціонування та розвитку державної метрологічної системи координує:

V1 державна метрологічна система;

V2 державна система контролю метрології;

V3 комісія з метрології;

V4 нормативна установа;

V5 центральний орган виконавчої влади (ЦОВМ).

Q3 До метрологічного контролю належать:

V1 роботи з оцінки відповідності продукції, процесів, послуг;

V2 атестація калібрувальних і вимірювальних лабораторій підприємств і організацій;

V3 роботи із забезпечення технічного захисту інформації, необхідність якого визначена законодавством;

V4 роботи, пов'язані з державною реєстрацією земельних ділянок і нерухомого майна;

V5 немає правильної відповіді.

Q4 Метрологічний нагляд здійснюється:

V1 органами метрологічного контролю;

V2 метрологічними службами підприємств і організацій;

V3 метрологічними службами центральних органів виконавчої влади;

V4 правильна відповідь V2 і V3;

V5 немає правильної відповіді.

Q5 До Державної метрологічної служби НЕ належить:

V1 Державна служба єдиного часу і еталонних частот;

V2 Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів;

V3 Національний науковий метрологічний центр;

V4 Комісія з метрології;

V5 Державні наукові метрологічні центри.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Про метрологію та метрологічну діяльність: закон України від 05.06.2014 р., № 1314-VII-ВР. Київ, 2014. 254 с.

2 ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення. Чинний від 1995-01-01. Київ : Держстандарт України, 1994. 68 с.

3 ДСТУ 3651.0-97. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення. Чинний від 1999-01-01. Київ : Держстандарт України, 1994. 9 с.

4 Нестерчук Д. М., Квітка С. О., Галько С. В. Основи метрології та засоби вимірювань : навч. посіб. Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. 256 с.

5 Метрологія. Терміни та визначення. Чинний від 1995-01-01 // Кат. нормат. док. Київ : Держстандарт України, 2001. Група 01.040.17; 17.020 (Т 80). 17.020.

6 Ігнаткін В. У., Томашевський О. В., Матюшин В. М. Основи метрології : навч. посіб. Запоріжжя : Запорізький національний технічний університет, 2017.

7 Основи метрології та вимірювальної техніки : підруч.: у 2 т. / М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник та ін.; за ред. Б. Стадника. Т. 1: Основи метрології. Львів : Вид. Національного університету «Львівська політехніка», 2005. 532 с.

8 Основи метрології та вимірювальної техніки : підруч.: у 2 т. / М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник та ін.; за ред. Б. Стадника. Т. 2: Вимірювальна техніка. Львів : Вид. Національного університету «Львівська політехніка», 2005. 654 с.

9 Ціделко В. Д., Яремчук Н. А. Невизначеність вимірювання. Обробка даних і подання результату вимірювання. Київ : ІВЦ «Політехніка», 2002. 176 с.

10 Захаров И. П., Кукуш В. Д. Теория неопределенности в измерениях. Харків : Консум, 2002. 256 с.

11 Метрологія та вимірювальна техніка : навч. посіб. / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, В. П. Долгополов, Л. В. Грумінська. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. 252 с.

12 Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навч. посіб. / Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. Вінниця : Велес, 2001. 219 с.

13 ДСТУ 2708-99. Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення. Чинний від 2000-07-01 // Кат. нормат. док. Київ: Держстандарт України, 2001. Група 17.020 8.

14 <http://www.dssu.gov.ua> – Держспоживстандарт України.

15 Метрологія та вимірювальна техніка: підруч. / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, В. О. Яцук та ін.; за ред. Є. С. Поліщука. Львів : Вид. Національного університету «Львівська політехніка», 2012. 544 с.

16 <http://www.ukrndnc.org.ua>. – ДП —УкрНДНЦ.

17 <http://www.nbuv.gov.ua> – Національна бібліотека України імені Вернадського.

18 <http://lib.toxy.cv.ua>. – бібліотека технічної літератури.

19 <https://library.tntu.edu.ua> – бібліотека науково-технічної літератури.

20 <http://www.nit.kiev.ua> – електронна бібліотека «Наука та Техніка».

Г. Л. Комарова

МЕТРОЛОГІЯ

Конспект лекцій

Відповідальний за випуск Комарова Г. Л.

Редактор Решетилова В. В.

Підписано до друку 19.06.20 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 5,75. Тираж 10. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.