

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Ігнаткін В. У., Томашевський О. В., Матюшин В. М.

ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ

*Навчальний посібник
під редакцією В. У. Ігнаткіна*

Електронне видання комбінованого
використовування на DVD-ROM



Запоріжжя • ЗНТУ • 2017

УДК 531.7

126

*Рекомендовано до видання вченою радою
Запорізького національного технічного університету
(протокол № 6 від 30.01.2017 року)*

Авторський колектив:

Ігнаткін В. У. – передмова, розділ 1, 4, 7, 9, загальна редакція усіх розділів;

Томашевський О. В. – розділ 2, 5, 6;

Матюшин В. М. – розділ 3, 8

Рецензенти:

А. М. Должанський – д-р техн наук, проф., зав. каф. «Якість, стандартизація та сертифікація» Національної металургійної академії України;

В. І. Корсун – д-р техн наук., проф., зав. каф. «Метрологія та інформаційно-вимірвальні технології» Національного гірничого університету;

Ю. М. Внуков – д-р техн наук, проф., зав. каф. технології машинобудування Запорізького національного технічного університету

Ігнаткін В. У.

І 26 Основи метрології: [Електронний ресурс]: навч. посіб. / В. У. Ігнаткін, О. В. Томашевський, В. М. Матюшин – Електрон. дані. – Запоріжжя : Запорізький національний технічний університет, 2017. – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана.

ISBN 978-617-529-205-1

Викладені основні поняття та положення теоретичної, прикладної і законодавчої метрології. Як приклад вимірювань, розглянуті методи вимірювань параметрів напівпровідникових кристалів та мікроструктур. Посібник призначений для студентів, що навчаються по спеціальностям галузі знань «15 Автоматизація та приладобудування». Також, посібник буде корисним для студентів інших спеціальностей вищих навчальних закладів, на яких вивчають основи метрології.

УДК 531.7

ISBN 978-617-529-205-1

© В. У. Ігнаткін, 2017

© О. В. Томашевський, 2017

© В. М. Матюшин, 2017

© Запорізький національний
технічний університет (ЗНТУ), 2017

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 задачі підвищення якості без забезпечення високої точності та єдності вимірювань параметрів виробів, і перш за все на етапі виробництва. Для рішення цієї задачі фахівці промисловості повинні добре володіти методами вимірювання і способами забезпечення їхньої єдності, що і складає основні завдання такої науки, як метрологія. Взагалі метрологія ділиться 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 вірності 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.

У посібнику, що пропонується для допомоги студентам при вивченні основ метрології, узагальнені результати наукових досліджень і практичний досвід у розглянутій області за останні роки, як в Україні, так й у закордонних країнах. У даному виданні розглянуті етапи розвитку та еволюція метрології, викладено основні поняття метрології, види і методи вимірювань. Особлива увага приділена міжнародним метрологічним організаціям і державній метрологічній службі України.

Як приклад, розглянуті методи вимірювань параметрів навіпроднікових кристалів та мікроструктур.

Посібник відповідає програмі дисципліни «Метрологія» навчальних планів спеціальностей «152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», «153 – Мікро- та наносистемна техніка» галузі знань «15 – Автоматизація та приладобудування» і ґрунтується на вимогах, що пропонуються у цей час до фахівців у даній області.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	3
РОЗДІЛ 1 ПОНЯТТЯ ТА ПРЕДМЕТ МЕТРОЛОГІЇ	
1.1 Етапи розвитку та еволюція метрології.....	7
1.2 Метрологія та її значення в науково-технічному прогресі.....	9
1.3 Розділи метрології.....	11
Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу.....	11
Література до розділу 1.....	12
РОЗДІЛ 2 ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ ТА ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ	
2.1 Фізична величина (ФВ).....	13
2.2 Система одиниць фізичних величин.....	15
2.3 Розмірність та значення фізичної величини.....	18
2.4 Шкали вимірювання.....	20
Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу.....	23
Література до розділу 2.....	24
РОЗДІЛ 3 ВИДИ ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ	
3.1 Види вимірювання.....	25
3.2 Методи і методика вимірювання.....	27
3.3 Умови вимірювання.....	29
3.4 Характеристики якості вимірювання.....	31
3.5 Області вимірювання.....	31
Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу.....	32
Література до розділу 3.....	33
РОЗДІЛ 4 ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ	
4.1 Поняття про похибку вимірювання.....	34
4.2 Класифікація похибок вимірювання.....	35
4.3 Правила округлення результатів вимірювання та значень похибки.....	37
Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу.....	38
Література до розділу 4.....	39
РОЗДІЛ 5 СИСТЕМАТИЧНІ ПОХИБКИ	
5.1 Загальні відомості про систематичні похибки.....	40
5.2 Виключення систематичних похибок.....	41
Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу.....	43
Література за главою до розділу 5.....	44
РОЗДІЛ 6 ВИПАДКОВІ ПОХИБКИ	
6.1 Загальні відомості про випадкові похибки.....	45

6.2 Розподіли випадкових величин	45
6.3 Грубі похибки. Методи їх виключення	47
Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу	49
Література до розділу 6	49
РОЗДІЛ 7 ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ	
7.1 Класифікація засобів вимірювання	50
7.2 Види еталонів	53
7.3 Перевірка та калібрування вимірювальної техніки: схожість та відмінність	54
7.4 Метрологічні характеристики ЗВТ	56
7.6 Клас точності засобу вимірювання та оцінка похибки одноразових вимірювань	60
7.7 Загальні вимоги до обробки результатів прямих вимірювань з багатократними спостереженнями	62
Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу	65
Література до розділу 7	65
РОЗДІЛ 8 МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ НАВПРОВІДНИКОВИХ КРИСТАЛІВ ТА МІКРОСТРУКТУР	
8.1 Зондові методи вимірювання електропровідності	67
8.2 Вимірювання провідності пластин довільної геометричної форми	71
8.3 Вимірювання часу життя неосновних носіїв заряду методом модуляції провідності в точковому контакті	73
8.4 Вимірювання товщини епітаксialьних плівок	77
Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу	81
Література до розділу 8	81
РОЗДІЛ 9 ДЕРЖАВНА МЕТРОЛОГІЧНА СЛУЖБА УКРАЇНИ	
9.1 Структура державної метрологічної служби (ДМС)	82
9.2 Правова і нормативна база метрологічного забезпечення	85
9.3 Державний метрологічний контроль і нагляд	87
9.4 Метрологічне забезпечення підготовки виробництва	91
9.5 Метрологічна експертиза технічної документації	93
9.6 Міжнародні метрологічні організації	96
Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу	104
Література до розділу 9	104
Тести для перевірки рівня засвоєння навчального матеріалу за розділом «основи метрології»	105
ГЛОСАРІЙ	112

РОЗДІЛ 1 ПОНЯТТЯ ТА ПРЕДМЕТ МЕТРОЛОГІЇ

1.1 Етапи розвитку та еволюція метрології

1.2 Метрологія та її значення в науково-технічному прогресі

1.3 Розділи метрології

1.1 Етапи розвитку та еволюція метрології

Потреба у вимірах виникла за давніх літ. Для цього в першу чергу використалися підручні засоби. Наприклад, одиниця ваги дорогоцінних каменів – *каратів*, що в перекладі з мов древнього півдня-сходу означає «насіння бобу», «горошина»; одиниця аптекарської ваги – *граї*, що в перекладі з латинської, французького, англійське й іспанського означає «зерно». Багато мір мали антропометричне походження або були зв'язані з конкретною трудовою діяльністю людини. Так, у Київській Русі застосовувалися в побуті *вершки* – довжина фаланги вказівного пальця; *п'ядь* – відстань між кінцями витягнутих великого й вказівного пальців; *лікоть* – відстань від ліктя до кінця середнього пальця; *сажень* – від «сягать», «досягати», тобто можна дістати; *косий сажень* – межа того, що можна дістати: відстань від підшви лівої ноги до кінця середнього пальця витягнутої нагору правої руки; *верста* – від «верти», «повертаючи» плуг назад, довжина борозни.

Вавилоняни встановили *рік, місяць, година*. Згодом $1/86400$ частина середнього періоду обігу Землі навколо своєї осі (добі) одержала назву *секунди*.

У Вавилоні в II в. до н. е. час вимірявся в *мінах*. Мина рівнялася проміжку часу (рівному приблизно двом астрономічним годинникам), за який із прийнятих у Вавилоні водяних годин випливала «міна» води, маса якої становила близько 500 р. Потім міна скоротилася й перетворилася у звичну для нас *хвилину*. Згодом водяні годинники поступилися місцем пісковим, а потім *більше* складним маятниковим механізмам.

Важливішим метрологічним документом у Росії є Двінська грамота Івана Грозного (1550 р.). У ній регламентовані правила зберігання й передачі розміру нової міри сипучих речовин – *осьмини*. Її мідні екземпляри розсилалися по містах на зберігання виборним людям – старостам, соцьким, целовальникам. Із цих мір належало зро-

бити тавровані дерев'яні копії для міських замірщиків, а з тих, у свою чергу, – дерев'яні копії для використання в побуті.

Метрологічною реформою Петра I до обігу в Росії були допущені англійські міри, що одержали особливо широке поширення на флоті й у кораблебудуванні, – *футти, дюйми*. В 1736 р. за рішенням Сенату була утворена Комісія ваг і мер під головуванням головного директора Монетного двору графа М. Г. Головкина. До складу комісії входив Леонард Эйлер. Як вихідні міри комісія виготовила *мідний аришин і дерев'яний сажень*, за міру речовин було прийняте *цебро* московського Каменномостского питного двору. Найважливішим кроком, що підсумував роботу комісії, було створення російського *еталонного фунта*.

Ідея побудови системи вимірів на десятковій основі належить французькому астрономові Г. Мутону, що жив в XVII в. Пізніше було запропоновано прийняти як одиниця довжини одну сорокамільйону частина земного меридіана. На основі єдиної одиниці – *метра* – будувалася вся система, що помучила назву *метричної*.

В Росії указом «Про систему Російських мір і ваг» (1835 р.) були затверджені еталони довжини й маси – *платиновий сажень і платиновий фунт*.

Відповідно до міжнародної Метрологічної конвенції, підписаної в 1875 р., Росія одержала платиноіридієві еталони одиниці маси № 12 й 26 й еталони одиниці довжини № 11 й 28, які були доставлені в новий будинок Депо зразкових мір і ваг. В 1892 р. керуючим Депо був призначений Д. И. Менделєєв, що він в 1893 р. перетворить у Головну палату мір і ваг – одне з перших у світі науково-дослідних установ метрологічного профілю.

Метрична система в Україні була уведена в 1918 р. декретом Ради Народних Комісарів «Про введення Міжнародної метричної системи мір і ваг». Подальший розвиток метрології в Україні пов'язане зі створенням системи й органів служб стандартизації.

Розвиток природничих наук привело до появи всі нових і нових засобів вимірів, а вони, у свою чергу, стимулювали розвиток наук, стаючи усе могутнішим засобом дослідження.

1.2 Метрологія та її значення в науково-технічному прогресі

Метрологія виникла як наука про різні міри і співвідношення між ними. Слово метрологія утворено з двох грецьких слів: «метро» – міра і «логос» – вчення, що буквально можна перекласти як «вчення про міри».

Виміри є одним з найважливіших шляхів пізнання природи, дають кількісну характеристику оточуючого світу, допомагають розкрити діючі в природі закономірності. Д. І. Менделєєв, підкреслюючи значення вимірювання для науки, писав, що «наука починається відколи починають вимірювати... точна наука неможлива без міри».

Виміри грають величезну роль в сучасному суспільстві. Наука і промисловість не можуть існувати без вимірювання. Кожну секунду у світі відбувається багато мільярдів вимірювальних операцій, результати яких використовуються для забезпечення належної якості і технічного рівня продукції, що випускається, безпечної і безаварійної роботи транспорту і промисловості, для медичних і екологічних діагнозів і інших важливих цілей. Практично немає жодної сфери діяльності людини, де б інтенсивно не використовувалися результати вимірювання, випробувань і контролю. Для їх отримання задіяні мільйони людей і великі фінансові кошти. За оцінками експертів 15% громадської праці витрачається на проведення вимірювання.

Значимість вимірювання визначається тим, що тільки шляхом вимірювання необхідних фізичних величин, параметрів і показників можна отримати достовірну початкову інформацію, що становить основу будь-якої форми управління, аналізу, прогнозування, планування, контролю або регулювання. Причому, правильність рішень, які приймаються, може бути забезпечена тільки при високій і гарантованій точності результатів вимірювання.

З 1 січня 2001р. на території України і країн СНД замість ГОСТ 16263-70 введені рекомендації РМГ 29-99, які містять основні терміни і визначення в області метрології, узгоджені з міжнародними стандартами ISO, що регламентують використання одиниць вимірювання. Згідно РМГ 29-99 і ДСТУ 2681-94: «Мет-

рологія – наука про виміри, методи і засоби забезпечення їх єдності і способи досягнення необхідної точності».

Предметом метрології є витяг шляхом вимірювання кількісної інформації про властивості об'єктів і процесів із заданою точністю і достовірністю.

Найважливішим *завданням метрології* є розробка методів і засобів вимірювання, а також забезпечення єдності вимірювання, яка вирішується при дотриманні двох умов: вираз результатів вимірювання в узаконених одиницях і встановлення допустимих похибок результатів вимірювання і меж, за які вони не повинні виходити, при заданій імовірності. Похибки вимірювання вказуються в паспорті, технічних умовах (ТУ) та іншій нормативній документації, що надається засобу вимірювання.

Об'єктами метрології є одиниці фізичних величин, засоби і методи вимірювання, методики виконання вимірювання, еталони.

Метрологія ґрунтується на трьох китах, першим з яких є філософія. Глибокий філософський сенс вимірювання полягає в тому, що вони є одним з шляхів пізнання світу, органічно пов'язаним із спостереженням і експериментом. Виміри разом із спостереженням і експериментом утворюють емпіричну основу пізнання. Вони є найважливішим елементом віддзеркалення об'єктивно існуючих співвідношень між реальними об'єктами.

У своєму розвитку метрологія пройшла шлях від «опису всякого роду мір по їх найменуваннях і взаємному співвідношенню» (Ф. І. Петрушевський) до точної науки про виміри. Ставши точною наукою, метрологія базується на відповідному математичному апараті. Отже, математика є другим «китом».

Третім «китом», на якому стоїть метрологія, являються прикладні науки: для техніки – відповідні галузі фізики, для вивчення громадських явищ – соціологія, для вивчення людини – психологія і т. п.

Для забезпечення науково-технічного прогресу метрологія повинна випереджати у своєму розвитку інші галузі науки, тому що для кожної з них точні виміри і достовірна інформація є засадничими.

1.3 Розділи метрології

Метрологія ділиться на три самостійних і взаємодоповнюючих розділи – теоретичну, прикладну і законодавчу метрологію.

Теоретична метрологія (наукова) освітлює загальні питання теорії вимірювання, займається питаннями фундаментальних досліджень по метрології, знаходиться на стику прикладних наук: фізика, математика, теорія імовірності і математична статистика, електротехніка тощо.

Прикладна метрологія (промислова) присвячена вивченню питань практичного застосування в різних сферах діяльності результатів теоретичних досліджень у рамках метрології для вирішення вимірювальних завдань. Вивчення прикладної метрології дозволить освоїти порядок планування, організації і виконання більшості метрологічних робіт, навчитися виконувати їх практично з оформленням відповідної звітності, отримати уявлення про шляхи розвитку прикладної метрології і перспективи підвищення ефективності господарського комплексу країни за рахунок вдосконалення метрологічного забезпечення.

Промислова метрологія займається вимірами на виробництві і контролем якості. Вона охоплює методи перевірки, періодичність перевірок, контроль процесу вимірювання і контроль засобів вимірювання в промисловості з метою забезпечення того, щоб їх стан відповідав вимогам до їх використання.

Законодавча метрологія служить правовою основою забезпечення єдності вимірювання, охоплює розробку метрологічними відомствами правових норм різного рівня, що регламентують метрологічні правила, вимоги і норми, також служби контролю і нагляду за їх виконанням. За час незалежності в Україні створена своя національна метрологічна система. Це зажадало перегляду і прийняття нових нормативних документів з питань метрологічної діяльності.

Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу

1. Дайте визначення метрології.
2. У чому полягає значимість метрології?
3. Назвіть об'єкти метрології.

4. Яке місце метрології серед інших наук?
5. Перерахуйте, з яких основних розділів складається метрологія?
6. Які завдання вирішуються теоретичною метрологією?
7. Що вивчає практична метрологія?
8. Що є предметом законодавчої метрології?
9. Назвіть державний стандарт України, що містить основні терміни і визначення в області метрології.

Література до розділу 1

- 1.Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация [Текст] / А.Г. Сергеев, М.В.Латышев, В.В.Терегеря. – М.: Логос, 2003. – 272 с.
- 2.Цюцюра В.Д. Метрологія та основи вимірювань [Текст]: навч. посіб. / В.Д. Цюцюра, С.В. Цюцюра. – К.: Знання-Прес, 2003. – 80 с.
- 3.Сергеев А.Г. Метрология [Текст]: учеб. пособие для вузов. / А.Г. Сергеев, В.В. Кровин. – М.: Логос, 2001. – 408 с.
- 4.Троцан А.Н. Прикладная метрология [Текст]: учебное пособие / А.Н. Троцан, Н.В.Финошин. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 240 с.
- 5.Топольник В.Г. Метрологія, стандартизація, сертифікація і управління якістю [Текст]: навчальний посібник / В.Г Топольник, М.А Котляр. – Львів: Магнолія, 2009. – 212 с.
- 6.Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: учебник для вузов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2004. – 767 с.
- 7.О метрологии и метрологической деятельности [Текст]: Закон Украины от 13 марта 1998 г. // Голос Украины. – 1798. – №48
- 8.ДСТУ 2681-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни і визначення [Текст]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 68 с.

РОЗДІЛ 2 ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИННИ ТА ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ

2.1 Фізична величина

2.2 Система одиниць фізичних величин

2.3 Розмірність і значення фізичної величини

2.4 Шкали вимірювання

2.1 Фізична величина (ФВ)

У науці, техніці і повсякденному життю людина має справу з різноманітними властивостями оточення нас фізичних об'єктів. Одна і та ж властивість може бути виявлена у багатьох об'єктів або бути властивим тільки деяким з них. У зв'язку з цим виникла необхідність ідентифікувати властивості, присвоївши їм найменування (довжина, маса, об'єм.). Кожен фізичний об'єкт може бути описаний за допомогою різних властивостей, властивих цьому об'єкту. Властивість – категорія якісна, виражає відмінність або спільність з іншими об'єктами. Будь-яка властивість може бути виміряна.

Для кількісного опису різних властивостей, процесів і фізичних тіл вводиться поняття величини. Величина – це властивість чого-небудь, яке може бути виділене серед інших властивостей і оцінене тим або іншим способом, у тому числі і кількісно.

Величина не існує сама по собі, вона має місце, поки існує об'єкт з властивостями, вираженими цією величиною.

Аналіз величин дозволяє розділити їх на два види: реальні і ідеальні (рис. 2.1).

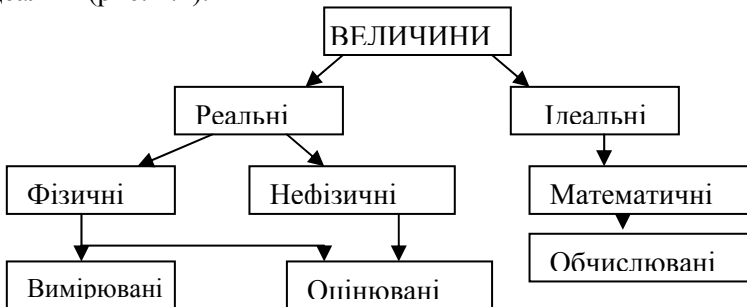


Рисунок 2.1 – Класифікація величин

Ідеальні величини відносяться до області математики, і метрологія як наука ними не займається, хоча і використовує в практиці обробки результатів вимірювання. Ідеальні величини можуть бути обчислені тим або іншим способом і за певних умов можуть не мати похибки обчислення, чого не можна сказати про величини реальні.

Реальні величини діляться на фізичні і нефізичні. Фізична величина може бути визначена як величина, властива матеріальним об'єктам (процесам, явищам), що вивчаються в природних (фізика, хімія) і технічних науках. До нефізичних відносяться величини, властиві громадським наукам – філософії, соціології, економіці, управлінню якістю, інформатиці тощо.

Нефізичні величини, для яких одиниця вимірювання в принципі не може бути введена, можуть бути оцінені з використанням експертних оцінок, бальної системи, набору тестів. Нефізичні величини, при оцінці яких неминучий вплив суб'єктивного чинника, так само, як і величини ідеальні, до області метрології не відносяться.

Метрологія як наука займається фізичними величинами. Фізичні величини розділяють на вимірювані і оцінювані. Вимірювані ФВ виміряні технічними засобами вимірювання, виражені кількісно в певних одиницях вимірювання.

Фізичні величини, для яких не може бути введена одиниця вимірювання, можуть бути тільки оцінені. Оцінювання величини здійснюється за допомогою натуральних шкал, наприклад, твердість мінералів за шкалою Мооса, сила вітру за натуральною шкалою Бофорта.

Стандарт ДСТУ 2681-94 визначає, що фізична величина – це властивість, загальна в якісному відношенні для багатьох фізичних об'єктів, але в кількісному відношенні індивідуальна для кожного об'єкту.

Кожна ФВ має свої якісну і кількісну характеристики.

Якісна характеристика визначає «рід» величини (маса, температура, щільність, довжина.), виражаючи відмінність або спільність з іншими величинами. Кількісна характеристика визначає розмір вимірюваної величини (довжина конкретного предмета, щільність конкретного предмета). Наприклад, властивість «міцність» в

якісному відношенні характеризує такі матеріали, як сталь, дерево, тканина, скло і багато інших, тоді як міра (кількісне значення) міцності – величина для кожного з них абсолютно різна.

2.2 Система одиниць фізичних величин

Об'єктом вимірювання є фізичні величини, які прийнято ділити на основні і похідні.

Основні величини не залежать одна від одної, але вони можуть служити основою для встановлення зв'язків з іншими фізичними величинами: кг, м, с.

Похідні величини – фізичні величини, одиниці вимірювання яких складені з інших одиниць або вони можуть бути отримані за певною формулою, що показує залежність їх від інших фізичних величин: $\text{кг}/\text{м}^3$; $\text{м}/\text{с}^2$; м^2 .

Сукупність основних і похідних одиниць ФВ, утворена відповідно до прийнятих принципів, називається системою одиниць фізичних величин.

Розвиток метричної системи мір в різних галузях науки і техніки відбувався роз'єднано і призвів до появи багатьох систем одиниць фізичних величин і великої кількості позасистемних одиниць. Можливість усунення різноманіття вживаних одиниць з'явилася після розробки Єдиної універсальної системи одиниць, що охоплює усі галузі науки і техніки. Ця система одиниць була прийнята XI Генеральною конференцією по заходах і вагах в 1960 р. і отримала найменування «Міжнародна система одиниць» – СІ (Система Інтернаціональна).

Міжнародна організація по стандартизації видала міжнародні стандарти ISO 31:1992 «Величини і одиниці», ISO 1000:1992 «Одиниці СІ і рекомендації по використанню їх кратних і деяких інших одиниць». В Україні система СІ офіційно була прийнята в 1963г. Як основні величини прийняті: метр, кілограм, секунда, ампер, кельвін, моль і кандела, які введені ДСТУ 3651.0-97 «Основні одиниці ФВ» (табл. 2.1). Похідні одиниці ФВ міжнародної системи одиниць введені стандартом ДСТУ 3651.1-97 «Похідні одиниці ФВ» (табл. 2.1). Прикладами похідних одиниць, що мають спеціальну назву, є: герц – одиниця частоти; ват – одиниця потужності.

Міжнародна система одиниць містить дві додаткові одиниці: для плоского кута – радіан і для тілесного кута – стерадіан (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Міжнародна система одиниць СІ

Величина		Одиниця	
Найменування	Позначення	Найменування	Позначення
<i>Основні одиниці</i>			
Довжина	L	метр	м
Маса	M	кілограм	кг
Час	T	секунда	с
Сила електричного струму	I	ампер	A
Термодинамічна температура	θ	кельвін	K
Кількість речовини	N	моль	моль
Сила світла	J	кандела	кд
<i>Додаткові одиниці</i>			
Плоский кут	α, β, γ	радіан	рад
Тілесний кут	Ω, ω	стерадіан	ср
<i>Похідні одиниці</i>			
Частота	V, f	герц	Гц
Сила, вага	F, P, Q	Ньютон	Н
Тиск, механічна напруга, модуль пружності	P	Паскаль	Па
Енергія, робота, кількість теплоти	E, W	джоуль	Дж
Потужність, потік енергії	N, P	ват	Вт
Кількість електрики (електричний розряд)	Q, q	кулон	Кл
Електрична напруга, електричний потенціал, різниця електричних потенціалів, електрорушійна сила	U	вольт	В
Електрична місткість	C	фарад	Ф
Електричний опір	R, r	ом	Ом
Електрична провідність	G	сименс	См
Потік магнітної індукції, магнітний потік	Φ	вебер	Вб
Щільність магнітного потоку, манітна індукція	B	тесла	Тл
Індуктивність, взаємна індуктивність	L	генрі	Гн
Світловий потік	Φ	люмен	Лм
Освітленість	E	люкс	Лк
Активність нукліда в радіоактивному джерелі	Bq	Беккерель	Бк
Поглинена доза випромінювання, керма, показник поглиненої дози	Gy	грей	Гр

Для кожної фізичної величини встановлюється одна одиниця і система утворення кратних і частинних одиниць від неї за допомогою множників (табл. 2.2). Кратна одиниця ФВ в ціле число

разів більше системної або позасистемної одиниці. Частинна одиниця ФВ в ціле число разів менше системної або позасистемної одиниці. Системна одиниця ФВ – одиниця, що входить в прийняту систему одиниць. Усі основні, похідні кратні і частинні одиниці є системними.

Окрім одиниць ФВ, що входять в прийнятні системи, існують позасистемні одиниці. Позасистемна одиниця – це одиниця ФВ, що не входить ні в одну з прийнятих систем одиниць. Позасистемні одиниці по відношенню до одиниць СІ розділяють на чотири види:

– допустима нарівні з одиницями СІ, наприклад, одиниця маси – тонна; об’єму – літр; плоского кута – градус тощо;

– допустима до застосування в спеціальних областях, наприклад, одиниця довжини в астрономії – парсек, світловий рік; одиниця оптичної сили в оптиці – діоптрія тощо;

– тимчасово допустимі до застосування нарівні з одиницями СІ, наприклад, в морській навігації одиниця довжини – морська миля; у ювелірній справі одиниця маси – карат тощо. Ці одиниці повинні вилучатися із вживання відповідно до міжнародних угод;

– вилучені зі вживання, наприклад, одиниця потужності – кінська сила.

Таблиця 2.2 – Множники і приставки для утворення десяткових кратних і частинних одиниць і їх найменувань

Множник	Префікс	Позначення		Множник	Префікс	Позначення	
		рос. укр.	міжн.			рос. укр.	міжн.
10^{24}	йота	Й	Y	10^{-1}	деци	д	d
10^{21}	зета	ЗТ	Z	10^{-2}	санті	с	c
10^{18}	екса	Е (Э)	E	10^{-3}	милі	м	m
10^{15}	пета	П	P	10^{-6}	мікро	мк	μ
10^{12}	тера	Т	T	10^{-9}	нано	н	n
10^9	гіга	Г	G	10^{-12}	піко	п	p
10^6	мега	М	M	10^{-15}	фемто	ф	f
10^3	кіло	к	k	10^{-18}	атто	а	a
10^2	гекто	г	h	10^{-21}	зепто	зп	z
10	дека	так	da	10^{-24}	йокто	й	y

2.3 Розмірність та значення фізичної величини

Розмірність – якісна характеристика вимірюваної величини. Відображає зв'язок цієї величини з основними величинами і залежить від вибору останніх. Розмірність позначається символом \dim , що походить від слова *dimension*, яке залежно від контексту може переводитися як розмір і як розмірність.

Розмірність основних ФВ позначається відповідними заголовними буквами, наприклад: для довжини $\dim l = L = [\text{м, км, мм.}]$;

для маси $\dim M = M = [\text{кг, гр, т.}]$;

для часу $\dim t = T = [\text{мін, з, година.}]$.

Розмірність похідної ФВ ($\dim Q$) – це вираження у формі степінного многочлена, що відображає зв'язок цієї фізичної величини з основними фізичними величинами,:

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma \dots;$$

де L, M, T – розмірність відповідних основних фізичних величин; α, β, γ – цілі або дробові додатні або від'ємні дійсні числа.

Показник міри, в який зведена розмірність основної величини, називають показником розмірності. Якщо усі показники розмірності дорівнюють нулю, то таку величину називають безрозмірною. Показник розмірності основної величини відносно самої себе дорівнює одиниці і не залежить від інших величин.

При визначенні похідних величин керуються наступними правилами:

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 $Q = A \cdot B \cdot C$, то

$$\dim Q = \dim (A \cdot B \cdot C) = \dim A \cdot \dim B \cdot \dim C.$$

3. Розмірність частки при діленні однієї величини на іншу дорівнює відношенню їх розмірності, тобто $Q = A/B$, то

$$\dim Q = \dim (A/B) = \dim A / \dim B$$

4. Для величини, що підноситься до степеня, тобто $Q=A^n$, розмірність підноситься до того ж ступеня: $\dim Q = \dim A^n = \dim^n A$.

Наприклад, електричний опір в 1 Вт – розмірність:

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

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

Кількісною характеристикою вимірюваної величини служить її розмір. Отримання інформації про розмір ФВ є змістом будь-якого вимірювання. При цьому немає іншого експериментального способу отримати інформацію про які б то не було розміри, як виконати порівняння їх між собою. При вимірі за шкалою відношень або шкалою інтервалів виконується порівняння невідомого розміру з відомим, прийнятим за одиницю.

Одиниця вимірювання фізичної величини – це фізична величина фіксованого розміру, якій за визначенням умовно присвоєно числове значення, рівне одиниці і вживана для кількісного вираження однорідних з нею фізичних величин.

Значення вимірюваної фізичної величини – це оцінка її величини у вигляді деякого числа прийнятих для неї одиниць або числа за прийнятою для неї шкалою. Абстрактне число, що входить в нього, називається числовим значенням. Воно показує на скільки одиниць вимірюваний розмір більше нуля або в скільки разів він більше одиниці вимірювання. Таким чином, значення вимірюваної величини Q можна виразити через основне рівняння вимірювання:

$$Q = q[Q];$$

де Q – істинне значення фізичної величини (результат вимірювання); q – числове значення ФВ; $[Q]$ – одиниця вимірювання ФВ. Наприклад, 120 мм – значення лінійної величини; 75 кг – значення маси тіла; $HB\ 190$ – число твердості по Бринелю.

Одиниця вимірювання – це ФВ певного розміру, прийнята для кількісного відображення однорідних з нею величин. 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.

2.4 Шкали вимірювання

Серед безлічі специфічних проявів властивостей фізичних об'єктів виділяють три найбільш загальних прояви відносно еквівалентності, порядку і адитивності, що описуються простими виразами.

1. *Відношення еквівалентності* – це відношення, в якому ця властивість X у різних об'єктів є однаковою або неоднаковою:

$$X(A) \approx X(B) \text{ або } X(A) \neq X(B).$$

2. *Відношення порядку* – це відношення, в якому ця властивість X у різних об'єктів виявляється більшою або меншою:

$$X(A) > X(B) \text{ або } X(B) < X(A)$$

причому якщо $X(A) > X(B)$ і $X(B) > X(C)$, то $X(A) > X(C)$.

3. *Відношення адитивності* – це відношення, в якому однорідні властивості різних об'єктів можуть підсумовуватися:

$$X(A) + X(B) = X(C).$$

Розмірність правої і лівої частини рівнянь повинні співпадати, тобто, алгебраїчно підсумовуватися можуть тільки величини, що мають однакову розмірність.

Виміром фізичної величини називають сукупність операцій, виконаних за допомогою технічних засобів, що зберігає одиницю, або відтворюючу шкалу фізичної величини, що полягає в порівнянні вимірюваної величини з її одиницею або шкалою з метою набуття значення цієї величини у формі, найбільш зручній для використання.

Шкала фізичної величини – впорядкована сукупність значень фізичної величини, що служить початковою основою для вимірювання цієї величини. Залежно від виду проявів властивостей

фізичних об'єктів розрізняють п'ять основних типів шкал вимірювання.

Шкала найменувань (шкала класифікацій) – це найпростіший тип шкал, застосовують для властивостей, що проявляють себе тільки відносно еквівалентності, які у різних об'єктів можуть співпадати або не співпадати. За своєю суттю це якісна, а не кількісна шкала, не містить нуля і одиниць вимірювання.

По таких шкалах:

1) класифікують якісні властивості, визначувані за допомогою органів чуття людини (органолептичні). Наприклад, експертні оцінки запахів або оцінка кольору по найменуваннях (атлас кольорів, шкала кольорів). Процес вимірювання полягає у візуальному порівнянні забарвленого предмета з еталонним зразком. Виконує вимір досвідчений експерт, що має відповідні зорові можливості.

2) приписування якісним властивостям об'єктів чисел (знаків), що грають роль простих імен. Наприклад: один з резисторів позначений *R5* інший *R18*. З цього не можна зробити висновок, що значення їх опору відрізняються в троє, можна лише встановити, що обоє вони відносяться до класу резисторів.

Шкала порядку (шкала рангів) – застосовують для властивостей, що проявляють себе відносно еквівалентності і порядку. Застосовна для числового оцінювання величин за задалегідь вибраними правилами, якщо відсутня одиниця величини, є ранжирований ряд, впорядковану послідовність подій. Кожна з подій більше за попереднє. Оцінюється в балах по натуральних шкалах.

Основний недолік натуральних шкал – відсутність упевненості, що інтервали між вибраними опорними точками є рівновеликими, а отже, в такій шкалі неможливо вичленувати одиницю величини і оцінити похибку отриманої оцінки. Оскільки інтервали між балами невідомі, то ніякі математичні операції до цих шкал застосовуватися не можуть, застосовні тільки логічні. Порівнюючи однорідні об'єкти, ранжирований ряд (в порядку убування, зростання) може дати відповідь на питання «що більше-менше», «краще-гірше», але, на скільки більше-менше; у наскільки, раз краще-гірше дати відповідь не може. Наприклад, шкала землетрусів, 12-бальна шкала Бофорта для оцінювання сили морського хвилювання, шкала в'язкості Енглера.

Широкого поширення набули шкали порядку з нанесеними на них реперними точками. До таких шкал, наприклад, відноситься шкала Мооса для визначення твердості мінералів, яка містить 10 опорних мінералів з умовними числами твердості: 1-тальк, 2-гіпс, 3-кальцій, 4-флюорит, 5-апатит, 6-ортоклаз, 7-кварц, 8-топаз, 9-корунд, 10-алмаз. Віднесення мінералу до тієї або іншої міри твердості здійснюється на підставі дряпання випробовуваного матеріалу опорним матеріалом. Якщо після дряпання випробовуваного мінералу кварцем (7) на ньому залишається слід, а після дряпання ортоклаза (6) – не залишається, то твердість випробовуваного мінералу складає більше 6, але менше 7. Точнішої відповіді в цьому випадку дати неможливо.

Шкала інтервалів (шкала різниць) застосовуються для властивостей, що проявляють себе відносно еквівалентності, порядку і адитивності.

Шкала інтервалів складається з однакових інтервалів і, як наслідок лінійна, має одиницю вимірювання і довільно вибраний початок – нульову точку. До таких шкал відноситься шкала інтервалів часу, температурні шкали.

Шкали інтервалів досконаліші оскільки дозволяють виконувати математичні дії:

– результати вимірювання складати один з одним і віднімати один з одного, тобто визначати, на скільки одне значення фізичної величини більше або менше іншого.

– складання і віднімання інтервалів (різниць), служать для вимірювання шляхом порівняння 2-х розмірів, порівнюючи в скільки разів один інтервал більше або менше іншого.

Розмір Q фізичної величини може бути визначений за шкалою інтервалів на підставі рівняння:

$$Q = Q_0 + q [Q],$$

де Q_0 – початок відліку шкали; q – числове значення величини; $[Q]$ – одиниця вимірювання.

Основний інтервал можна виразити рівнянням: $\Delta Q = Q_1 - Q_0$.

Шкала відношень – застосовують для властивостей, що проявляють себе відносно еквівалентності, порядку і адитивності.

Є інтервальною шкалою з природним початком відліку – нулем. Вона охоплює інтервал значень n від 0 до ∞ і, у відмінності від шкали інтервалів, не містить від’ємних значень, одиниці вимірювання встановлюються за погодженням.

За такою шкалою можна відлічувати абсолютне значення вимірюваної фізичної величини і визначати на скільки більше-менше; у скільки разів більше-менше за правилом: $Q_1/Q_2=n$.

Шкала відношень є найдосконалішою, найбільш інформативною. Результати вимірювання за шкалою відношень можна складати між собою, віднімати, перемножувати і ділити. Прикладами величин, для яких існують шкали відношень, є маса, довжина, сила електричного струму тощо.

Абсолютні шкали мають усі ознаки шкал відношень, але додатково в них існує природне однозначне визначення одиниці вимірювання, незалежне від прийнятої системи одиниць. Такі шкали відповідають відносним величинам: коефіцієнту посилення, послаблення, плоский або тілесний кут тощо. Для утворення багатьох похідних в системі СІ використовуються безрозмірні і рахункові одиниці абсолютних шкал.

Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу

1. Дайте визначення фізичної величини. Наведіть приклади величин, що належать до різних груп фізичних процесів.
2. Що таке одиниця ФВ? Яка система одиниць ФВ використовується в Україні?
3. Що таке система одиниць фізичних величин?
4. Назвіть основні величини системи одиниць ФВ, прийнятої в Україні. Наведіть приклади похідних фізичних величин і одиниць.
5. Що таке позасистемні одиниці? Які види позасистемних одиниць Ви знаєте?
6. Що таке розмірність ФВ? Запишіть розмірність наступних ФВ: енергії, тиску, електричного опору, електроємності.
7. Назвіть приведені значення фізичних величин, використовуючи кратні і частинні приставки: $5,3 \cdot 10^{13}$ Ом; $10,4 \cdot 10^{13}$ Гц; $2,56 \cdot 10^7$ Па; $7,65 \cdot 10^{-3}$ с; $12,3 \cdot 10^{-13}$ Ф.

8. Запишіть основне рівняння вимірювання. Що воно показує?
9. У чому полягає єдність вимірювання?
10. Назвіть види проявів властивостей фізичних об'єктів.
11. Що таке шкала фізичної величини? Наведіть приклади різних шкал.
12. Яка з шкал є найдосконалішою?

Література до розділу 2

- 1.Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация [Текст] / А.Г. Сергеев, М.В.Латышев, В.В.Терегеря. – М.: Логос, 2003. – 272 с.
- 2.Цюцюра В.Д. Метрологія та основи вимірювань [Текст]: навч. посіб. / В.Д. Цюцюра, С.В. Цюцюра. – К.: Знання-Прес, 2003. – 80 с.
- 3.Сергеев А.Г. Метрология [Текст]: учеб. пособие для вузов. / А.Г. Сергеев, В.В. Кровин. – М: Логос, 2001. – 408 с.
- 4.Троцан А.Н. Прикладная метрология [Текст]: учебное пособие / А.Н. Троцан, Н.В.Финошин. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 240 с.
- 5.Топольник В.Г. Метрологія, стандартизація, сертифікація і управління якістю [Текст]: навчальний посібник / В.Г Топольник, М.А Котляр. – Львів: Магнолія, 2009. – 212 с.
- 6.Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: учебник для вузов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2004. – 767 с.
- 7.О метрологии и метрологической деятельности [Текст]: Закон Украины от 13 марта 1998 г. // Голос Украины. – 1998. – №48
- 8.ДСТУ 2681-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни і визначення [Текст]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 68 с.

РОЗДІЛ 3 ВИДИ ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

- 3.1 Види вимірювання
- 3.2 Методи і методика вимірювання
- 3.3 Умови вимірювання
- 3.4 Характеристики якості вимірювання
- 3.5 Області вимірювання

3.1 Види вимірювання

Вимір ФВ – складний процес, що включає цілий ряд структурних елементів, таких як вимірювальне завдання, об'єкт вимірювання, принцип і метод вимірювання, засіб вимірювальної техніки, умови вимірювання, результат і похибка вимірювання.

Згідно із стандартом ДСТУ 2681-94 вимір – це знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів.

Вид вимірювання – це спосіб набуття числового значення вимірюваної величини. Розрізняють наступні види вимірювання:

1. За способом отримання результатів:

– *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'язком 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-кому двох з вказаних величин. Тоді, вимірюючи різні поєднання величин, отримаємо $A_1+A_2=a$, $A_1+A_3=v$, $A_2+A_3=z$, де a , v , z – результати вимірювання відповід-

них 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 вимірювання електричного опору провідника і його температури для встановлення залежності опору і температури. Вимір струму при різних значеннях напруги для перевірки закону Ома.

2. По характеру залежності вимірюваної величини від часу:

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

– *статичний вимір* – вимірювана фізична величина приймається відповідно до конкретного вимірювального завдання за незмінну упродовж часу вимірювання. Наприклад, вимір діаметру деталі при нормальній температурі.

– *динамічні вимір* – це вимір, що змінюється за розміром ФВ в часі. Наприклад, вимір змінної напруги електричного струму, виміри миттєвих значень швидкоплинних процесів: пульсацій, вібрацій, імпульсів.

– *статистичні виміри* – пов'язані з визначенням характеристик випадкових процесів, наприклад, для контролю виробничих процесів.

3. 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 по формулі Енштейна $E=mc^2$, де маса (m) – основна величина, швидкість світла (c) – константа;

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

4. По кількості вимірювання під час експерименту:

– *одноразовий вимір* – це вимір, виконуваний тільки один раз. Недолік – велика похибка. Рекомендовано виробляти три виміри. Результат – середнє арифметичне значення.

– *багаторазові виміри* – це виміри одного і того ж розміру ФВ, що йдуть один за одним в однакових умовах. Відомо, що при кількості окремих вимірювання більше чотирьох, їх результати можна обробляти відповідно до вимог математичної статистики.

5. 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 по точності ЗВТ і (чи) в різних умовах.

Методики обробки результатів рівноточних і нерівноточних вимірювання різні.

6. Залежно від метрологічного призначення:

– *технічні* – виміри проводяться ЗВТ;

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

3.2 Методи і методика вимірювання

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

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

Розрізняють методи:

1. Метод безпосередньої оцінки. Значення вимірюваної ФВ визначають безпосередньо по відліковому пристрою ЗВТ прямої дії. Це найбільш поширений метод, його реалізують більшість ЗВТ. У методі безпосередньої оцінки міра в явному виді 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 (кг).

Метод порівняння з мірою має декілька різновидів:

– *нульовий метод (чи метод повного урівноваження)* – результат порівняння вимірюваної величини і міри доводиться до

нуля. Наприклад, вимір маси на рівноплечих вагах. Маса об'єкту 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 (рис. 3.1 а);

– *диференціальний метод* – повне урівноваження не виробляють вимірюваної величини і міри. Різниця між вимірюваною величиною і величиною, відтворюваною мірою, відлічуються за шкалою приладу (рис.3.1 б), де $\Delta m = m_x - m_m$, $m_x = m_m + \Delta m$, Δm – дані ваг.

– *метод заміщення* – метод порівняння з мірою, в якому вимірювану величину заміщають відомою величиною, відтворюваною мірою. Наприклад, зважування на пружинних вагах. Вимір робиться в два прийоми. Спочатку на чашу ваг поміщають масу, що завантажується, і відмічають положення покажчика ваг. Потім масу m_x заміщають масою гир m_m підбираючи її так, щоб покажчик ваг встановився точно в тому ж положенні, що і в першому випадку, при цьому $m_x = m_m$. За результатами вимірювання обчислюється шукана величина (рис. 3.1 в).

– *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.

Методика виконання вимірювання (МВВ) – це сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує отримання результатів вимірювання з необхідною точністю. МВВ включає вимоги до вибирання 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.

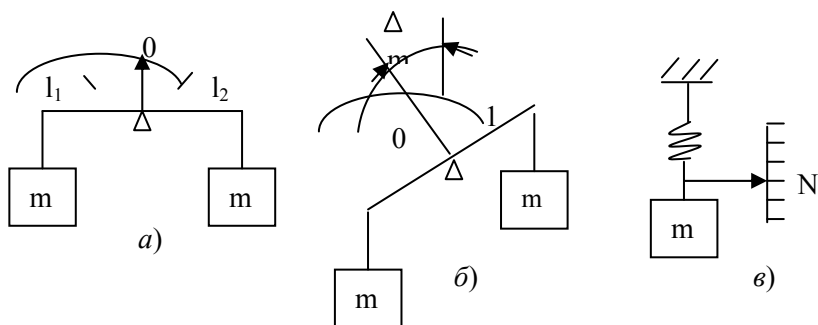


Рисунок 3.1 – Методи порівняння

3.3 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 перекручує результати вимірювання, і впливають на похибку вимірювання.

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

Вплив умов вимірювання на ЗВТ проявляється в зміні його метрологічних характеристик. При цьому та частина похибки вимірювання, яка виникає із-за зміни 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:

$$\Delta l = l \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1 - \alpha_2 \cdot \Delta t_2)$$

де l – вимірюваний розмір, мм; α_1, α_2 – температурні коефіцієнти лінійного розширення матеріалів деталі і вимірювального засобу $^\circ\text{C}^{-1}$; $\Delta t_1 = t_1 - 20^\circ\text{C}$ – різниця між температурою деталі і нормальною температурою;

$\Delta t_2 = t_2 - 20^\circ\text{C}$ – різниця між температурою вимірювального засобу і нормальною температурою.

Неминучі помилки:

– якщо t деталі і t засобу вимірювання однакові, але не рівні 20°C ;

– якщо виник місцевий нагрів, наприклад, під дією тепла рук контролера.

При контролі розміру 250 мм, виготовленого із сталі – коефіцієнт лінійного розширення $\alpha_1 = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$ гладким калібром, виготовленим з хромистої сталі $\alpha_2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$ при температурі виробу 24°C і температурі калібру 18°C . Визначити температурну похибку (якщо Δt_1 або Δt_2 мають від'ємний знак, то похибку можна внести як поправку до результату вимірювання, узявши її із протилежним знаком).

$$\Delta t_1 = 24 - 20^\circ\text{C} = 4 \quad \Delta t_2 = 18 - 20^\circ\text{C} = -2$$

$$\Delta l = 250(12 \cdot 10^{-6} \cdot 4 - 2 \cdot 10^{-6}(2)) = 0,011 \text{ мм} = 11 \text{ мкм} \quad (1 \text{ мм} = 1000 \text{ мкм}).$$

3.4 Характеристики якості вимірювання

До основних характеристик якості вимірювання відносять-ся:

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 довіркою, 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.

3.5 Області вимірювання

За типом вимірюваної ФВ виміри підрозділяються на області вимірювання.

Область вимірювання – це сукупність вимірювання ФВ, властивих якій-небудь галузі науки і техніки, і 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, Э.Р.С., напруги, потужності, енергії, кута зрушення фаз, опору, ємності тощо;
- 009 – радіотехнічні і радіоелектронні виміри: інтенсивності сигналів, параметрів форми і спектру 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.

Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу

1. Що розуміють під виміром?
2. Дайте визначення прямих, непрямих, спільних і сукупних вимірювання. Наведіть приклади вимірювання кожного виду.
3. У чому відмінність між сукупними і спільними вимірами?
4. Що таке метод вимірювання? За якими ознаками класифікуються методи вимірювання? Які методи вимірювання Вам відомі?
5. Назвіть відмітну особливість вимірювання методами порівняння.
6. Що таке умови вимірювання? Які вони бувають?
5. Що таке область вимірювання? Які області вимірювання розрізняють?
7. Назвіть характеристики якості вимірювання і дайте їм визначення.

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

Література до розділу 3

1. Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация [Текст] / А.Г. Сергеев, М.В.Латышев, В.В.Терегеря. – М.: Логос, 2003. – 272 с.

2. Цюцюра В.Д. Метрологія та основи вимірювань [Текст]: навч. посіб. / В.Д. Цюцюра, С.В. Цюцюра. – К.: Знання-Прес, 2003. – 80 с.

3. Сергеев А.Г. Метрология [Текст]: учеб. пособие для вузов. / А.Г. Сергеев, В.В. Кровин. – М: Логос, 2001. – 408 с.

4. Троцан А.Н. Прикладная метрология [Текст]: учебное пособие / А.Н. Троцан, Н.В.Финошин. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 240 с.

5. Топольник В.Г. Метрологія, стандартизація, сертифікація і управління якістю [Текст]: навчальний посібник / В.Г Топольник, М.А Котляр. – Львів: Магнолія, 2009. – 212 с.

6. Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: учебник для вузов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2004. – 767 с.

7. О метрологии и метрологической деятельности [Текст]: Закон Украины от 13 марта 1998 г. // Голос України. – 1798. – №48

8. ДСТУ 2681-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни і визначення [Текст]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 68 с.

РОЗДІЛ 4 ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ

4.1 Поняття про похибку вимірювання

4.2 Класифікація похибок вимірювання

4.3 Правила округлення результатів вимірювання і значень похибки

4.1 Поняття про похибку вимірювання

Будь-який процес вимірювання незалежно від умов, в яких його проводять, пов'язаний з похибками, які перевертають уявлення про дійсне значення вимірюваної величини. Якість вимірювання тим вище, чим ближче результат вимірювання до дійсного значення. Кількісною характеристикою якості вимірювання є похибка вимірювання, яка залежить від професіоналізму оператора, від устаткування, похибки ЗВТ, методів вимірювання, дії зовнішніх чинників тощо.

Введення поняття «похибка» вимагає визначення і чіткого розмежування трьох понять: істинного, дійсного і вимірюваного значення.

Істинне значення ФВ ідеальним чином в якісному і кількісному сенсах відображає певну властивість об'єкту. Воно не залежить від засобів нашого пізнання і є тією абсолютною істиною, до якої ми прагнемо, намагаючись виразити її у вигляді числових значень. На практиці це абстрактне поняття доводиться замінювати поняттям «Дійсне значення».

Дійсне значення ФВ – знайдено експериментальним шляхом і настільки наближається до істинного значення, що для цієї мети може бути використано замість нього.

Вимірне значення ФВ (результат вимірювання) – є наближеною оцінкою істинного значення величини, отримано при вимірі із застосуванням конкретних методів і засобів вимірювання.

Поняття «похибка» – одне з центральних в метрології, де використовуються поняття «Похибка результату вимірювання» і «похибка засобу вимірювання». Похибка має бути обов'язково оцінена.

Похибка результату вимірювання – це різниця між результатом вимірювання x і істинним (дійсним) значенням Q вимірюваної величини

$$\Delta = x - Q.$$

4.2 Класифікація похибок вимірювання

Похибки, що виникають в процесі вимірювання, можна розділити:

1. За способом вираження:

– *абсолютна похибка* – це алгебраїчна різниця між отриманим при вимірі і дійсним значенням вимірюваної ФВ, виражена в одиницях вимірювання цієї величини:

$$\Delta = x - Q$$

де x – результат вимірювання; Q – дійсне значення вимірюваної величини;

– *відносна похибка* – похибка, що визначається відношенням абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини і виражається в долях або у відсотках від значення вимірюваної ФВ:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{Q} \quad \text{чи} \quad \delta = \pm \frac{\Delta}{Q} \times 100\%.$$

2. За характером прояви:

– *систематична похибка* – складова похибки результату вимірювання, яка при повторних вимірах однієї і тієї ж величини в одних і тих же умовах залишається постійною або закономірно змінюється. Наприклад, лінійка має неточність ціни ділення, отже, ця похибка перенесеться на усі результати вимірювання, оператор систематично робить одну і ту ж помилку.

Як правило, систематичні похибки можуть бути визначені до початку вимірювання. Оскільки істинне значення визначити неможливо, не можна визначити і систематичну похибку вимірювання. Саме тому цю похибку не визначають, а оцінюють розрахунковими методами або шляхом проведення вимірювального експерименту із застосуванням точніших ЗВТ, замінюючи істинне значення дійсним. Якщо значення систематичної похибки, оцінене в процесі цього експерименту, виявляється істотним в

порівнянні з необхідною похибкою вимірювання, то в результат вимірювання вводиться поправка або поправочний множник для компенсації цієї похибки.

Оскільки систематична похибка і усі її причини не можуть бути відомі точно, компенсація не може бути повною, залишається невиключний залишок систематичної похибки (НЗСП);

– *випадкова похибка* – складова похибки результату вимірювання, змінюється випадковим чином (за знаком і значенням) при повторних вимірах однієї і тієї ж величини в одних і тих же умовах, наприклад, неправильне функціонування вимірювального пристрою, зміна зовнішніх умов вимірювання випадкового характеру.

У появі таких похибок не спостерігається якої-небудь закономірності, вони проявляються у вигляді розкиду отриманих даних. Випадкові похибки завжди присутні в результатах вимірювання, причому, чим більше вимірювання, тим менше випадкова похибка. Випадкові похибки не передбачені, не усунені, їх вплив може бути зменшений шляхом обробки результатів вимірювання методами теорії імовірності і математичної статистики;

– *груба похибка (промах)* – випадкова похибка результату окремого спостереження, що входить в ряд вимірювання, яка для цих умов різко відрізняється від інших результатів вимірювання. Наприклад, помилка оператора, різка зміна умов вимірювання, збій ЗВТ. Промахи виявляються обробкою результатів вимірювання за допомогою спеціальних критеріїв – Романовського, Шарл'є, Шовіне.

3. За джерелами виникнення:

– *інструментальна похибка* – складова похибки вимірювання, що належить цьому засобу вимірювання, наприклад, знос, несправність, неправильна установка, налаштування;

– *методична похибка (теоретична)* – складова похибки вимірювання, що виникає із-за недосконалості методу вимірювання.

Ці дві похибки можуть мати і систематичну, і випадкову складові:

– *кліматичні чинники* – складова похибки вимірювання, залежна від умов вимірювання.

– *суб'єктивні похибки* – обумовлені станом оператора, що проводить виміри, його положенням під час роботи, недосконалі-

стю органів чуття, його кваліфікацією і реакцією. Усе це, як правило, позначається на точності візування.

Наприклад, характеристики особистої похибки визначаються на основі нормованої номінальної ціни поділки шкали вимірювального приладу з урахуванням здатності «середнього оператора» до інтерполяції в межах поділки шкали.

Нехай ціна поділки рівномірної шкали рівна X_D одиниць вимірюваної фізичної величини, довжина поділки рівна L_D мм. Визначити найбільше значення особистої похибки.

Статистично середній оператор може інтерполювати в межах поділок кроками по 0,2 поділки, тобто по $0,2 L_D$, найбільше

значення особистої похибки $\Delta L = \frac{0,2L_D}{L_D} X_D = 0,2X_D$.

4.3 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 рівна 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, те результат $I=(2,650\pm 0,006)$ А. Наочно вказувати межі інтервалу невизначеності вимірюваної величини $2,59A < I < 2,71$.

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 рівна 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.

Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу

1. Поясніть поняття істинного, дійсного і вимірюного значення.

2. Що таке похибка результату вимірювання?

3. Як розрізняються похибки за способом вираження?

4. Назвіть, за якими принципами класифікуються похибки?

5. Сформулюйте властивості випадкової і систематичної складових похибки вимірювання.

6. Наведіть відомі Вам приклади методичних похибок.

7. Наведіть приклад суб'єктивної похибки.

8. Перерахуйте правила округлення результатів вимірювання.

9. Як орієнтовно оцінити похибку результату вимірювання за кількістю його значущих цифр?

Література до розділу 4

1.Сергеев А.Г. Метрологія, стандартизація, сертифікація [Текст] / А.Г. Сергеев, М.В.Латышев, В.В.Терегеря. – М.: Логос, 2003. – 272 с.

2.Цюцюра В.Д. Метрологія та основи вимірювань [Текст]: навч. посіб. / В.Д. Цюцюра, С.В. Цюцюра. – К.: Знання-Прес, 2003. – 80 с.

РОЗДІЛ 5 СИСТЕМАТИЧНІ ПОХИБКИ

5.1 Загальні відомості про систематичні похибки

5.2 Виключення систематичних похибок

5.1 Загальні відомості про систематичні 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, що вивчається в теорії імовірності і математичній статистиці.

У метрологічній практиці при оцінці систематичних похибок повинен враховуватися вплив наступних 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.

За характером прояви систематичні похибки поділяються:

1. За характером зміни в часі:

– постійні систематичні похибки – залишаються незмінними протягом усієї серії вимірювання. Наприклад, похибка від того, що неправильно встановлений нуль на шкалі приладу, похибка від постійної додаткової ваги на чашці ваг тощо.

– змінні (прогресивні) систематичні похибки – змінюються в процесі вимірювання, при цьому зростаючи або убуваючи. Періодичною називається похибка, значення якої є періодичною функцією часу. Наприклад, похибки, що виникають внаслідок зносу контактуючих деталей засобів вимірювання, при поступовому розряді батареї, що живить засіб вимірювання, коливання температури довкілля.

2. З причин виникнення:

– методичні;

– інструментальні;

– особисті (суб'єктивні).

5.2 Виключення систематичних похибок

Розглянемо способи усунення систематичних похибок.

Усунення джерел похибок до початку вимірювання. Цей спосіб є найбільш раціональним, оскільки він звільняє від необхідності усувати похибки в процесі вимірювання або обчислювати результат з урахуванням поправок. Наприклад, для усунення температурної похибки потрібно забезпечити необхідну температуру довкілля з допустимими коливаннями. Коливання температури в заданих межах може бути забезпечене на рівні цеху, лабораторії, засобів вимірювання і т. д. вплив вологості і тиску на точність вимірювання може бути виключений, якщо для вимірювання використовувати, наприклад, спеціальні камери.

Спосіб введення поправок заснований на знанні систематичної похибки і закономірності її зміни. В цьому випадку в результат вимірювання, що містить систематичні похибки, вносять поправки, рівні цим похибкам, але із зворотним знаком. Наприклад, до лінійних шкал універсального мікроскопа додається атестат, в якому вказані значення і знак поправки для кожного ділення шкали.

Спосіб заміщення полягає в тому, що вимірюваний об'єкт замінюють відомою мірою, що знаходиться при цьому в тих же умовах, що і об'єкт.

Спеціальні статистичні методи. До них відносяться спосіб послідовних різниць, дисперсійний аналіз тощо. Розглянемо детальніше метод послідовних різниць (критерій Аббе). Застосовується для виявлення систематичної похибки, що змінюється в часі, і полягає в наступному. Обчислюють дисперсію результатів вимірювання двома способами:

– звичайним – визначають незміщену оцінку дисперсії

$$D_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2}{n-1}.$$

– і способом обчислення суми Q_x^2 квадратів послідовних (в порядку проведення вимірювання) різниць $(x_{i+1}-x_i)^2$,

$$Q_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i+1} - x_i)^2}{2(n-1)}.$$

Якщо в процесі вимірювання відбувалося зміщення центру групування результатів спостережень, тобто мала місце змінна систематична похибка, то D_x^2 дасть завищену оцінку дисперсії результатів спостереження, оскільки на D_x^2 впливають варіації M_x .

В той же час зміни центру групування M_x мало позначаються на значеннях послідовних різниць $x_{i+1}-x_i$, отже, зміщення майже не відіб'ються на значенні Q_x^2 .

Внаслідок цього відношення $A = \frac{Q_x^2}{D_x^2}$ є критерієм Аббе

для виявлення систематичних змишень центру групування результатів спостережень. Критична область цього критерію визначається як

$P(A < A\alpha) = \alpha$, де $\alpha = 1 - P$ – рівень значущості, P – довірна імовірність. Якщо набуте значення критерію Аббе менше $A\alpha$

($A < A_\alpha$) при заданих i і n , то гіпотеза про постійність центру групування результатів спостережень відкидається, тобто виявляється змінна систематична похибка результатів спостережень. Значення A для різних рівнів значущості і числа спостережень n приведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Значення критерію Аббе (A_α)

n	А при, рівному			n	А при, рівному		
	0,001	0,01	0,05		0,001	0,01	0,05
4	0,295	0,313	0,390	13	0,295	0,431	0,578
5	0,208	0,269	0,410	14	0,311	0,447	0,591
6	0,182	0,281	0,445	15	0,327	0,461	0,603
7	0,185	0,307	0,468	16	0,341	0,474	0,614
8	0,202	0,331	0,491	17	0,355	0,487	0,624
9	0,221	0,354	0,512	18	0,368	0,499	0,633
10	0,241	0,376	0,531	19	0,381	0,510	0,642
11	0,260	0,396	0,548	20	0,393	0,520	0,650
12	0,278	0,414	0,564				

Наприклад, проведено ряд вимірювання:

13,4; 13,3; 14,5; 13,8; 14,5; 14,6; 14,1; 14,3; 14,0; 14,3; 13,3.

$$\bar{Mx} = \frac{154,0}{11} = 14$$

$$D2x = 2,57/10 = 0,258$$

$$Q2x = 4,12/(2*10) = 0,206$$

$$A = 0,206/0,258 = 0,8.$$

Як видно з таблиці критерію Аббе при $n=11$ для усіх рівнів значущості $A > A_\alpha$, отже, підтверджується нульова гіпотеза про постійність центру групування. Умови вимірювання для приведеного ряду залишилися незмінними і систематичних розбіжностей між результатами спостережень немає.

Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу

1. Що таке систематична похибка? Наведіть приклади.
2. Яким чином класифікуються систематичні похибки?
3. Назвіть способи виявлення змінних систематичних похибок.
4. У чому полягає суть критерію Аббе?

Література за главою до розділу 5

1.Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация [Текст] / А.Г. Сергеев, М.В.Латышев, В.В.Терегеря. – М.: Логос, 2003. – 272 с.

2.Цюцюра В.Д. Метрологія та основи вимірювань [Текст]: навч. посіб. / В.Д. Цюцюра, С.В. Цюцюра. – К.: Знання-Прес, 2003. – 80 с.

3.Сергеев А.Г. Метрология [Текст]: учеб. пособие для вузов. / А.Г. Сергеев, В.В. Кровин. – М.: Логос, 2001. – 408 с.

4.Троцан А.Н. Прикладная метрология [Текст]: учебное пособие / А.Н. Троцан, Н.В.Финошин. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 240 с.

5.Топольник В.Г. Метрологія, стандартизація, сертифікація і управління якістю [Текст]: навчальний посібник / В.Г Топольник, М.А Котляр. – Львів: Магнолія, 2009. – 212 с.

6.Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: учебник для вузов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2004. – 767 с.

7.О метрологии и метрологической деятельности [Текст]: Закон Украины от 13 марта 1998 г. // Голос Украины. – 1798. – №48

8.ДСТУ 2681-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни і визначення [Текст]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 68 с.

РОЗДІЛ 6 ВИПАДКОВІ ПОХИБКИ

6.1 Загальні відомості про випадкові похибки

6.2 Розподіли випадкових величин

6.3 Грубі похибки. Методи їх виключення

6.1 Загальні відомості про випадкові похибки

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

6.2 Розподіли випадкових величин

Випадковою називають таку величину, яка в результаті досліду може прийняти те або інше значення, невідомо заздалегідь – яке саме. Безліч значень випадкової величини може бути кінцевою або рахунковою – дискретна випадкова величина. На-

приклад, кількість бракованих деталей в партії, кількість виробів узятих на випробування, кількість цукерок в кілограмі. 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 їй 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 Гауса);
- експоненціальний розподіл;
- розподіли, використовувані в статистичних розрахунках, : χ^2 -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.

До характеристик мір центральної тенденції відносяться:

– математичне очікування задає положення кривої на числовій осі;

– мода M_0 – числове значення з множини вимірювання, яке зустрічається найчастіше;

– медіана M_e – значення, яке ділить впорядковану множину даних навпіл, так що одна половина значень менше медіани, а інша більше.

До характеристик мір мінливості відносяться:

– розкид вибірки або розмах R вказує на діапазон мінливості значень;

– дисперсія D_x – сума квадратів відхилень випадкової величини від її математичного очікування. Дисперсія вимірюється в квадратах початкових одиниць;

– середньоквадратичним відхиленням випадкової величини називають додатне значення квадратного кореня з дисперсії. Середньоквадратичне відхилення вимірюється в тих же одиницях, що і сама величина x і її середнє значення.

Форми кривої розподілу:

– асиметрія A_S – міра відхилення графіка розподілу частот від симетричного виду відносно середнього значення;

– ексцес E^S – міра плосковершинності або шпильястості графіка розподілу виміряної ознаки.

6.3 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.

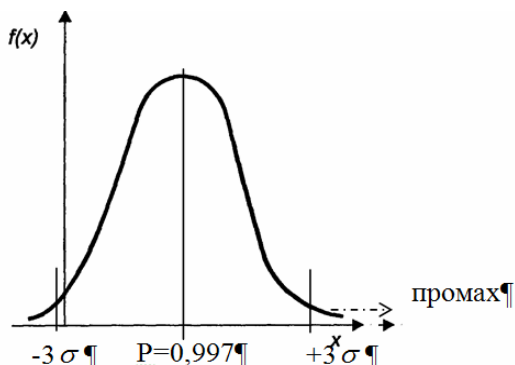
При багатократних вимірах грубі похибки можуть сильно перевертнути довірчий інтервал, тому їх необхідно виключити з серії вимірювання і перерахувати параметри розподілу.

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

Критерій 3σ застосовується для результатів вимірювання, розподілених за нормальним законом. За цим критерієм вважа-

ється, що результат, що виникає з імовірністю $\alpha \leq 0,003$ малоімовірний і його можна вважати промахом.

$$P=0,997, \alpha \leq 0,003$$



Сумнівний результат x_i відкидається, якщо $|\bar{x} - x_i| > 3\sigma$

Цей критерій надійний при числі вимірювання $n \geq 20 \dots 50$.

$$\text{При } n > 20 \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M\bar{x})^2}{n}}$$

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 $n < 20$,

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M\bar{x})^2}{n-1}} \text{ . В табл. 9.1 представлені значення } \beta_T \text{ .}$$

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{(28 - 29,4)^2 + (26 - 29,4)^2 + (24 - 29,4)^2 + (22 - 29,4)^2 + (48 - 29,4)^2}{5 - 1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{1,96 + 11,4 + 29,16 + 54,76 + 345,96}{5 - 1}} = 10,52 \text{ л/100км}$$

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

$$1,76 > 1,73$$

Таблиця 6.1 – 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

Наприклад: При діагностуванні паливної системи автомобіля результати п'яти вимірювання витрати палива склали 22, 24, 26, 28 і 48 л/100км. $\alpha=0,01$

Останній результат ставимо під сумнів.

Критерій свідчить про необхідність відкидання останнього результату.

Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу

1. Які можливі причини виникнення випадкових похибок?
2. У чому відмінність дискретної і безперервної випадкової величини.
3. Назвіть числові параметри законів розподілу.
4. Як перевірити, чи не містять результати спостережень грубих промахів?

Література до розділу 6

1. Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация [Текст] / А.Г. Сергеев, М.В.Латышев, В.В.Терегеря. – М.: Логос, 2003. – 272 с.
2. Троцан А.Н. Прикладная метрология [Текст]: учебное пособие / А.Н. Троцан, Н.В.Финошин. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 240 с.

РОЗДІЛ 7 ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

7.1 Класифікація засобів вимірювання

7.2 Види еталонів

7.3 Перевірка і калібрування вимірювальної техніки: схожість і відмінність.

7.4 Метрологічні характеристики ЗВТ

7.5 Похибки засобів вимірювання

7.6 Клас точності засобу вимірювання і оцінка похибки одноразових вимірювань

7.7 Загальні вимоги до обробки результатів прямих вимірювань з багатократними спостереженнями

7.1 Класифікація засобів вимірювання

Під засобом вимірювання розуміється технічний засіб, що призначений для вимірювання, має нормовані метрологічні характеристики, відтворюючі і (чи) зберігаючи одиницю фізичної величини, розмір якої приймається незмінним (в межах встановленої похибки) протягом відомого інтервалу часу.

Засоби вимірювання можна класифікувати за наступними ознаками: тип, вид і метрологічне призначення.

Тип – це сукупність засобів вимірювання, що мають принципово однакову схему, конструкцію і виготовляються за одними і тими ж технічними умовами.

Вид – це сукупність засобів вимірювання, призначених для вимірювання якої-небудь однієї фізичної величини.

По метрологічному призначенню засобу вимірювання підрозділяються на робочі засоби вимірювання, призначені для вимірювання фізичних величин; метрологічні засоби вимірювання, призначені для забезпечення єдності вимірювання.

До засобів вимірювальної техніки відносяться:

1. *Міра* – засіб вимірювання, призначений для відтворення заданого розміру фізичної величини. На практиці використовують однозначні, багатозначні міри, а також набори і магазини мір.

Однозначні міри відтворюють фізичну величину тільки одного розміру. Наприклад, міра маси – гиря, міра індуктивності – зразкова котушка індуктивностей.

Багатозначні міри відтворюють декілька розмірів однойменної фізичної величини. Наприклад, міліметрова лінійка дає можливість виразити довжину предмета в сантиметрах і міліметрах.

Набори і магазини – комплекти і поєднання мір різного розміру однієї і тієї ж ФВ. Наприклад, набір лабораторних гир, магазин резисторів.

2. *Вимірювальний перетворювач* перетворює сигнал в зручну форму для обробки, зберігання, а також передачі в пристрій, що відображує. Вимірювальні перетворювачі або входять в схему вимірювального приладу, або застосовуються спільно з ним, але сигнал перетворювача недоступний для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

Основною метрологічною характеристикою вимірювального перетворювача вважається співвідношення між вхідною і вихідною величиною, яке називається функцією перетворення. Наприклад, перетворювач напруги – для вирівнювання, посилення напруги. Вимірювальні підсилювачі, трансформатори, перетворювачі тиску.

3. *Вимірювальний прилад* – засіб вимірювання, призначений для набуття значень ФВ, перетворюючи сигнал у форму доступну для сприйняття. Наприклад, як пристрій для індексації використовуються шкала і стрілка.

Вимірювальні прилади діляться:

– *прямої дії* – відображують вимірювану величину в одиницях цієї величини. Наприклад, амперметри (сила струму), вольтметри (напруга), манометри (тиск), термометри;

– *прилади порівняння* – порівнюють вимірювану величину із задалегідь відомою. Такі прилади використовуються в наукових цілях для вимірювання яскравості джерел випромінювання, тиску стислого повітря, потенціометри електровимірювань тощо;

– *реєструючи* – засоби вимірювання, які реєструють показання вимірювання на якому-небудь носіїві. Реєстрація проводиться в цифровій або аналоговій формі (на папері або стрічці), розрізняють самописні і друкуючі вимірювальні прилади.

Залежно від форми представлення інформації розрізняють:

– *аналогові прилади* – показання є безперервною функцією зміни вимірюваної величини. Наприклад, стрілочний вольтметр, ртутно-скляний термометр;

– *цифрові прилади* – показання представлені в цифровій формі, наприклад, штангенциркуль з числовим відліком, мікрометр тощо; чи перетворюють аналоговий сигнал вимірювальної інформації в цифровий код, при цьому результат відображається на цифровому табло.

4. *Вимірювальні установки і системи* – використовуються для контролю виробничих процесів, що особливо важливо для методу статистичного контролю.

Вимірювальна установка – сукупність функціонально об'єднаних ЗВТ, для вимірювання ФВ, розташованих в одному місці для контролю об'єкту. Виробляє сигнал у формі зручної для спостерігача.

Вимірювальна система – сукупність ЗВТ, розміщених в різних точках контролюваного об'єкту, сполучених між собою каналами зв'язку. Зазвичай такі системи автоматизовані. Виробляє сигнал у формі зручної для автоматичної обробки і відображення результату вимірювання у формі зручної для користувача.

5. *Вимірювальне приладдя* – це допоміжні засоби для вимірювання величин. Застосовуються для обчислення поправок, якщо вимагається висока точність вимірювання. Наприклад, термометр може бути допоміжним засобом, якщо показання достовірні при певній температурі; психрометр – якщо обмовляється вологість довкілля.

Засоби вимірювання ділять на два види – робочі засоби і еталони.

Робочі засоби можуть бути:

– *лабораторними* – використовують для наукових досліджень. Показники – найточніші і чутливі;

– *виробничими* – використовують для контролю характеристик технологічних процесів. Показники мають бути стійкими до дії різних чинників виробничого процесу: температури, вологості, вібрації тощо;

– *польовими* – для літаків, автомобілів, судів. Показники знімаються при роботі в умовах зовнішнього середовища, що постійно змінюється.

7.2 Види еталонів

Еталон одиниці ФВ – це високоточна міра, призначена для відтворення, зберігання і передачі її розміру нижчим за перевіркою схемою засобом вимірювання, виконана по особливій специфікації і офіційно затверджена в установленому порядку як еталон.

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, можливості порівняння за перевіркою схемою з найвищою точністю.

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

Звірюваність еталону – можливість забезпечення звірення з еталонами інших засобів вимірювання, нижчих за перевіркою 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 у якості вихідного на території України. В Україні еталони стверджують

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 (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 в 3 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 в 10 років звіряють національний еталон маси з вторинним.

Робочі еталони передають розмір одиниці від вторинного еталону 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.

7.3 Перевірка та калібрування вимірювальної техніки: схожість та відмінність

Технічною базою забезпечення єдності вимірювання є система відтворення одиниць фізичних величин і передачі інформації про їх розміри усім без виключення засобам вимірювальної техніки в країні. Передача розмірів фізичних одиниць – це техні-

чна операція, яка проводиться за допомогою перевірочних схем, шляхом перевірки або калібрування засобів вимірювання.

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

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

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

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

Перевірочні схеми оформляються у вигляді креслень, доповнюючи текстовою частиною, яка включає вступну частину і пояснення до елементів креслення. До нормативної документації, що регламентує вимоги до організації технічного забезпечення єдності вимірювання в області метрологічного забезпечення виробництва можна віднести ГОСТ8.061-80 «ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение» – правила розрахунку параметрів перевірочних схем, оформлення креслень перевірочних схем; ДСТУ 2708-2006 «Перевірка засобів вимірювальної техніки. Організація і порядок проведення»; ДСТУ 3989-2000 «Калібрування засобів вимірювальної техніки. Організація і порядок проведення».

Перевірка – встановлення придатності засобів вимірювальної техніки, на які поширюється Державний нагляд або контроль. В процесі перевірки здійснюється нагляд за одноманітністю ЗВТ, яка характеризується виконанням двох вимог,; ЗВТ мають бути проградуйовані в узаконених одиницях, а їх метрологічні характеристики повинні відповідати нормам.

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

Повірка підрозділяється:

– *первина*, якій піддаються усі ЗВТ, що виходять з виробництва або ремонту;

– *періодична*, якій піддаються усі ЗВТ, що знаходяться в експлуатації, через певний затверджений міжповірочний інтервал, встановлений виробником і затверджений органами нагляду за ЗВТ;

– *позачергова*, якій піддаються ЗВТ, що викликали підозри до своїх метрологічних характеристик;

– *інспекційна*, якій піддаються вибірково ЗВТ при проведенні нагляду за ними за рішенням представника держінспекції;

– *експертна* – піддаються ЗВТ, що викликали підозру до своїх метрологічних характеристик при арбітражному розгляді суперечливих питань за результатами їх застосування.

Калібрування – визначення метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки, на які не поширюється Державний нагляд. Встановлення метрологічних характеристик ЗВТ в реальних умовах їх застосування. Калібрування підрозділяється на:

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

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

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

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

7.4 Метрологічні характеристики ЗВТ

Найважливішими властивостями ЗВТ є ті, від яких залежить якість (точність) отримуваної з їх допомогою вимірювальної інформації. З цією метою для кожного ЗВТ вводяться і нормуються певні метрологічні характеристики.

Метрологічні характеристики ЗВТ – це характеристики однієї з властивостей засобу вимірювання, що впливають на результат вимірювання або його похибку.

Метрологічні характеристики, що встановлюються нормативними документами, називають нормованими метрологічними характеристиками, а визначувані експериментально – дійсними метрологічними характеристиками.

Основними метрологічними характеристиками є:

1. Початкове і кінцеве значення шкали відлікового пристрою ЗВТ. Початкове (Y_{\min}) і кінцеве значення (Y_{\max}) шкали – це найменше і найбільше значення вимірюваної величини (x), яке позначене на шкалі.

$$Y_{\min} \leq x \leq Y_{\max}.$$

2. Діапазон показань ЗВТ – це інтервал, обмежений початковим і кінцевим значенням відлікового пристрою вимірювального засобу (ΔY).

Для ЗВТ з рівномірною шкалою, яка має умовний нуль

$$\Delta Y = Y_{\max} - Y_{\min}.$$

Для приладів з істотно нерівномірною шкалою ΔY приймається рівним усій довжині шкали або її частини (ΔX) в мм.

3. Шкала – ряд послідовних значень величин.

4. Відмітка шкали – штрих на шкалі, відповідний окремому значенню вимірюваної величини.

5. Ціна поділки шкали – різниця значень величин, відповідних двом сусіднім відміткам шкали.

6. Межа вимірювання залежить від вимірюваної величини x_i . Це найбільше (X_{\max}) і найменше (X_{\min}) значення меж діапазону зміни вимірюваної величини x

$$X_{\min} \leq x \leq X_{\max}.$$

7. Діапазон вимірювання – область значень вимірюваної величини x , для якої визначені метрологічні характеристики використовуюваного вимірювального засобу (ΔX).

$$\Delta X = X_{\max} - X_{\min}.$$

8. Чутливість ЗВТ – відношення зміни вихідної вимірної величини до зміни вхідної вимірюваної величини.

9. Стабільність ЗВТ – це незмінність в часі метрологічних властивостей засобів вимірювання, оскільки зміни можуть привести до додаткової похибки.

10. Клас точності ЗВТ – це узагальнена характеристика ЗВТ даного типу, що визначається межами значень основної і додаткової похибки, що допускаються, а також іншими характеристиками, що впливають на точність. Клас точності не є безпосередньою оцінкою точності вимірювання, що виконуються даним ЗВТ, оскільки похибка залежить ще і від методу вимірювання, умов вимірювання тощо. Клас точності дозволяє зробити висновок про те, в яких межах знаходиться похибка ЗВТ даного типу. Класи точності ЗВТ встановлюються в стандартах або технічних умовах. Загальні положення розподілення за класом точності встановлює ГОСТ 8.401-80.

Норми на окремі метрологічні характеристики приводяться в експлуатаційній документації (паспорті, технічному описі, інструкції з експлуатації тощо) у вигляді номінальних значень, коефіцієнтів функцій, заданих формулами, таблицями або графіками меж допустимих відхилень від номінальних значень і функцій.

7.5 Похибки засобів вимірювання

Під дією великої кількості випадкових і детермінованих чинників, що виникають в процесі виготовлення, зберігання і експлуатації вимірювальних засобів, номінальні значення мір і показання вимірювальних приладів відрізняються від істинних значень вимірюваних величин. Ці відхилення характеризують похибки вимірювальних засобів. Похибки засобів вимірювання класифікуються:

1. За формою числового вираження:

– абсолютна похибка, $\Delta_{\text{си}} = x_{\text{п}} - x_{\text{д}}$,

де $x_{\text{п}}$ – показання ЗВТ; $x_{\text{д}}$ – дійсне значення вимірюваної величини.

– відносна похибка, $\delta_{\text{си}} = \frac{\Delta_{\text{си}}}{x_{\text{д}}} 100\%$. У цю формулу замість

$x_{\text{д}}$ можна підставити номінальне значення міри або показання вимірювального приладу.

– *приведена похибка* – відношення абсолютної похибки до діапазону вимірювання або до діапазону показань для вказівки і нормування похибки ЗВТ,

$$\delta_{\text{рси}} = \frac{\Delta_{\text{си}}(x)}{\Delta x} 100\% \quad \text{чи} \quad \delta_{\text{рси}} = \frac{\Delta_{\text{си}}(x)}{\Delta Y} 100\% .$$

2. За характером прояви можуть бути систематичні і випадкові.

3. За відношенням до вимірюваної величини можуть бути статичні, динамічні – якщо закономірно вимірювана величина змінюється в часі розглядаються як систематичні; при випадковому характері вимірюваної величини розглядаються як випадкові.

4. За відношенням до умов застосування. Кожне ЗВТ призначено для роботи в певних умовах. У нормативних документах обумовлюються умови експлуатації. Впливальні величини при вимірах ЗВТ нормовані: температура, тиск, напруга тощо. Якщо впливальні величини вийшли за межі норми, то їх вплив перекинує результати вимірювання і впливає на похибку вимірювання:

– *основна похибка* – похибка ЗВТ, використуваного в нормальних умовах. Нормальні значення впливальних величин вказуються в стандартах на ЗВТ цього виду у формі номіналів з нормованими відхиленнями. Наприклад: при температурі – 20 ± 5 ; вологість 30–80%; напруга живлення $220 \pm 10\%$;

– *додаткова похибка* – похибка ЗВТ, що виникає додатково внаслідок відхилення якої-небудь з впливальних величин. Для оцінювання додаткових похибок в документації на ЗВТ зазвичай вказують норми зміни показань при виході умов вимірювання за межі нормальних.

5. За способом підсумовування: адитивні (підсумовування однорідних величин) і мультиплікативні.

ЗВТ допускаються до застосування, коли витримані нормальні умови, отже, ЗВТ можуть мати основну похибку в діапазоні вимірювання ΔX наступного виду:

– *адитивна похибка* – складова $\Delta_{\text{си}}$ не залежить від вимірюваної величини, $\Delta_{\text{си}} = \pm a$, де a – постійна величина, рис 7.1а;

– *мультиплікативна похибка* – складова $\Delta_{\text{си}}$ прямо пропорційна вимірюваній величині, $\Delta_{\text{си}} = \pm bx$, де b – постійна величина; x – вимірювана величина, рис 7.1б;

– об'єднана похибка (підсумкова), $\Delta_{\text{си}} = \pm (a + bx)$, рис 7.1в.

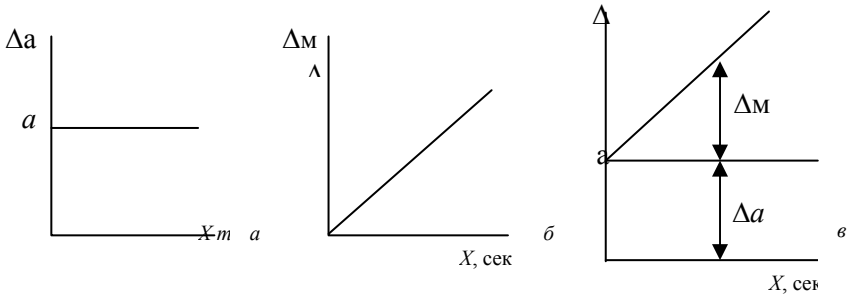


Рисунок 7.1 – Основна похибка ЗВТ

7.6 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).

Клас точності привласнюють 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 вимогам до метрологічних характеристик, встановлених для присвоєного їм класу точності як при випуску їх з виробництва, так і в процесі експлуатації. 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 $\Delta_{\text{си}} = \pm a$:

$$\delta_p = \frac{\Delta_{\text{си}}}{\Delta x} 100\% = \pm K\% - \text{клас точності позначається числом}$$

із стандартизованого ряду чисел K . Наприклад, на приладі 0,5.

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

$$\delta_p = \frac{\Delta_{\text{си}}}{x_{\text{показанняприладу}}} 100\% = \pm K\% - \text{клас точності позначається чис-$$

лом із стандартизованого ряду чисел.

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

$\delta = \pm [c+d(\Delta X/x-1)]\%$ – 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 ($\Delta_{\text{си}}$) приймають рівними усій довжині шкали або її частини (ΔX), виражають, як і довжину шкали, в одиницях довжини (мм).

$\Delta_{\text{си}} = \pm a$; $\delta_p = \pm \frac{\Delta_{\text{си}}}{\Delta x} 100\% = \pm K\%$. На приладі клас точності означають K , наприклад 0,5.

Стандартизований ряд чисел для визначення класу точності ЗВТ.

$\delta_{r,n} = \alpha_r * 10^n$, де:

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

$$\alpha_1 = 1,0; \quad \alpha_2 = 1,5; \quad \alpha_3 = 1,6; \alpha_4 = 2,0; \quad \alpha_5 = 2,5;$$

$$\alpha_6 = 3; \quad \alpha_7 = 4,0; \quad \alpha_8 = 5,0; \alpha_9 = 6; \quad \alpha_{10} = 7,0.$$

Клас точності вимірювального засобу: $K = \delta r, n * 100$.

На практиці виконуються одноразові виміри методом безпосередньої оцінки результату вимірювання. Похибка однора-

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

$$\delta = \pm [c + d(\Delta X/x - 1)]\% = \pm [0,02 + 0,01(50 \text{ A}/25 \text{ A} - 1)]\% = \pm 0,03\%$$

$$\Delta = \pm (\delta * x_{\text{изм}}) / 100\% = \pm (0,03\% * 25 \text{ A}) / 100\% = \pm 0,0075 \text{ A}$$

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

Наприклад, визначити клас точності ЗВТ. В результаті дослідження приладу встановлено, що в усьому діапазоні вимірювання $\Delta X = 250 \text{ A}$, максимальна абсолютна похибка приладу не більш 6 A ($\Delta = 6 \text{ A}$). Визначити клас точності приладу.

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

$$\delta_p = \pm \frac{\Delta}{\Delta x} 100\% = \pm K\%, \quad \delta_p = \pm \frac{6 \text{ A}}{250 \text{ A}} 100\% = \pm 2,4\% .$$

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

7.7 Загальні вимоги до обробки результатів прямих вимірювань з багатократними спостереженнями

При оцінці результату одноразового вимірювання використовують результати одного спостереження, похибку якого

оцінюють виходячи з даних попередніх досліджень похибки використаних засобів вимірювання (клас точності) і методів вимірювання, суб'єктивних похибок.

В той же час може виникнути необхідність в отриманні достовірнішого результату вимірювання і оцінки його похибки, які можуть бути пов'язані з обробкою даних багатократних вимірювань, отриманих, наприклад, під час експерименту. В цьому випадку вибір методу обробки залежить від числа експериментальних даних, виду вимірювання, виду розподілу похибок.

При визначенні багатократних вимірювань застосовуються імовірнісні методи оцінки з використанням статистичних методів обробки результатів спостережень, при цьому розподіл отриманого ряду експериментальних даних не повинен суперечити нормальному розподілу.

Статистичну обробку результатів вимірювання проводять таким чином:

1. Виключити відомі систематичні похибки з результатів спостережень (введенням поправки);
2. Обчислити середнє значення ряду вимірювання

$$M\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

3. Обчислити оцінку середнього квадратичного відхилення

результатів спостереження σ_x , $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M\bar{x})^2}{n-1}}$.

4. Перевірити гіпотезу про те, що результати спостережень належать нормальному розподілу. Про характер розподілу можна міркувати, побудувавши гістограму, при числі спостережень $n > 15$ визначивши величину, σ^* , $\sigma^* = \left(\sqrt{\frac{\Pi}{2n(n-1)}} \right) \sum_{i=1}^n |x_i - M\bar{x}|$.

За умови $\sigma^* \approx \sigma_x$, можна вважати, що закон розподілу похибок ряду вимірюваних значень фізичної величини близький до нормального, а результати вимірювання не обтяжені систематичними помилками.

4. Перевірити наявність грубих похибок і промахів, пам'ятаючи, що при нормальному законі розподілу жодна випадкова похибка $|x_i - M\bar{x}|$, з імовірністю практично рівній одиниці, не може вийти за межі $\pm 3\sigma$. Показання, що містять грубі похибки виключити з масиву даних і знову повторити обчислення пунктів 2 і 3;

5. Обчислюється середньоквадратичне відхилення середнього значення величини $\sigma_{M\bar{x}}$, $\sigma_{M\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$.

6. Обчислити довірчі межі випадкової похибки результату вимірювання при заданій довірчій імовірності P (залежно від точності вимірювання). При недостатньому об'ємі експериментальних даних застосовується розподіл Ст'юдента, при достатньому аргумент функції Лапласа. Записати результат вимірювання з урахуванням правил округлення.

Результат вимірювання з урахуванням правил округлення записується у виді

$$Q = \left(M\bar{x} \pm t \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \right); P,$$

де Q – істинне значення похибки результату вимірювання; P – конкретне значення довірчої імовірності; $M\bar{x}$ – середнє значення результату багатократних вимірювань; σ_x – характеристика похибки вимірювання. Середньоквадратичне відхилення випадкової величини від $M\bar{x}$; $\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$ – характеристика розсіювання. Середньоквадратичне відхилення математичного очікування;

t – коефіцієнт, залежний від довірчої імовірності P і форми закону розподілу. При великій кількості вимірювань (n) дорівнює квантильному множнику z_p . При малому (n) дорівнює коефіцієнту Ст'юдента t_{ST} .

В цілях одноманітності оцінювання випадкових похибок інтервальними оцінками при технічних вимірах довірна імовірність приймається $P=0,95$. Для точнішого вимірювання застосовується вища довірна імовірність P .

$\pm t \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$ – (інтервал) довірча межа випадкової похибки результату вимірювання.

Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу

1. Дайте визначення ЗВТ. Наведіть приклади ЗВТ різних ФВ.
2. Що розуміють під метрологічною характеристикою ЗВТ? Наведіть приклади метрологічних характеристик ЗВТ.
3. На які групи підрозділяються ЗВТ?
4. Дайте визначення перевірки, калібрування ЗВТ.
5. Чим характеризується результат одноразового вимірювання?
6. Назвіть за якими принципами класифікуються похибки ЗВТ?
7. Що таке клас точності ЗВТ? Які різні способи вираження класу точності існують?
8. Що таке чутливість ЗВТ?
9. Дайте визначення міри. Наведіть приклади однозначних мір.
10. Які різні способи вираження класу точності існують?
11. Що таке еталон одиниці фізичної величини? Які типи еталонів Вам відомі?
12. Що таке перевірна схема і для чого вона призначена? Які існують види перевірочних схем?
13. Який порядок обробки результатів прямих вимірювань з багатократними спостереженнями?
14. Який порядок обробки результатів прямих вимірювань з одноразовим спостереженням

Література до розділу 7

1. Сергеев А. Г. Метрология, стандартизация, сертификация [Текст] / А. Г. Сергеев, М. В.Латышев, В. В.Терегеря. – М.: Логос, 2003. – 272 с.

2.Цюцюра В. Д. Метрологія та основи вимірювань [Текст]: навч. посіб. / В.Д. Цюцюра, С. В. Цюцюра. – К. : Знання-Прес, 2003. – 80 с.

3.Сергеев А. Г. Метрология [Текст]: учеб. пособие для вузов. / А.Г. Сергеев, В. В. Кровин. – М: Логос, 2001. – 408 с.

4.Троцан А. Н. Прикладная метрология [Текст]: учебное пособие / А. Н. Троцан, Н. В.Финошин. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 240 с.

5.Топольник В. Г. Метрологія, стандартизація, сертифікація і управління якістю [Текст]: навчальний посібник / В. Г Топольник, М. А Котляр. – Львів: Магнолія, 2009. – 212 с.

РОЗДІЛ 8 МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ НАВПРОВІДНИКОВИХ КРИСТАЛІВ ТА МІКРОСТРУКТУР

8.1 Зондові методи вимірювання електропровідності

8.2 Вимірювання провідності пластин довільної геометричної форми

8.3 Вимірювання часу життя неосновних носіїв заряду методом модуляції провідності в точковому контакті

8.4 Вимірювання товщини епітаксialьних плівок

8.1 Зондові методи вимірювання електропровідності

При дослідженні електричних властивостей напівпровідників і у виробництві напівпровідникових матеріалів і приладів виникає необхідність у визначенні питомого опору зразків (ρ) напівпровідникових матеріалів у вигляді злитків, пластин, дифузійних і епітаксialьних шарів.

Для вимірювання питомої електричної провідності (σ) напівпровідникових матеріалів широке розповсюдження знайшли зондові методи [1].

Методи визначення σ базуються на вимірюванні падіння напруги на деякій ділянці зразка, через яку пропускається електричний струм, для чого до напівпровідникового зразка прикладають струмові і потенціальні металеві електроди (зонди). На контакті напівпровідникового матеріалу і металевого електрода при протіканні електричного струму може виникати ряд фізичних ефектів і явищ, які вносять суттєву похибку у результати вимірювань, а в деяких випадках навіть роблять їх неможливими. Найбільш суттєвими з них є:

– високий перехідний опір контакту, особливо коли контакт має випрямляючу характеристику і включений в зворотному напрямку;

– інжекція неосновних носіїв заряду з контакту, що істотно впливає на величину провідності зразка;

– ефект Пельть'є, який призводить до виникнення градієнту температури на зразку і, відповідно цьому градієнту, термо-ЕРС;

– нагрівання зразка електричним струмом.

Зазначені явища необхідно враховувати не тільки при вимірюванні σ , але і в усіх випадках, коли через вимірювальний зразок з металевими контактами протікає електричний струм.

Для вимірювання питомої електричної провідності використовуються двозондовий і чотиризондовий методи.

Двозондовий метод вимірювання питомої провідності застосовується для вимірювання ρ зразків правильної геометричної форми з відомим поперечним перетином.

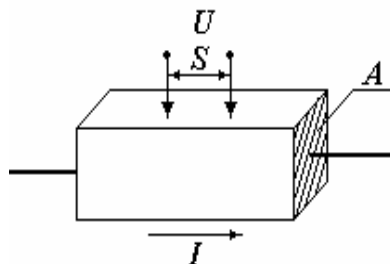


Рисунок 8.1 – Зразок

Через торцеві грані зразка (рис.8.1) з нанесеними на них омічними контактами пропускається електричний струм I . На поверхні зразка уздовж лінії струму розташовуються два зонди на відстані S один від одного і вимірюється різниця потенціалів U між ними. Питомий опір зразка обчислюється за формулою:

$$\rho = \frac{UA}{IS} \quad (8.1).$$

де A – поперечний перетин зразка.

Похибка методу визначається помилками у визначенні величин, що входять у розрахункову формулу. Щоб виключити вплив падіння напруги на контактних опорах потенційних зондів, різниця потенціалів вимірюється або потенціометром або вольтметром, вхідний опір яких приблизно у 105 разів вище опору зразка. На точність вимірювання також впливає фотопровідність і фото-ЕРС, тому бажано проводити вимірювання у затемненій камері. Зразок може нагріватися при проходженні через нього струму, а оскільки температурний коефіцієнт опору напівпровід-

ників високий, зміна температури в процесі вимірювання буде змінювати питомий опір зразка. Тому струм через зразок повинен бути мінімальним, але при цьому повинен забезпечити необхідну точність вимірювання напруги. Крім того, для усунення температурного градієнту, який може виникнути через нерівномірне виділення тепла на випрямляючих струмових контактах (ефект Пельтьє), вимірювання проводять при двох полярностях струму і питомий опір визначають як середнє з двох отриманих значень:

$$\rho = \frac{1}{2}(\rho_+ + \rho_-). \quad (8.2).$$

Щоб забезпечити рівномірне проходження струму по перетину зразка в місці розташування потенційних зондів, їх розташовують від найближчого струмового контакту на відстані, яка б перевищувала в три рази найбільшу сторону поперечного перетину зразка. Для даного методу необхідні протяжні зразки правильної форми і омичні контакти, що потребують спеціальної технології нанесення (сплавні або електролітично нанесені). З метою оперативного технологічного контролю двозондовий метод не застосовується.

Чотиризондовий метод вимірювання σ напівпровідників є найбільш поширеним, оскільки не потребує створення омичних контактів до зразка і забезпечує проведення вимірювань на зразках найрізноманітнішої форми і розмірів.

На вимірювальну поверхню зразка встановлюють чотири зонди.

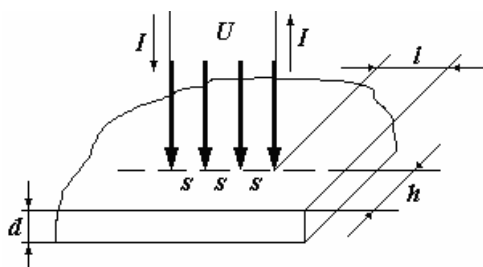


Рисунок 8.2 – Поверхня зразка

Зонди (рис.8.2), розташовані уздовж однієї лінії на рівній відстані s один від одного. Через крайні зонди 1 і 4 пропускають

електричний струм I (струмові зонди), а між двома внутрішніми зондами 2 і 3 вимірюють різницю потенціалів U (потенціальні зонди).

Для зразка, коли $d, l, h \gg S$, s обчислюється за формулою:

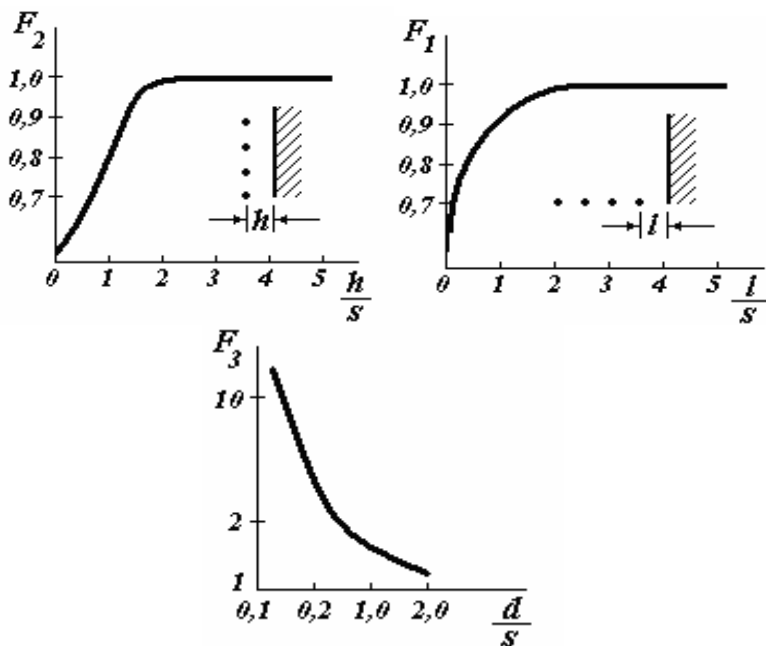


Рисунок 8.3 – Поправочні функції для деяких граничних умов, які найбільш часто зустрічаються на практиці

$$\rho = 2\pi \frac{SU}{I} \quad (8.3)$$

Якщо необхідно вимірювати зразки обмежених розмірів, коли товщина d і відстані l, h сумірні з S , необхідно враховувати вплив границь зразка на вимірне значення ρ . Це досягається введенням поправочного коефіцієнта F у формулу (8.3):

$$\rho = 2\pi S \frac{U}{I} F \quad (8.4)$$

Функція F залежить від вибору граничних умов, за яких проводять вимірювання.

Похибка, як і для двозондового методу, визначається як помилками вимірювання вхідних у формулу 8.3 величин, так й іншими джерелами. Щоб уникнути помилок при вимірюванні напруги, рекомендується використовувати вольтметр із вхідним опором, який би у 10^5 разів перевищував опір зразка, а опір ізоляції забезпечувати на рівні 10^8 Ом.

Формула 8.3 отримана в припущенні, що контакт зонду з поверхнею зразка є точковим. Тому необхідно забезпечити сталість навантаження на кожному зонді ($\sim 1,75$ Н) і виготовляти зонди з твердих сплавів (карбід вольфраму) зі строгим контролем форм заточення зонду.

Джерелами випадкових похибок можуть бути фотопровідність і фото-ЕРС на контактних опорах. Тому вимірювання бажано проводити в затемненій камері. Для усунення ефекту нагрівання зразка при проходженні струму і впливу термо-ЕРС, яка виникає на контактах, робочий струм вибирається мінімальним, а потенціал на зондах 2 і 3 вимірюють при двох полярностях струму. Отримані значення усереднюють.

Для зменшення інжекції неосновних носіїв через струмові зонди, що призводить у напівпровідниках із великим часом життя неосновних носіїв до зменшення значення ρ , поверхню зразка піддають механічній обробці абразивними порошками. Внаслідок такої обробки сильно зростає швидкість поверхневої рекомбінації і глибина модуляції провідності різко падає.

8.2 Вимірювання провідності пластин довільної геометричної форми

Для контролю зразків у вигляді пластин довільної геометричної форми (рис. 8.4) найбільш зручним є метод Вандер-Пау [1].

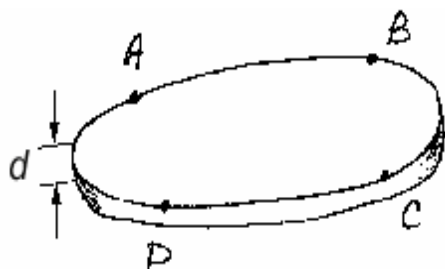


Рисунок 8.4 – Пластина

У цьому методі уздовж периметра плоскої пластини розміщують чотири контакти А, В, С, D і вимірюють два значення опору:

$$R_{ABCD} = \frac{U_{CD}}{I_{AB}} \quad \text{і} \quad R_{BCDA} = \frac{U_{DA}}{I_{BC}}.$$

Значення ρ зразка розраховується за формулою:

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \frac{R_{ABCD} + R_{BCDA}}{2} f\left(\frac{R_{ABCD}}{R_{BCDA}}\right), \quad (8.5)$$

де $f\left(\frac{R_{ABCD}}{R_{BCDA}}\right)$ – поправочна функція.

Графік цієї функції приведено на рис. 8.5.

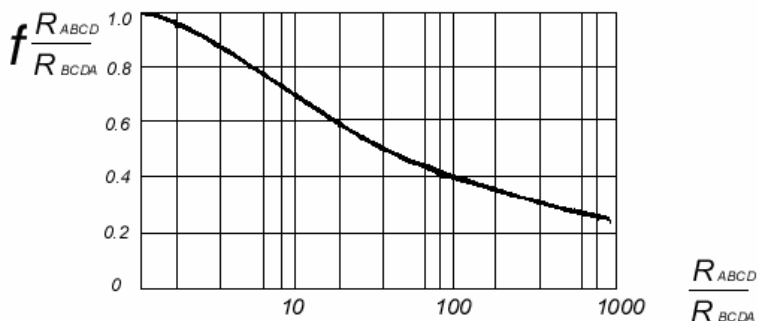


Рисунок 8.5 – Графік поправочної функції

При симетричному розташуванні вимірювальних зондів на периферії пластини у випадку її однорідності за електропровідністю опору $R_{ABCD}=R_{BCDA}$ і $f=1$, тоді:

$$\rho = 4,53dR = 4,53d \frac{U}{I}. \quad (8.6)$$

При виведенні формули 8.5 передбачалося, що контакти розташовуються точно по периферії і мають точкові розміри. В якості контактів зазвичай використовують пластинчаті контактні ножі, які притискають до бокової поверхні пластини. Загальна схема вимірювань не відрізняється від схеми чотиризондового методу.

8.3 Вимірювання часу життя неосновних носіїв заряду методом модуляції провідності в точковому контакті

Параметри нерівноважних носіїв заряду характеризують електрофізичні властивості напівпровідникового матеріалу і багато в чому визначають його можливості при виготовленні напівпровідникових приладів. Крім того, вимірювання цих параметрів є важливим засобом дослідження напівпровідникового матеріалу.

До параметрів неосновних носіїв заряду відносяться: дрейфова рухливість, коефіцієнт дифузії, дифузійна довжина, швидкість поверхневої рекомбінації і час життя.

У багатьох випадках параметри нерівноважних носіїв заряду характеризують неосновні носії заряду, тобто електрони в напівпровідниках *p*-типу і дірки в напівпровідниках *n*-типу.

Для вимірювання часу життя неосновних носіїв заряду застосовано метод модуляції опору розтікання точкового контакту [1], який полягає в наступному: на поверхню зразка опускають точковий контакт (емітер), через який у прямому напрямку пропускають два, зсунутих у часі, імпульси струму. Амплітуда цих імпульсів однакова і постійна. Другий контакт – омичний – має велику площу і малий опір.

Форма імпульсів струму та напруги на зразку схематично показана на рис.8.6.

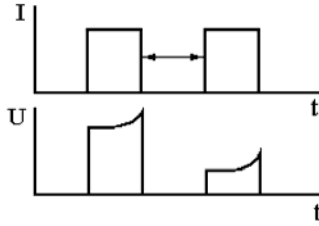


Рисунок 8.6 – Форма імпульсів струму і напруги

У момент проходження першого (інжектуючого) імпульсу в зразок вводяться надлишкові носії заряду, які збільшують провідність зразка. По закінченні інжектуючого імпульсу струму концентрація надлишкових носіїв заряду в зразку починає зменшуватися за рахунок їх рекомбінації. Через деякий час (час затримки – t_3) після закінчення першого (інжектуючого) імпульсу струму через точковий контакт пропускається другий імпульс струму, за допомогою якого проводиться вимірювання. Напруга на зразку в момент початку другого (вимірювального) імпульсу визначається концентрацією надлишкових носіїв заряду, які збереглися в зразку.

Змінюючи час затримки t_3 , можна за залежністю падіння напруги на зразку від часу затримки простежити весь процес рекомбінації і визначити час життя носіїв заряду. На рис. 8.7 схематично зображена залежність амплітуди напруги вимірювального імпульсу від часу затримки.

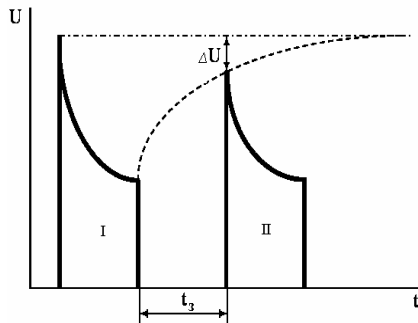


Рисунок 8.7 – Залежність амплітуди напруги вимірювального імпульсу від часу затримки

З огляду на сферичну симетрію розподілу надлишкових носіїв заряду, із рівняння безперервності для неосновних носіїв заряду можна одержати закон зміни їхньої концентрації в часі для будь-якої точки зразка з координатою:

$$\Delta p(r, n) = \Delta p(r, t_0) e^{-\frac{t}{t_1}}. \quad (8.7)$$

Якщо знехтувати процесами рекомбінації носіїв заряду на поверхні зразка і на контактi, а також їхньою дифузiєю, що відбуваються в реальному експерименті, то можна вважати, що зменшується концентрація носіїв заряду тільки за рахунок їхньої рекомбінації в об'ємі.

Можна показати, що при дотриманні ряду умов різниця амплітуд першого і другого імпульсів змінюється при зміні часу затримки t_3 за законом:

$$U_1 - U_2 = \text{const} \cdot \exp(-t_3/t_n), \quad (8.8)$$

де t_3 – час затримки; t_n – час життя нерівноважних носіїв заряду.

Отже, фіксуючи розмір U_1 і змінюючи час затримки t_3 можна за нахилом прямої $\ln(U_1 - U_2) = f(t_3)$ визначити час життя t_n (рис. 8.8).

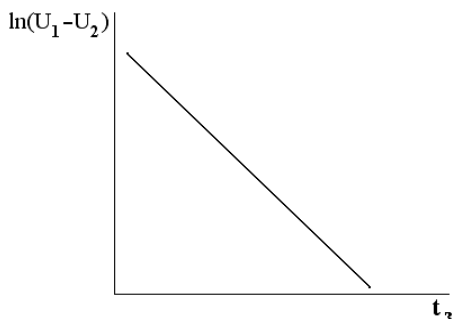


Рисунок 8.8 – Залежність різниці напруг $U_1 - U_2$ від часу затримки в напівлогарифмічному масштабі

Блок-схема вимірювальної установки для вимірювання часу життя неосновних носіїв заряду методом модуляції провідності в точковому контактi показана на рис.8.9.

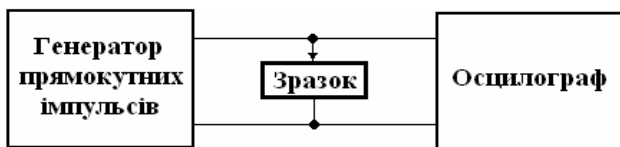


Рисунок 8.9 – Блок-схема вимірювальної установки

Прямокутний імпульс струму від генератора пропускається через зразок. Через деякий час t_3 , регульований за допомогою лінії затримки, на зразок подається від іншого генератора другий імпульс струму. Обидва генератори разом із лінією затримки ЛЗ складають генератор спарених імпульсів, в якості якого використовують генератор Г5-7А.

Напруга, утворена на зразку струмом, що протікає, подається на осцилограф С1-15. Для підвищення точності визначення різниці падіння напруги $U_1 - U_2$ у схему вводиться обмежувач, що зрізує нижню незмінну частину імпульсів. Частоту проходження пар імпульсів вибирають невисокою, порядку 50÷100 Гц, щоб за інтервал часу між двома послідовними парами імпульсів зразок встиг прийти в рівноважний стан. Тривалість інжектуючого імпульсу вибирають у межах 50÷100 мкс.

Підготовка зразка до вимірювання зводиться до травлення його поверхні. Припускається шліфування поверхні зразка порошком М-28. Матеріал точкового контакту при наявності точкової інжекції не позначається на результатах вимірів. В якості другого омичного контакту великої площі використовують прижимний контакт, під яким поверхню зразка піддають грубій шліфовці.

Підготовка вимірювальної апаратури до проведення вимірів проводиться відповідно інструкції до генератора Г5-7А і до осцилографу С1-15.

Для проведення вимірювань:

- Опускають зонд у вимірювану точку на поверхні злитка (перед виміром необхідно знежирити вимірювану поверхню етиловим спиртом). Точка виміру повинна бути віддалена від краю не менше ніж на три дифузійні довжини.
- Домагаються появи на екрані осцилографу імпульсу напруги (рис. 4.1).

- Обертанням ручки «Затримка» генератора збільшують час затримки доти, поки розмір другого (вимірювального) імпульсу не перестане змінюватися, тобто дійде до насичення.
 - Зменшуючи час затримки, відзначають часи затримки (мкс), які відповідають зміні розміру U_1-U_2 за шкалою вимірювальної сітки осцилографу.
 - Будують у напівлогарифмічному масштабі залежність $\ln(U_1-U_2)=f(t_3)$, де t_3 – час затримки.
- За кутом нахилу прямої α визначають час життя носіїв заряду:

$$\frac{1}{t_H} = \operatorname{tg} \alpha .$$

8.4 Вимірювання товщини епітаксіальних плівок

З усіх методів вимірювання товщини епітаксіальних плівок зупинимося на тих, що отримали найбільше розповсюдження у виробництві напівпровідників, тобто реалізують функції метрологічного забезпечення технологічного процесу [1].

До цих методів пред'являють ряд вимог: вони повинні бути неруйнуючими, достатньо точними і в той же час продуктивними. Цим вимогам різні методи відповідають в різному ступені, і тому їх вибір здійснюється з урахуванням конкретно поставленої технологічної задачі.

Оскільки плівка і підкладка є монолітною композицією, основна проблема при вимірюваннях товщини плівки полягає у визначенні положення фізичної межі розділу між ними. Саме невизначеність у виявленні цієї межі служить основним джерелом погрішності.

Різницеві методи. Найпростішим є метод вимірювання товщини нарощеного шару шляхом віднімання початкової товщини підкладки із загальної товщини структури. Варіантом цього методу є зважування пластини до і після нарощування на нього епітаксіального шару. Виходячи з різниці у вазі і знаючи густину матеріалу, можна визначити d . Іноді в процесі нарощування частину підкладки екранують маскою з графіту, кварцу або іншого матеріалу, потім за допомогою звичайного вимірювального інструменту визначають висоту сходинок, що утворилася.

Точність цих методів невисока через невизначеність в положенні межі шар-підкладка, при газовому травленні підкладок перед нарощуванням, через взаємну дифузію матеріалу між підкладкою і шаром, нерівномірність шару по товщині.

Тому вказані методи, хоча і володіють високою експресністю і наочністю, застосовуються, як правило, тільки для настройки і відлагодження технологічного процесу.

Визначення товщини за тетраедричними дефектами. Тетраедричні дефекти утворюються в більшості випадків безпосередньо на межі підкладка-шар. Вони є двовимірними дефектами, утвореними при відхиленні від нормальної послідовності упаковки атомів в кристалі. Дефекти упаковки в результаті селективного травлення виявляються у вигляді рівносторонніх трикутників в площині (111), рівнобічних трикутників в площині (110) і квадратів в площині (100).

Вимірюючи довжину сторони дефекту упаковки a на поверхні плівки, обчислюють товщину плівки d за формулами:

- для площини (111) $d = \alpha \sqrt{\frac{2}{3}} = 0,816\alpha$;
 - для площини (100) $d = \alpha \sqrt{\frac{1}{3}} = 0,581\alpha$;
 - для площини (110) $d = \alpha \sqrt{\frac{1}{2}} = 0,704\alpha$.
- (8.9)

При всій своїй простоті і достатньо високій точності вказаний метод є руйнуючим, оскільки вимагає виявлення дефектів за допомогою витравлювача. Крім того, вдосконалення технології нарощування підвищує вірогідність отримання бездефектних шарів. Тому даний метод, як і різницеві, застосовується переважно в чисто технологічних цілях.

Метод фарбування шліфа (відколу). Цей метод, хоча він і є руйнуючим, найбільш точний і простий, а тому і займає провідне місце в технології напівпровідників. Як правило, для контролю партії структур, нарощуваних в єдиному процесі, в установку завантажується спеціальна пластина, на якій нарощується контрольна структура-супутник. Саме на цій структурі-супутнику і

проводяться вимірювання основних паспортних параметрів, у тому числі і товщина, яка характеризує всю партію.

Суть методу полягає в тому, що на структурі спочатку створюється косий відкол або шліф (рис. 8.10). В промисловій практиці частіше користуються методом круглого (або кульового) шліфа.

Шліфи піддають процесам електрохімічного осадження міді, травлення або анодного окислення, в результаті яких межа розділу шар-підшарок забарвлюється (декорується).

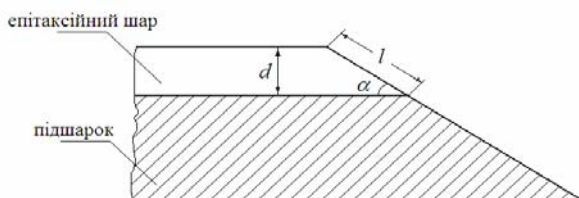


Рисунок 8.10 – Схема методу косоного шліфа вимірювання товщини плівки

d – товщина плівки; l – довжина шліфа; α – кут косоного шліфа.

Це дає можливість виміряти не d , а більш доступну величину l . Чим більше l (або радіус кульового шліфа), тим з більшою точністю можна визначити d .

У випадку косоного шліфа, знаючи його кут α і вимірюючи під мікроскопом відстань l від краю шліфа до межі забарвленої області, можна обчислити товщину плівки:

$$d = l \sin \alpha. \quad (8.10).$$

Цим методом можна виміряти товщину шарів більше 1 мкм з точністю $\pm(5\div 10)\%$. Перевагою методу є можливість вимірювання d в широкому діапазоні значень практично для структур будь-яких типів ($n-n^+$, $p-p^+$, $n-p$). Недоліком методу, крім руйнуючої дії, є його відносно низька продуктивність.

Інтерференційний метод. Спроби уникнути руйнування епітаксціальних структур в процесі вимірювань викликали до життя широкий круг безконтактних методів. З цих методів найбільше застосування отримав оптичний метод, заснований на вивченні інтерференційної картини при віддзеркаленні випромінювання від

межі розділу шар-плівка в інфрачервоній області за краєм поглинання.

На межі шар-підшарок виникає різниця ходу променя, яка залежить від величини d . За допомогою спектрофотометра вивчається залежність коефіцієнта віддзеркалення від довжини хвилі λ . При цьому спостерігається чітка інтерференційна картина, що складається з чергуючих мінімумів і максимумів між променем, відбитим від поверхні структури, і променем, заломленим в епітаксiальному шарі і відбитим від підшарка.

Необхідною умовою реалізації даного методу є відмінність оптичних констант плівки і підшарку, тобто або підшарок повинен бути сильно легованим відносно плівки, або плівка повинна бути сильно легованою відносно підшарку.

Вказана обставина звужує діапазон використання цього методу, він застосовний тільки до структур $n-n^+$, $p-p^+$, $p-n^+$ і p^+-n -типів (знак + відноситься до підшарку, питомий електричний опір підшарку повинен бути не більше 0,01 Ом·см).

Вимірювання коефіцієнта віддзеркалення для германію здійснюються в діапазоні значень λ від 9 до 17 мкм, для кремнію – від 12 до 30 мкм.

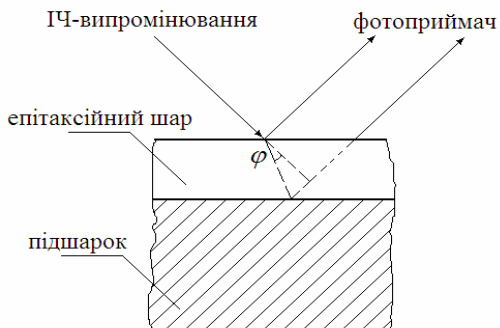


Рисунок 8.11 – Схема інтерференційного методу

φ – кут заломлення в плівці.

Розрахунок величини d проводиться за формулою:

$$d = \frac{x\lambda_m\lambda_{m+x}}{2n \cos \varphi(\lambda_m - \lambda_{m+x})} \quad (8.11)$$

де m і $m+x$ – номери спостережуваних максимумів; x – число максимумів між λ_m і λ_{m+x} ; n – показник заломлення матеріалу плівки; φ – кут заломлення в плівці.

Для кремнію при куті падіння 300° $n=3,42$; $\varphi=8,4^\circ$; $\cos \varphi=0,99$. Метод не руйнує структуру і є достатньо точним при різкій межі розділу шар-підшарок. Діапазон значень d знаходиться в межах 1–30 мкм і вищий. Апаратурне оформлення методу достатньо складне і дороге, оскільки базовим засобом вимірювання є спектрофотометр (типу УКС, UR, «Спекорд» та їх аналоги).

Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу

1. Які ефекти сприяють появі похибок вимірювань електропровідності напівпровідників зондовими методами?
2. Як усувається вплив ефекту Пельтьє при вимірюванні електропровідності?
3. Як при вимірюваннях електропровідності усувається вплив перехідного опору контактів?
4. Назвіть основні методи вимірювання електропровідності
5. Визначення часу життя неосновних носіїв заряду методом модуляції провідності точкового контакту.
6. Руйнівні і неруйнівні методи визначення товщини епітаксціальних шарів.
7. Визначення товщини методом фарбування шліфа.
8. Оптичні методи визначення товщини.
9. Інтерференційні методи визначення товщини.

Література до розділу 8

1. Матюшин В. М. Радикалорекombінаційна обробка мікроструктур [Текст] / В. М. Матюшин, Є. Л. Жавжаров // Мікроелектроніка : монографія. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. – 195 с.

РОЗДІЛ 9 ДЕРЖАВНА МЕТРОЛОГІЧНА СЛУЖБА УКРАЇНИ

- 9.1 Структура державної метрологічної служби
- 9.2 Правова і нормативна база метрологічного забезпечення
- 9.3 Державний метрологічний контроль і нагляд
- 9.4 Метрологічне забезпечення підготовки виробництва
- 9.5 Метрологічна експертиза технічної документації
- 9.6 Міжнародні метрологічні організації.

9.1 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.

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

Державна метрологічна служба має наступну структуру:

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

– державні наукові центри по метрології. Головною організацією по забезпеченню єдності вимірювань в Україні являється національний науковий центр «Інститут метрології» (м. Харків). Харківський, Львівський і Український центри стандартизації, метрології і сертифікації призначені опорними організаціями по впровадженню 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 Укрме-

трестстандарт є Державним науковим метрологічним центром України; головним центром державної метрологічної служби стандартних довідкових даних про фізичних постійних і властивостях речовин і матеріалів; головною організацією по 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 числа центрів еталонів входять: національний науковий центр «Інститут метрології» (м. Харків); Державний НДІ «Система» (м. Львів); Український ЦСМС (ДП «Укрметрестстандарт», 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 учбовими закладами: Українським учбово-науковим центром по стандартизації, метрології і якості продукції (УкрУНЦ) і багатьма вузами 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 області метрології;

- створення і функціонування еталонної бази України;

- метрологічні вимоги до ЗВТ (перевірка, калібрування, ремонт);

- 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 області метрології.

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

Метрологічні служби створюються:

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

- в центральних органах виконавчої влади – для координації робіт, пов'язаних із забезпеченням єдності вимірювання і здійснення метрологічного контролю і нагляду;

- в органах управління об'єднань підприємств – для виконання функцій відносно забезпечення єдності вимірювання, делегованих підприємствами, які входять до складу об'єднань;

- на підприємствах і організаціях – для забезпечення єдності вимірювання і здійснення метрологічного контролю і нагляду.

Метрологічні служби організовують і виконують роботи, пов'язані із забезпеченням єдності вимірювання у сфері своєї діяльності, основними з яких є,:

- організація і здійснення метрологічного контролю і нагляду;

- розробка методик виконання вимірювання;

- проведення метрологічної атестації, перевірки і калібрування засобів вимірювальної техніки;
- організація і проведення державних випробувань, перевірки і ремонту засобів вимірювальної техніки.

Основні завдання, права і обов'язки таких служб державних органів управління і юридичних осіб незалежно від форми власності визначені в Правилах по метрології ПР 50-732-93. «ГСИ. Типовые положения о метрологической службе государственных органов управления и юридических лиц».

9.2 Права і нормативна база метрологічного забезпечення

Правовою основою забезпечення єдності вимірювання служить законодавча метрологія – зведення державних актів і нормативно-технічних документів різного рівня, що регламентують метрологічні правила, вимоги і норми.

Основним законом в області метрології в Україні являється Закон України «Про метрологію і метрологічну діяльність» №113/98-ВР від 11 лютого 1998 року. Гарантією забезпечення єдності вимірювання в країні є економічний механізм саморегулювання, державний нагляд і контроль у рамках нормативних вимог до метрологічного забезпечення, а також виробнича дисципліна, що передбачають економічні санкції, матеріальну, адміністративну і карну відповідальність за порушення вимог законодавчої метрології.

Для забезпечення функціонування і розвитку ДМС при центральному органі виконавчої влади в області метрології створений консультативно-дорадчий орган – науково-технічна комісія з метрології. Нормативна база національної метрологічної системи складається з державних стандартів (ДСТУ), керівних нормативних документів (КНД) і рекомендацій (Р), метрологічних правил (ПМУ), міждержавних стандартів (ГОСТ), міждержавних керівних документів (РД, ПМГ), рекомендацій по міждержавній стандартизації (РМГ), методик (МИ), розроблених метрологічними інститутами до 01.01 1992г. Сьогодні нормативна база налічує більше 2500 нормативних документів (більшість з які МИ), у тому числі більше 50 національних нормативних документів і більше 350 ГОСТів.

Серед основних документів ГСИ, рекомендованих до використання в області метрологічного забезпечення виробництва при проведенні вимірювання, можна виділити:

ГОСТ 8.010-99. ГСИ. Методики виконання измерений. Основные положения.

МИ 1967-89. ГСИ. Выбор методов и средств измерений при разработке методик выполнения измерений. Общие положения.

РД 50-453-84. Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета

МИ 2377-98. ГСИ. Разработка и аттестация методик выполнения измерений.

МИ 1317-86. ГСИ. Результаты измерений и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и, контроле параметров.

МИ 2091-90. ГСИ. Измерения физических величин. Общие требования.

МИ 2174-91. ГСИ. Аттестация алгоритмов и программ обработки данных при измерениях. Основные положения.

МИ 2083-90. ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.

МИ 1552-86. ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей результатов измерений.

ГОСТ 8.207-76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.

МИ 2267-2000. ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации.

МИ 2232-2000. ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации.

МИ 2301-2000. ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений.

МИ 2334-95. ГСИ. Смеси аттестованные. Общие требования к разработке. МИ 2336-95. ГСИ. Характеристики погрешности результатов КХА. Алгоритм оценивания.

В цілому стандарти ДСВ встановлюють ті вимоги, правила і норми, виконання яких повинне привести до такого стану вимірювання в країні, коли отриманим результатам можна довіряти. Довіра ця з'являється тоді, коли дотримується єдність вимірювання в країні, під яким розуміється «такий стан вимірювання, при якому результати виражені в узаконених одиницях і похибки вимірювання відомі із заданою імовірністю».

Необхідність знання похибки вимірювання призводить до необхідності знання похибок засобів вимірювальної техніки. При цьому важливо бути упевненим в тому, що розміри одиниць, вимірювання, що зберігаються робочими засобами, відповідають (в межах встановленої точності) розмірам відтворених одиниць. Отже, поняття «Єдність вимірювання» досить містке.

По-перше – це уніфікація одиниць і визнання їх законними.

По-друге – це розробка систем відтворення одиниць і передачі їх розмірів робочим засобам вимірювальної техніки. Створення державних еталонів, відтворюючих одиниці з найвищою в країні точністю, і розробка методів передачі розмірів одиниць зі встановленою точністю – запорука подібності цих розмірів при застосуванні робочих засобів вимірювання.

По-третє, це визначення похибки вимірювання, яка складається з похибок вживаного засобу і методу вимірювання, і істотно залежить від методики вимірювання (умов вимірювання, числа вимірювання та ін.). При цьому необхідно, щоб похибка вимірювання не перевищувала встановлену межу. Не встановивши межі похибки вимірювання, що витікає з конкретного вимірювального завдання, не можна вирішити питання про правильний вибір необхідного засобу вимірювання, правильно оцінити результат вимірювання, виконаних в різних місцях тощо.

Основою забезпечення єдності вимірювання в країні є державні еталони. Разом з ними важливу роль в забезпеченні єдності вимірювання грають робочі еталони і дослідні засоби вимірювання, а також уніфіковані методи і методики вимірювання, відповідно до яких вибираються необхідні засоби вимірювальної техніки (по точності, швидкості дії), способи обробки результатів і вираження похибок, також встановлюється число необхідних вимірювань.

9.3 Державний метрологічний контроль і нагляд

Державний метрологічний контроль і нагляд здійснюється Державною метрологічною службою з метою перевірки відповідності вимог Закону «Про метрологію і метрологічну діяльність» № 113–98 і інших нормативно-правових актів України і нормативних документів з метрології.

Об'єктами державного метрологічного контролю є (стаття 10 Закону України «Про метрологію і метрологічну діяльність»:

- затвердження типу засобів вимірювання;
- перевірку засобів вимірювання, у тому числі і еталонів;
- ліцензування діяльності юридичних і фізичних осіб по виготовленню, ремонту, продажу і прокату засобів вимірювання.

Державний метрологічний нагляд:

– за випуском, станом і застосуванням ЗВТ, атестованими методиками виконання вимірювання, еталонами одиниць величин, дотриманням метрологічних правил і норм;

– за кількістю товарів, відчужуваних при здійсненні торговельних операцій;

– за кількістю фасованих товарів в упаковках будь-якого виду під час продажу і розфасування, які здійснюються ДМС Держспоживстандарту України.

Сфера державного метрологічного нагляду поширюється на вимірювання, результати яких використовуються під час (стаття 20 Закону України «Про метрологію і метрологічну діяльність»):

– робіт по забезпеченню охорони здоров'я і захисту життя громадян;

– контролю якості і безпеки продуктів харчування, стану природного довкілля, безпеки умов праці;

– геодезичних і гідрометеорологічних робіт;

– торговельно-комерційних операцій і розрахунків між покупцями і продавцем, у тому числі в сферах побутових і комунальних послуг, послуг електро- і поштового зв'язку;

– податкових, банківських і митних операцій;

– обліку енергетичних і матеріальних ресурсів, газу, води, нафтопродуктів тощо, за винятком внутрішнього обліку, що проводиться підприємствами, організаціями і громадянами-суб'єктами підприємницької діяльності;

- робіт виконуваних за дорученням органів прокуратури і правосуддя, обов'язкової сертифікації продукції;
- реєстрації національних і міжнародних спортивних рекордів;
- реєстрації земельних ділянок і нерухомого майна.

Порядок здійснення державного метрологічного нагляду регламентується ПР 50.2.002-94 «Правила по метрологи. Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок осуществления метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм».

Державний метрологічний нагляд здійснюють державні інспектори, які призначаються з числа працівників Держспоживстандарту і його територіальних органів.

Вони мають право:

- відвідувати в установленому порядку підприємства, установи, організації незалежно від форм власності, де експлуатуються, виготовляються, зберігаються засоби вимірювання;
- перевіряти дотримання вимог атестованих методик виконання вимірювання;
- перевіряти кількість товарів в готових упаковках під час продажу і розфасування;
- забороняти використання, випуск в обіг засобів вимірювання, що не пройшли державних випробувань, не повірених, а також що не відповідають затвердженому типу;
- виконувати інспекційну перевірку засобів вимірювання;
- вилучати при необхідності прилади з експлуатації;
- анулювати свідоцтво про повірку і гасити повірочні тавра у випадках прострочення міжповірочного інтервалу або неправильної роботи приладу.

Результати кожної перевірки оформляються актом з підписами учасників перевірки.

Оплата метрологічних робіт згідно результату здійснюється підприємствами, установами, організаціями, громадянами за роботи, пов'язані з:

- випробуванням засобів вимірювання;

- перевіркою засобів вимірювання;
- видачею ліцензій на право виготовлення, ремонту, прокату, калібрування і імпорту засобів вимірювання;
- атестацією вимірювальних, аналітичних, випробувальних і інших лабораторій, за тарифами, які встановлюються Держспоживстандартом за узгодженням з міністерством економіки України.

Порушники закону України несуть адміністративну, цивільно-правову або кримінальну відповідальність.

Відповідно до Кодексу України «Про адміністративні правопорушення»:

– випуск в обіг і продаж засобів вимірювання, які не пройшли державних випробувань або метрологічної атестації, а також неповіренних, або виробництва, продаж, тимчасове використання, ремонт, калібрування засобів вимірювання підприємствами, установами і організаціями незалежно від форм власності, громадянами, які займаються підприємницькою діяльністю, не маючи на це дозволу, а так само використання результатів вимірювання в сферах, які підлягають державному метрологічному нагляду, з відхиленнями від гранично допустимих значень, тягне за собою накладення штрафу на службових осіб підприємств, установ, організацій незалежно від форм власності, громадян – власників підприємств або уповноважених ними осіб, громадян, які займаються підприємницькою діяльністю, від 20 до 100 мінімальних розмірів заробітної плати;

– порушення правил користування засобами вимірювання спричиняє накладення штрафу на службових осіб підприємств, установ, організацій незалежно від форм власності, громадян – власників підприємств або уповноважених ними осіб, громадян, які займаються підприємницькою діяльністю, від 50 до 100 мінімальних розмірів заробітної плати.

Винні в обмані і обважуванні споживачів можуть бути притягнені до кримінальної відповідальності.

Покаранням за неправильний вимір в торгівлі і сфері послуг можуть накладатися штрафи в розмірі від 50 до 300 мінімальних розмірів оплати праці з позбавленням права займатися подібною діяльністю строком до п'яти років і позбавленням свободи строком до двох років. За повторні подібні дії покарання

жорсткіше: штраф збільшується від 300 до 1000 мінімальних розмірів оплати праці, а термін позбавлення волі – до п'яти років.

9.4 Метрологічне забезпечення підготовки виробництва

Без точної і об'єктивної вимірювальної інформації неможливо забезпечити ефективність виробництва і високу якість продукції. Забезпечення єдності і необхідної точності вимірювання, як це було сказано вище, об'єднуються поняттям «Метрологічне забезпечення» ГОСТ 1.25-76.

Метрологічне забезпечення – встановлення і застосування наукових і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, необхідних для досягнення єдності і необхідної точності вимірювання.

Мета метрологічного забезпечення – поліпшення якості продукції, підвищення ефективності виробництва і наукових досліджень, використання матеріальних цінностей і енергетичних ресурсів.

В результаті впровадження метрологічного забезпечення:

- удосконалюється технологія;
- підвищується об'єктивність контролю характеристик виробу, матеріалів, сировини, інструментів, устаткування;
- підвищується якість виробу;
- скорочується брак у виробництві;
- швидко освоюється випуск нових виробів.

У Україні метрологічна діяльність носить державний характер. Законодавча основа:

- 26 квітня 1993 рік № 40–93 – Декрет Кабінету Міністрів «Про забезпечення єдності вимірювання»
- 10 травня 1993 року – «Про державний нагляд за дотриманням стандартів, норм, правил і відповідальність за їх порушення»
- 1994 рік – введений «ДСТУ 2682-94 Метрологічне забезпечення»
- 1998 рік – закон України «Про метрологію і метрологічну діяльність».

Метрологічне забезпечення підготовки виробництва (МЗПВ) – це комплекс мір, спрямованих на визначення з необхідною точністю характеристик виробів, напівфабрикатів, вузлів, матеріалів, сировини, технологічних процесів і устаткування, необхідних у виробництві, що

дозволяють добитися високої якості продукції, що виготовляється, і зниження непродуктивних витрат на їх розробку і виробництво.

Нормативною базою МЗПВ є стандарти державної системи вимірювання (ДСВ), Єдина система технологічної підготовки виробництв (ЄСТПВ), галузеві стандарти (ГСТУ), стандарти підприємств (СТП).

Роботи по МЗПВ виконуються конструкторськими, технологічними, метрологічними службами підприємств з моменту отримання початкових документів на виріб.

План МЗПВ, який розробляється метрологічною службою підприємства, повинен включати:

- встановлення раціональної номенклатури вимірюваних параметрів і норм точності вимірювання, що забезпечують достовірність вхідного і приймального контролю виробів, вузлів і матеріалів, а також контролю характеристик технологічних процесів і устаткування;

- забезпечення технологічних процесів сучасними методами виконання вимірювання, що гарантують необхідну точність вимірювання, атестація і стандартизація цих методик; у їх число повинні входити МВВ вимірювання, необхідні для забезпечення безпеки праці;

- забезпечення (постановка, розробка, виготовлення) виробництва засобами вимірювання, методами вимірювання, засобами обробки і надання результату вимірювання;

- забезпечення метрологічного обслуговування, перевірка і калібрування ЗВТ;

- забезпечення умов виконання вимірювання, встановлених в нормативній документації;

- підготовка виробничого персоналу і працівників відповідних служб підприємств до виконання контрольно-вимірювальних операцій, перевірки, ремонту і юстирування;

- організація і проведення метрологічного контролю або експертизи технічної документації.

Для забезпечення упевненості в тому, що вимірювання на підприємстві виконуються відповідно до вимог і дозволяють отримувати достовірні результати вимірювання, створюють систему управління вимірами.

Вимоги і рекомендації по впровадженню викладені в ISO 10012:2003, дозволяють не лише поліпшити стан вимірювання на підприємстві, але і підвищити якість продукції.

Модель системи управління вимірами має схожість з моделлю системи управління якістю ISO 9001:2008.

9.5 Метрологічна експертиза технічної документації

Метрологічна експертиза (МЕ) технічної документації – це аналіз і оцінка технічних рішень по вибору параметрів, що підлягають вимірюванню, встановленню норм точності і забезпеченню методами і засобами вимірювальної техніки процесів розробки, виготовлення, випробування, експлуатації і ремонту виробів.

МЕ не зводиться до пасивної перевірки документації. Фахівець-метролог бере участь в розробці технічної документації з метою:

- виявлення помилкових або недостатньо обґрунтованих рішень по метрологічному забезпеченню;
- надання допомоги розробнику в пошуку найбільш раціональних рішень.

За результатами МЕ в креслення виробів, в технічні процеси вносять зміни, посилюють допуски на виготовлення; розробляють і виготовляють спеціальні засоби контролю; проектують і виготовляють вимірювальне оснащення.

МЕ піддають:

- технічні завдання;
- конструкторську і технологічну документацію основного і допоміжного виробництва, що містять вимоги до ЗВТ, умов, процедур вимірювання, норм і показників точності вимірювання.

МЕ технічної документації проводять підрозділи метрологічної служби підприємства, конструкторські і технологічні підрозділи, служби стандартизації у відповідність до метрологічних правил і норм, закладених в стандартах.; Єдина система конструкторської документації (ЄСКД), Єдина система технологічної документації (ЄСТД), ЄСТПВ, ГСТУ, СТП.

Завдання МЕ:

1. Перевірка правильності прийнятих розробником документації рішень по забезпеченню єдності вимірювання і досягненню відповідності точності вимірювання встановленим нормам.

Компетенція метролога:

1) оцінка коректності визначення ФВ, що підлягає вимірюванню;

2) встановлення відповідності застосовності ЗВТ і методики виконання вимірювання до вирішуваної вимірювальної задачі. Експерт повинен запропонувати відповідну заміну. Використання сучасних і прогресивних методів і засобів вимірювання, що забезпечують задану точність, зниження трудомісткості і собівартості контрольних операцій.

3) аналіз повноти вимог до чинників, що впливають на похибку вимірювання.

Похибка вимірювання залежить від 4 груп чинників:

– метрологічні властивості використовуваних ЗВТ; якщо виявлена неповнота експерт повинен відмітити неприпустимість застосування цього ЗВТ і зробити пропозицію про його заміну або проведення метрологічної атестації для визначення відсутніх метрологічних характеристик.

– умови вимірювання; експерт повинен запропонувати внести відсутні вимоги до величин, що визначають робочі умови застосування ЗВТ або визначити залежності.

– процедури вимірювання; як застосовувати МВВ, як підготувати об'єкт до вимірювання, особливості його взаємодії з ЗВТ тощо.

– властивості об'єкту; переконатися в наявності вимог до усіх його властивостей, які впливають на похибку взаємодії ЗВТ з об'єктом і на методичну складову похибки вимірювання.

4) перевірка наявності даних про похибки; результати вимірювання можна використовувати тільки за умови оцінки їх похибки. У звітних документах, де наводяться результати вимірювання, мають бути вказані похибки.

5) аналіз правильності визначення похибки; якщо проводилася метрологічна атестація МВВ, то перевіряють наявність затвердженого атестата МВВ. Якщо похибка знайдена розрахунковим шляхом, перевіряють правильність розрахунків. Якщо експерт не має в розпорядженні часу, то повертає документ розробникові і пропонує виконати деякі дослідження тощо. Похибки порівнюють з нормами точності вимірювання – при недостатній

точності вимірювання вносять пропозиції по їх підвищенню шляхом вибору точніших ЗВТ, посиленню вимог до умов вимірювання і об'єкту, зміни процедури вимірювання, вибору досконалішого методу вимірювання, уточнення ФВ. Якщо досягнення необхідної точності вимірювання неможливе або істотні витрати, експерт може поставити питання про пом'якшення норм точності вимірювання.

б) перевірка правильності метрологічної термінології, найменувань, позначень ФВ і їх одиниць; застосування системи СІ.

2. Виявлення раціональніших, ніж прийнята розробником документація, рішень по забезпеченню єдності вимірювання і досягненню точності, відповідної встановленим нормам.

Аналізу піддаються рішення по вибору МВВ (робочої або типової, стандартизованої або нестандартизованої), вибору ЗВТ (загального застосування або нестандартизованих, є на виробництві або потрібно придбати, автоматизованого або з малою продуктивністю), форми завдання вимог до метрологічних властивостей ЗВТ, умов, процедури вимірювання і властивостей об'єктів, що впливають на похибку, форми вираження похибок. Експерт пропонує той варіант правильних рішень, який більшою мірою відповідає цілям вимірювання і забезпечує зменшення витрат, підвищення продуктивності праці, скороченню термінів освоєння нової техніки.

3. Встановлення раціональної номенклатури вимірюваних параметрів і аналізом відповідності похибок вимірювання вимогам до техніко-економічних показників, на які чинять вплив похибки вимірювання. З одного боку – необхідно враховувати витрати на вимірювання, з іншої – наслідки, обумовлені похибками вимірювання (добре було б при мінімальних витратах отримати максимальну точність вимірювання) (представити економічне обґрунтування витрат на вимір і втрат, обумовлених похибкою цих вимірювань).

Номенклатура вимірюваних параметрів:

- значення допусків ($x_n < x_i < x_b$);
- числові характеристики розподілів значень параметрів в межах заданих допусків при серійному виготовленні виробів;
- види законів розподілу значень параметрів;

– дані про наявність кореляційного зв'язку.

Зауваження експерта з розглянутих питань носять обов'язковий характер для виконання. Без усунення зауважень документація не візується експертом. При великій кількості зауважень або серйозному їх характері документація повертається розробникові на доопрацювання з наступним повторним наданням на МЕ. Питання про терміни повторної МЕ вирішує керівник відділу-розробника і головний метролог. Результати МЕ, технічної документації, за якими вимагається оформлення змін або розробка заходів щодо підвищення ефективності метрологічного забезпечення викладаються в експертному висновку, який складається в двох екземплярах, : перший направляють розробникові, другий – з його підписом зберігають в підрозділі, який проводив МЕ, візують осіб, відповідальних за її проведення. Без візи головного метролога документи не можуть бути представлені на затвердження. У разі виникнення розбіжностей між розробником і експертом остаточне рішення приймає керівництво підприємства або вища метрологічна організація. При цьому зберігають списки пропозицій і зауважень.

9.6 Міжнародні метрологічні організації

Необхідність міжнародної співпраці в області 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 по спільно вироблених програмах. 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, визначення і узгодження значень фундаментальних фізичних констант.

Міжнародне бюро мір і ваг функціонує під управлінням і наглядом Міжнародного комітету мір і ваг (CIPM), який сьогодні складається з представників 18 держав і є відповідальним перед Генеральною конференцією мір і ваг (CGPM). Міжнародний комітет мір і ваг збирається не рідше одного разу в два роки, а Генеральна конференція – не рідше одного разу в 6 років. При цьому кожна країна, що підписала Метричну конвенцію, має на Генеральній конференції один вирішальний голос. У завдання Генеральної конференції входять обговорення і пропозиція мір, необхідних для розповсюдження і удосконалення метричної системи, а також затвердження нових основних метрологічних визначень, вироблених за час між її сесіями. Вона приймає звіт Міжнародного комітету про виконані роботи і проводить закритим балотуванням оновлення половини складу Міжнародного комітету.

Сьогодні сфера діяльності Метричної конвенції охоплює не лише одиниці довжини і маси, але і одиниці електричних, магнітних, оптичних величин, одиниці в області іонізуючих випромінювань та ін. Дослідження еталонів цих величин ведуться в Міжнародному бюро мір і ваг, яке є міжнародним центром по забезпеченню єдності вимірювань. У функції Міжнародного бюро мір і ваг входить створення еталонів основних фізичних величин і зберігання міжнародних прототипів, звірення міжнародних і національних еталонів; узгодження методів вимірювання, координація і виконання вимірювання фундаментальних фізичних постійних.

Нині діє 10 консультативних комітетів: за одиницях фізичних величин (CCU), по довжині (CCL), по масі (CCM); по часу і частотам (CCTF), по термометрії (CCT), по електриці і магнетизму (CCEM), по фотометрії і радіометрії (CCPR), по кількості речовини (CCQM); іонізуючим випромінюванням (CCRI), по акустиці, ультразвуку і вібрації (CCAUV).

Є також ряд комітетів, створених Міжнародним бюро мір і ваг спільно з іншими міжнародними організаціями для розв'язання проблем, що представляють взаємний інтерес. До них відносяться:

– спільний комітет Міжнародного бюро мір і ваг і Міжнародного астрономічного суспільства. Предметом вивчення експе-

ртів цього комітету є релятивістські властивості просторово-часових систем відліку. Головою цього комітету є представник Міжнародного бюро мір і ваг;

– спільний комітет з керівництва в області метрології (ICGM), який об'єднує Міжнародне бюро мір і ваг, Міжнародну організацію законодавчої метрології (OIML), Міжнародну організацію стандартизації (ISO), Міжнародну електротехнічну комісію (IEC), міжнародні суспільства чистої і прикладної хімії (IUPAC) і фізики (IUPAP), Міжнародну федерацію клінічної хімії і лабораторної медицини (IFCC), Міжнародне об'єднання по акредитації лабораторій (ILAC). Саме цей комітет вніс основний вклад до підготовки міжнародного керівництва по вираженню невизначеності вимірювання (GUM), міжнародного словника основних термінів метрології (VIM), опублікованих ISO. Головою ICGM є директор Міжнародного бюро мір і ваг;

– спільний комітет Міжнародного бюро мір і ваг і регіональних організацій (ICRB), створений Міжнародним комітетом мір і ваг як орган, який визначає порядок взаємного визнання національних еталонів і сертифікатів, виданих національними метрологічними інститутами. До складу цього комітету входять представники таких регіональних організацій, як Азіатсько-тихоокеанська метрологічна програма (APMP), Організація метрологічних установ Європи (EUROMET), Міжамериканська метрологічна система (SIM), Організація метрологічних установ країн Центральної і Східної Європи (COOMET), Південно-Африканський комітет метрології (SADCMET). Головою ICRB також є директор Міжнародного бюро мір і ваг.

Одним з найважливіших досягнень учасників Метричної конвенції було прийняття в 1960 р. на XI генеральній конференції мір і ваг Міжнародної системи одиниць СІ. Основні напрями розвитку метричної системи нині пов'язані з подальшими дослідженнями по уточненню фундаментальних фізичних констант, застосуванням стабільних квантових ефектів при створенні еталонів, з реалізацією практичного механізму проведення ключових звірень еталонів, що повинне забезпечити взаємне визнання національних еталонів і сертифікатів.

У 1933 р. делегація СРСР на Генеральній конференції із мір і ваг запропонувала розповсюдити міжнародну співпрацю на область виготовлення і застосування засобів вимірювальної техніки. Після великої підготовчої роботи в 1956 р. була підписана міжурядова конвенція про устанovu 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 по термінології, методам вимірювання, усім видам нормативних документів, що регламентують передачу інформації про розміри одиниць фізичних величин від їх еталонів засобам вимірювальної техніки.

Структура МОЗМ аналогічна структурі міжнародної організації мір і ваг. Міжнародне бюро законодавчої метрології (МБЗМ) знаходиться в Парижі. Його діяльністю керує Міжнародний комітет законодавчої метрології (МБЗМ), що збирається щорічно. Раз в 4–6 років скликаються Міжнародні конференції із законотворчої метрології, в яких беруть участь повноважні представники усіх країн-членів організації. Розробкою конкретних рекомендацій займаються секретаріати-доповідачі по планах і під контролем секретаріатів-пілотів, що погоджують ці рекомендації з усіма країнами-членами МОЗМ. Рекомендації представляються в МБЗМ і потім затверджуються Міжнародною конференцією

У МОЗМ входить 37 країн-членів і 8 країн-кореспондентів. Україна прийнята в МОЗМ в 1997 р.

МОЗМ розробила документи по системі сертифікації засобів вимірювальної техніки. Система призначена для добровільної сертифікації ЗВТ на відповідність рекомендаціям МОЗМ і спрямована на гармонізацію діяльності національних і регіональних органів, які затверджують типи ЗВТ. Виробники ЗВТ, які хочуть провести затвердження типу ЗВТ в усіх країнах, де вони продаватимуть свої ЗВТ, можуть скористатися системою МОЗМ.

Питаннями законодавчої метрології в Європі займається Західноєвропейське об'єднання законодавчої метрології (WELMEC), основне завдання якого полягає в гармонізації і координації діяльності регіональних і національних служб законодавчої метрології для усунення перешкод в міжнародній торгівлі і з метою вільного обороту товарів в Європі. Кінцевим результатом діяльності WELMEC є створення таких умов діяльності національних служб законодавчої метрології, які забезпечували б взаємне визнання сертифікатів випробувань і перевірки ЗВТ. Меморандум WELMEC має виключно рекомендальний характер. Членом WELMEC може стати національний орган законодавчої метрології будь-якої країни, яка входить в ЄС або в Європейську асоціацію вільної торгівлі.

МОЗМ тісно співробітничав з Міжнародною організацією по стандартизації (ISO). Питаннями метрології в ISO займається 10 технічних комітетів, які розробили і впровадили більше 180 стандартів. Наприклад, ISO/TK 3. Допуски і посадки веде Австралія, розроблено 13 стандартів; ISO/TK 10. Графічні символи; технічне креслення (Німеччина), розроблено 8 стандартів; ISO/TK 12. Величини і одиниці (Швеція), розроблено 2 стандарти; ISO/TK 30. Вимірювання течій рідин в замкнених каналах (Франція), розроблено 30 стандартів; ISO/TK 43. Акустика (Данія), розроблено 35 стандартів; ISO/TK 57. Метрологія і властивості поверхонь (Росія); ISO/TK 172. Оптика і оптичні інструменти (Німеччина).

Європа грає провідну роль у вирішенні проблеми створення метрологічних організацій на регіональному рівні. У 1973 р. відбулася перша Західноєвропейська конференція з метрології, в якій брало участь близько 80 представників з 14 країн. Ця подія стала датою народження Західноєвропейського метрологічного клубу (WEMC), який створювався як дискусійний клуб по співпраці в області метрології в Європі. Низка запитань обговорювалася в робочих групах, при цьому робоча група по калібруваннях в 1975 р. перетворилася в Західноєвропейську організацію по калібруванню (WECC). Цілями WECC являються: створення взаємної довіри в методах роботи національних служб по акредитації калібрувальних лабораторій; обмін знаннями і технічним досвідом; укладання угод про взаємне визнання сертифікатів калібрування.

EUROMET – організація, заснована в 1988 р., продовжувала роботи WECC з питань тісної співпраці між окремими країнами членами організації, оптимального використання досягнень і ресурсів, раціонального розподілу інвестицій. EUROMET створена для розвитку найтіснішої співпраці в роботі над еталонами, оптимізації використання ресурсів і послуг, вдосконалення метрологічних служб; забезпечення того, щоб методи і пристрої, розроблені у рамках EUROMET, були доступними для усіх членів цієї організації. EUROMET вирішує такі завдання, як координація проектів по еталонах і основних капіталовкладень в метрологічні методи і ЗВТ; передача досвіду в області первинних або національних еталонів серед членів; забезпечення структури для співпраці по спеціальних проектах; забезпечення інформації про ресурси і послуги; співпраця зі службами калібрування і законодавчої метрології в Європі.

COOMET – це східноєвропейська організація із завданнями, аналогічними EUROMET, заснована в 1991 р. після падіння «залізної завіси». COOMET створювалася як організація Євро-Азіатського співробітництва державних метрологічних установ країн Центральної і Східної Європи і географічно близьких до них країн, відкрита для приєднання до неї метрологічних установ країн інших регіонів як асоційовані члени. Меморандум про співпрацю в рамках цієї організації підписаний в м. Варшаві 12 червня 1991 р. і уточнений на 10-му засіданні Комітету COOMET в травні 2000 р. в м. Алмати (Казахстан). Цілями COOMET є сприяння ефективному рішенню питань одноманітності мір, єдності і необхідної точності, а також розвитку співпраці в народному господарстві і усуненню технічних перепон в міжнародній торгівлі, зближення діяльності метрологічних служб на основі міжнародних домовленостей. COOMET ставить завдання: 1) досягнення взаємної відповідності еталонів, узгодженості вимог, що пред'являються до ЗВТ і методам їх контролю; 2) визнання еквівалентності національних сертифікатів, що засвідчують результати метрологічної діяльності; 3) обмін інформацією про стан метрологічних служб і напрям їх розвитку; 4) спільні розробки метрологічних тем; 5) сприяння у взаємному наданні метрологічних послуг.

Прикладом регіональної організації, що надає метрології першорядне значення, є Міждержавна Рада СНД із стандартизації, метрології і сертифікації, створена в березні 1992 р. для проведення узгодженої політики в області стандартизації, метрології і сертифікації. Досягнута країнами – учасницями угода передбачає використання і розвиток основних положень, що діяли в СРСР систем стандартизації і метрології, визнання діючих стандартів ГОСТ як міждержавних; збереження аббревіатури ГОСТ за новими міждержавними стандартами, проведення робіт по сертифікації на основі загальних організаційно-методичних положень; визнання існуючих державних еталонів одиниць фізичних величин як міждержавних.

Міждержавна Рада із стандартизації, метрології і сертифікації здійснює координацію і розробляє рішення по проведенню узгодженої політики. Представниками в Раді є керівники національних органів стандартизації, метрології і сертифікації, які від імені держав, що підписали угоду 13 березня 1992 г, наділені правом бути членами Ради і повноваженнями для виконання функцій, покладених на цю Раду.

Робочим органом Ради є технічний секретаріат (м. Мінськ), офіційна мова – російська.

Постійно діючим робочим органом Міждержавної Ради по стандартизації, метрології і сертифікації є науково-технічна комісія з метрології (НТКМетр), до складу якої включається по одному постійному представникові від національних органів, а також представник від Бюро по стандартизації Міждержавної Ради.

Основні завдання НТКМетр в області забезпечення єдності вимірів полягають у формуванні пропозицій і рекомендацій по проведенню узгодженої науково-технічної політики держав-учасників Угоди, підготовці проектів рішення Міждержавної Ради; координації діяльності національних органів по реалізації міжурядових угод і рішень Міждержавної Ради; організації розробки проектів міждержавних нормативних документів і їх представленні на прийняття Міждержавною Радою; формуванні пропозицій по розробці програм створення і використання міждержавних еталонів і стандартних зразків складу і властивостей речовин і матеріалів; стандартних довідкових даних про фізичні

константи і властивості речовин і матеріалів; організації розробки міждержавних програм проведення звірень національних початкових еталонів і перевірки ЗВТ; взаємодії з іншими науково-технічними комісіями Міждержавної Ради.

Засідання НТКМетр проводяться не рідше двох разів на рік, як правило, по черзі в державах-учасниках Угоди, представники яких входять до складу НТКМетр.

Держспоживстандарт України займає активну позицію в діяльності такої регіональної організації як Комітет Міжнародної організації метрологічних організацій Центральної і Східною Європи (СООМЕТ), у рамках якої виконується 30 тем.

Держспоживстандарт України послідовно проводить активну політику, спрямовану на підписання двосторонніх міждержавних угод про співпрацю в сферах стандартизації, метрології і сертифікації, а також угод про взаємне визнання робіт за оцінкою відповідності. Міждержавні угоди підписані з Литвою, Вірменією, Киргизією, Грузією, Естонією та ін.; міжвідомчі угоди між Держспоживстандартом України і Національним бюро по стандартизації Куби, Комітетом із стандартизації Польщі, Французькою асоціацією по стандартизації та ін.

У Україні питання законодавчої метрології регламентуються законом України «Про метрологію і метрологічну діяльність», діють «Угоди про проведення загальної політики в області стандартизації, метрології і сертифікації» і «Угоди про взаємне визнання результатів державних випробувань і затвердження типу метрологічної атестації, перевірки і калібрування засобів вимірювання, а також результатів акредитації лабораторій, які здійснюють випробування, перевірку і калібрування засобів вимірювання» (1992 р.). У рамках цих угод країни СНД зобов'язалися проводити узгоджену політику в області метрології, у тому числі з питань: встановлення допустимих одиниць вимірювання до застосування в країнах-учасниках угод; ведення інформаційних фондів ЗВТ, стандартних зразків і стандартних довідкових даних, ведення і розвиток системи передачі розмірів одиниць вимірювання. Для практичної реалізації цих угод розроблені і діють декілька міждержавних стандартів (ГОСТ) і правил метрології (ПМГПМГ 06-94 «Порядок признания результатов государственных испытаний и утверждения типа средств измерений», ПМГ 07-94 «По-

рядок признання результатів поверки средств измерений», ПМГ 08-94 «Порядок признання результатів аккредитації лабораторій, которые осуществляют испытания, поверку или калибровку средств измерения».

Питання для контролю і засвоєння прочитаного матеріалу

1. У чому полягає єдність вимірювання.
2. Що таке державна метрологічна система (ДМС) і яке її призначення?
3. Яка структура метрологічної служби України?
4. Назвіть складові компоненти нормативної бази ДМС.
5. Визначите сферу поширення державного метрологічного нагляду.
6. Виходячи із статті 10 Закону України «Про метрологію», дайте відповідь на питання «Як вимірювати?»
7. Які права аудитора по метрології?
8. Яка відповідальність за порушення метрологічних правил?
9. Приведіть доказ того, що метрологічна діяльність в Україні носить державний характер.
10. Що розуміють під метрологічним забезпеченням?
11. Що є законодавчою основою метрологічного забезпечення?
12. Що розуміють під метрологічним забезпеченням підготовки виробництва?
13. Що розуміють під МЕ технічної документації?
14. Які завдання вирішуються при МЕ?
15. Яка нормативна основа МЕ?
16. З якою метою створена Міжнародна організація законодавчої метрології? Яка її структура?
17. Які консультативні комітети діють при МБМВ?
18. Як здійснюється співпраця у рамках СНД в області метрології?

Література до розділу 9

1.Сергеев А. Г. Метрология, стандартизация, сертификация [Текст] / А. Г. Сергеев, М. В.Латышев, В. В.Терегеря. – М. : Логос, 2003. – 272 с.

2.Цюцюра В. Д. Метрологія та основи вимірювань [Текст] : навч. посіб. / В. Д. Цюцюра, С. В. Цюцюра. – К. : Знання-Прес, 2003. – 80 с.

3.Сергеев А. Г. Метрология [Текст]: учеб. пособие для вузов. / А. Г. Сергеев, В. В. Кровин. – М: Логос, 2001. – 408 с.

4.Троцан А. Н. Прикладная метрология [Текст]: учебное пособие / А. Н. Троцан, Н. В.Финошин. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 240 с.

5.Топольник В. Г. Метрологія, стандартизація, сертифікація і управління якістю [Текст]: навчальний посібник / В. Г Топольник, М. А Котляр. – Львів : Магнолія, 2009. – 212 с.

6.Радкевич Я. М. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебник для вузов / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе, Б. И. Лактионов. – М. : Высш. шк., 2004. – 767 с.

7. О метрологии и метрологической деятельности [Текст]: Закон Украины от 13 марта 1998 г. // Голос Украины. – 1798. – №48

8.ДСТУ 2681-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни і визначення [Текст]. – К. : Держстандарт України, 1994. – 68 с.

ТЕСТИ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ РІВНЯ ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ЗА РОЗДІЛОМ «ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ»

1. Метрологія – це наука про вимірювання, що розглядає завдання:

- a) Створення методів і засобів вимірювання, розробки системи засобів, методів і нормативної бази забезпечення єдності вимірювання, методів і засобів досягнення необхідної точності вимірювання.
- b) Створення методів і засобів вимірювання.
- c) Розробки системи засобів, методів і нормативної бази забезпечення єдності вимірювання.
- d) Методів і засобів досягнення необхідної точності вимірювання.

2. Одиницею фізичної величини називають

- a) Фізичну величину, якій за визначенням присвоєно чисельне значення, рівне одиниці.
- b) Величину, чисельне значення якої виражається у вигляді деякого числа.
- c) Розмір фізичної величини.
- d) Величину, встановлювану на підставі еталонів фізичних величин і еталонних вимірювальних засобів різних рівнів.

3. До основних одиниць системи СІ відносяться

- a) Метр, кілограм, секунда, ампер, градус (Кельвіна).
- b) Міліметр, грам, секунда, вольт, градус (Цельсія).
- c) Метр, кілограм, година, ом, градус (Фаренгейта).
- d) Міліметр, грам, секунда, ньютон, рентген.

4. До похідних одиниць системи СІ відносяться

- a) Міліметр, грам, наносекунда, ньютон, джоуль.
- b) Паскаль, метр, вольт, градус, герц.
- c) Каллорія, секунда, ом, фарада, ват.
- d) Кінська сила, свічка, атмосфера, верста

5. Процедури перевірки бувають

- a) Первинними, періодичними, позачерговими.
- b) Первинними, вторинними, позачерговими.
- c) Основними, періодичними, позачерговими.
- d) Основними, додатковими, періодичними.

6. Вимірювальний перетворювач – це:

- a) Технічний пристрій, що виробляє вимірювальну інформацію у виді, необхідному для наступного використання в автоматичних системах.
- b) Пристрій, що дозволяє виміряти декілька фізичних величин.
- c) Пристрій, що дозволяє заміряти одну фізичну величину.
- d) Пристрій, що забезпечує постійність фізичних величин, що заміряються.

7. Ціна поділки шкали визначається

- a) Різницею значень величин, відповідних двом сусіднім відлікам шкали вимірювального засобу.
- b) Різницею між початковою і кінцевою величиною.
- c) Різницею значень величин, що впливають на остаточні дані шкали.
- d) Різницею заданих величин.

8. Стабільність вимірювального засобу – це:

- a) Якість, що відображає незмінність в часі його метрологічних властивостей.
- b) Якість, що відображає зміну в часі його метрологічних властивостей.
- c) Якість, що відображає зміну його метрологічних характеристик.
- d) Якість, що дозволяє змінювати його параметри.

9. Властивостями вимірювальних засобів є:

- a) Точність, правильність, збіжність, відтворюваність.
- b) Міцність, точність, збіжність, відтворюваність.
- c) Жорсткість, збіжність, точність, відтворюваність.
- d) Твердість, збіжність, точність, відтворюваність.

10. Основна похибка – це:

- a) Похибка вимірювального засобу при значеннях діючих чинників, прийнятих за нормальні.
- b) Похибка вимірювального засобу при значеннях діючих чинників, що не є постійними.
- c) Похибка вимірювального засобу.
- d) Похибка вимірювального засобу, що дозволяє виявити кінцевий показник.

11. Метод вимірювання – це:

- a) Спеціальний прийом або сукупність прийомів порівняння вимірюваної фізичної величини з її одиницею відповідно до реалізованого принципу вимірювання.
- b) Прийом чи сукупність прийомів порівняння вимірюваної фізичної величини з її одиницею.
- c) Сукупність прийомів порівняння фізичної величини з її кінцевим значенням.
- d) Сукупність прийомів порівняння фізичної величини з її початковою одиницею.

12. Еталони-свідки призначені для:

- a) Повірки збереженості і незмінності державного еталону.
- b) Порівняння державних еталонів.
- c) Повірки незмінності національного еталону.
- d) Повірки незмінності стандартного еталону.

13. Повірна схема – це:

- a) Затверджений документ, що встановлює засоби, методи і точність передачі розмірів одиниць від державного еталону робочим засобам вимірювання.
- b) Документ, що встановлює засоби, методи передачі розмірів одиниць.
- c) Документ, що встановлює засоби, методи передачі певних величин.
- d) Документ, що встановлює закономірності змін фізичних величин.

14. Задачею метрологічної служби є:

- a) Організація і проведення робіт з підготовки і вдосконалення метрологічного забезпечення в усіх областях діяльності підприємства.
- b) Організація і проведення робіт з підготовки і вдосконалення матеріального забезпечення підприємства.
- c) Проведення робіт по вдосконаленню умов роботи співробітників на підприємстві.
- d) Проведення робіт по вдосконаленню устаткування підприємства.

15. Повірка буває:

- a) Первинною і періодичною.
- b) Первинною і початковою.
- c) Первинною і завершальною.
- d) Первинною і вторинною.

16. Калібрування ЗВ – це:

- a) Сукупність операцій, що здійснюються з метою визначення і підтвердження дійсних значень метрологічних характеристик і (чи) працездатності ЗВ до практичного використання.
- b) Сукупність операцій, що здійснюються з метою визначення значень метрологічних характеристик.
- c) Сукупність операцій, що здійснюються з метою підтвердження значень метрологічних характеристик.
- d) Сукупність операцій, що здійснюються з метою визначення декількох метрологічних характеристик.

17. Ціллю МОВ є:

- a) Уніфікація національних систем одиниць вимірювання фізичних величин і встановлення єдиних фактичних еталонів довжини і маси (метра і кілограма).
- b) Типізація національних систем одиниць вимірювання фізичних величин.
- c) Порівняння одиниць вимірювання фізичних величин з їх еталонами.
- d) Порівняння одиниць вимірювання із стандартними їх значеннями.

18. Координація і функціональне регулювання в області метрології в масштабах України здійснюється:

- a) Держспоживстандартом України.
- b) Державною метрологічною службою (ДМС).
- c) Через територіальні Центри метрології.
- d) Через Державну систему забезпечення єдності вимірювання (ДСВ).

19. Прямі вимірювання фізичної величини проводять:

- a) Безпосередньо на основі показань вимірювальних засобів.
- b) На основі послідовності вимірювання, що здійснюються в однакових умовах.
- c). На підставі чисельного результату вимірювальної процедури.

d) На підставі показань вимірювальних засобів.

20. Технічний пристрій, що виробляє вимірювальну інформацію у виді, необхідному для наступного використання в автоматичних системах і в системах передачі і обробки даних, – це:

- a) Вимірювальний перетворювач.
- b) Вимірювальний засіб.
- c) Вимірювальний прилад.
- d) Міра

21. Державний метрологічний контроль і нагляд здійснюється..

- a) Державною метрологічною службою (ДМС).
- b) Держспоживстандартом України.
- c) Метрологічними службами органів державного управління (міністерств, відомств, комітетів).

22. Державний метрологічний контроль включас..

- a). Затвердження типу засобів вимірювання, перевірку засобів вимірювання, ліцензування діяльності по виготовленню, ремонту, продажу і прокату засобів вимірювання.
- b) Перевірку засобів вимірювання, ліцензування діяльності по виготовленню, ремонту, продажу і прокату засобів вимірювання.
- c) Затвердження типу засобів вимірювання і перевірку засобів вимірювання.
- d) Затвердження типу і перевірку засобів вимірювання, ліцензування діяльності по виготовленню, ремонту і продажу засобів вимірювання.

23. До міжнародних організацій в області метрології відносяться..

- a) МОЗМ, МОМВ, МЕК тощо
- b) МОМВ, ДМС, ІСО тощо
- c). ІСО, МЕК, ДСВ, МБВМ тощо
- d) МОЗМ, МОМВ, МБВМ, ЕВРОМЕТ тощо

24. До видів фізичних величин відносяться:

- a) Основні.
- b) Додаткові.
- c) Абсолютні.
- d) Довільні.

25. Під виміром розуміють:

- a) Метод стандартизації.
- b) Сукупність основних і похідних одиниць.
- c) Сукупність операцій, що виконуються за допомогою технічного засобу, що зберігає одиницю величини і дозволяє зіставити вимірювану величину з її одиницею.
- d) Сукупність способів обробки деталей.

26. Під еталоном одиниці величини розуміється:

- a) Одержання величини у формі зручної для користувача.
- b) Засіб вимірювання, призначений для відтворення і зберігання одиниці величини з метою передачі її засобам вимірювання цієї величини.
- c) Сукупність основних і виробничих одиниць.
- d) Сукупність величин, що характеризують об'єкт стандартизації.

27. Сукупність суб'єктів діяльності і видів робіт, спрямованих на забезпечення єдності вимірювання, – це:

- a) Стандартизаційна служба.
- b) Метрологічна служба.
- c) Служба вимірювання.
- d) Держспоживстандарт України.

28. Вимірювальні шкали, для яких застосовуються усі види математичних дій,:

- a) Шкала найменувань.
- b) Шкала порядку.
- c) Шкала інтервалів.
- d) Шкала відношень.

29. До яких вимірювань відноситься визначення об'єму паралелепіпеда за виміряними довжинами сторін:

- a) До прямих.
- b) До непрямих.

30. Які основні типи випадкових величин:

- a) Дискретна.
- b) Безперервна випадкова величина.

ГЛОСАРІЙ

А

Аналіз – діяльність, що робиться для встановлення придатності, адекватності, результативності даного об'єкту для досягнення встановленої мети. Аналіз може також включати визначення ефективності. Наприклад: аналіз з боку керівництва, аналіз проектування і розробки, аналіз вимог споживачів і аналіз невідповідностей.

Б

Безпека – стан, при якому ризик шкоди (персоналу) або збитку обмежений допустимим рівнем. Безпека є одним з аспектів якості.

В

Вимірювальне устаткування – засоби вимірювання, програмні засоби, еталони, стандартні зразки, допоміжна апаратура або комбінація з них, необхідні для виконання процесу вимірювання. Вимірювальне устаткування зазвичай має декілька метрологічних характеристик, які можуть бути предметом калібрування.

Випробування – визначення однієї або декількох характеристик згідно зі встановленою процедурою.

Взаємозамінність – здатність об'єкту бути використаним без модифікації замість іншого для виконання тих же вимог.

Витрати «зовнішні» (чи витрати на усунення дефектів, пов'язаних з вимогами замовника) – витрати по забезпеченню якості, викликані незадовільною якістю виконання вимог замовника (споживача). До них відносяться – повернення продукції, рекламації, необхідні заходи у відповідь.

Витрати «внутрішні» (чи витрати на усунення дефектів, пов'язаних з внутрішніми проблемами) – витрати на забезпечення якості, покликані скоректувати процес і зробити, незважаючи на невдачі, продукцію прийнятної для замовника (споживача). До них відносяться – відбракування, ремонт, усунення дефектів.

Витрати на якість – усі витрати, які треба понести щоб виробити якісну продукцію. 1. Витрати, пов'язані з якістю,

класифікуються усередині організації згідно з її власними критеріями. 2. Деякі втрати практично не можна визначити кількісно, але вони можуть бути дуже істотними, наприклад, такі, як втрата престижу фірми.

Втрати якості – втрати, викликані не реалізацією потенційних можливостей ресурсів в процесах і в ході діяльності. Прикладами втрат якості є втрата задоволеності споживача, втрата можливості додатково збільшити вартість споживачеві, організації або суспільству, а також марнотратне використання ресурсів і матеріалів.

Виробниче середовище – сукупність умов, в яких виконується робота. Умови включають фізичні, соціальні, психологічні і екологічні чинники (такі як температура, системи визнання і заохочення, ергономіка і склад атмосфери).

Г

Градація – клас, сорт, категорія або розряд, присвоєні різним вимогам до якості продукції, процесів або систем, що мають те ж саме функціональне застосування.

Гуртки якості – групи працівників однієї бригади, зміни, цеху, відділу (чи іншого підрозділу підприємства), що займаються на добровільних засадах проблемами поліпшення якості.

Д

Дефект – невиконання вимоги, пов'язаної з передбачуваним або встановленим використанням.

Документ – інформація і відповідний носій. Наприклад – записи (протоколи), нормативна і технічна документація, процедурний документ, креслення, звіт, стандарт. 1. Носій може бути паперовим, магнітним, електронним або оптичним комп'ютерним диском, фотографією або еталонним зразком, або комбінацією з них. 2. Комплект документів, наприклад, технічних умов і записів, часто називається «документацією». 3. Деякі вимоги (наприклад, вимога до розбірливості) відносяться до усіх видів документів, проте можуть бути інші вимоги до технічних умов (наприклад, вимога до управління переглядами) і записів (наприклад, вимога до відновлення).

Дозвіл на відхилення – дозвіл на використання або випуск продукції, яка не відповідає встановленим вимогам. Дозвіл на відхилення зазвичай поширюється на постачання

продукції з невідповідними характеристиками для встановлених узгоджених обмежень за часом або кількості цієї продукції.

Декларація про відповідність – документ, в якому виробник (продавець, виконавець) на основі наявних у нього документів засвідчує, що продукція, яка поставляється (продається) ним, відповідає встановленим вимогам технічних регламентів.

Декларування відповідності – процедура, за допомогою якої виробник під свою відповідальність документально засвідчує, що продукція відповідає встановленим законодавчим вимогам.

Е Є Ж З

Ефективність – зв'язок між досягнутим результатом і використаними ресурсами.

Забезпечення якості – частина менеджменту якості, спрямована на створення упевненості, що вимоги до якості будуть виконані.

Збалансована система показників – набір з чотирьох параметрів, що збалансовано оцінюють діяльність організації з фінансової точки зору, з точки зору задоволеності споживача, внутрішніх процесів, навчання і зростання працівників.

И, Й, І

Інформація – значущі дані.

Інфраструктура – сукупність будівель, устаткування і служб забезпечення, необхідних для функціонування організації.

К

Калібрування – сукупність операцій, що встановлюють співвідношення між значенням величини, отриманим за допомогою цього засобу вимірів, і відповідним значенням величини, визначеним за допомогою еталону.

Компетентність – виражена здатність застосовувати свої знання і уміння.

Контроль – процедура оцінювання відповідності шляхом спостереження і суджень, що супроводжуються відповідними вимірами, випробуваннями або калібруванням.

Керівництво з якості – це узагальнювальний документ, в якому викладена політика підприємства в області якості, приводиться опис системи менеджменту якості. Керівництво з

якості може розрізнятися за формою і детальністю викладу, виходячи з відповідності розміру і складності організації.

Л, М

Методика – встановлений спосіб здійснення діяльності. 1. В багатьох випадках методики документуються (наприклад, методики системи якості). 2. Коли яка-небудь методика документується, краще використовувати термін «письмова методика» або «документальна методика». 3. Письмова або документальна методика зазвичай містить цілі і області діяльності; що має бути зроблено і ким; коли, де і як це повинно бути зроблено; які матеріали, документи і яке устаткування має бути використано; і яким чином це повинно бути проконтрольовано і зареєстровано.

Метрологічна служба – організаційна структура, що несе відповідальність за визначення і впровадження системи управління вимірами.

Метрологічне підтвердження придатності – сукупність операцій, необхідних для забезпечення відповідності вимірювального устаткування вимогам, що відповідають його призначенню. 1. Метрологічне підтвердження придатності зазвичай включає калібрування або верифікацію, будь-яке необхідне юстирування або ремонт і наступне перекалібрування, порівняння з метрологічними вимогами для передбачуваного використання устаткування, а також необхідне пломбування і маркування. 2. Метрологічне підтвердження придатності не виконане до тих пір, поки придатність вимірювального устаткування для використання за призначенням не буде продемонстрована і задокументована.

Н

Надійність – збиральний термін, вживаний для опису властивості готовності і властивостей безвідмовності, ремонтпридатності і забезпеченості технічного обслуговування і ремонту, що впливають на нього.

Нормативна і технічна документація – документи, що встановлюють вимоги. 1. Нормативні документи можуть відноситися до діяльності (наприклад, документована процедура, технологічна документація на процес або методику випробувань) або продукції (наприклад, технічні умови на продукцію, експлуатаційна документація і креслення).

О

Об'єкт – те, що може бути індивідуально описане і розглянуте. Об'єктом може бути, наприклад – 1) діяльність або процес; 2) продукція; 3) організація, система або окрема особа, або будь-яка комбінація з них.

Організаційна структура – зобов'язання, повноваження і взаємини, представлені у вигляді схеми, по якій організація виконує свої функції. Сюди відносяться також і розподіл відповідальності, повноважень і взаємин між працівниками.

Організація – група працівників і необхідних засобів з розподілом відповідальності, повноважень і взаємин. Наприклад: компанія, корпорація, фірма, підприємство, установа, добродійна організація, підприємство роздрібною торгівлі, асоціація, а також їх підрозділи або комбінація з них.

1. Розподіл відповідальності, повноважень і взаємин зазвичай буває впорядкованим.

2. Організація може бути державною або приватною.

Оцінка якості – систематична перевірка, наскільки об'єкт здатний виконувати встановлені вимоги.

П

Переробка – дія, зроблена відносно невідповідної продукції, з тим щоб вона відповідала вимогам. На відміну від переробки ремонт може впливати на частини невідповідної продукції або змінювати їх.

Постачальник – організація або особа, що надають продукцію. Наприклад – виробник, оптовик, підприємство роздрібною торгівлі або продавець продукції, виконавець послуги, постачальник інформації. 1. Постачальник може бути внутрішнім або зовнішнім по відношенню до організації. 2. У контрактній ситуації постачальника іноді називають «підрядчиком».

Процедура – встановлений спосіб здійснення діяльності або процесу. 1. Процедури можуть бути документованими або недokumentованими. 2. Якщо процедура документована, часто використовується термін «письмова процедура» або «документована процедура».

Процес – сукупність взаємозв'язаних і взаємодіючих видів діяльності, що перетворює входи у виходи. 1. Входами до процесу зазвичай є виходи інших процесів. 2. Процеси в організації, як

правило, плануються і здійснюються в керованих умовах з метою додавання цінності. 3. Процес, в якому підтвердження відповідності кінцевої продукції ускладнене або економічно недоцільно, часто відносять до «спеціального процесу».

Процес виміру – сукупність операцій для встановлення значення величини.

Процесний підхід – розгляд кожної дії як процесу, який має певні параметри на вході і виході.

Продукція – результат процесу. Є чотири загальні категорії продукції – 1) послуги (наприклад, перевезення); 2) програмні засоби (наприклад, комп'ютерна програма, словник); 3) технічні засоби (наприклад, вузол двигуна); 4) матеріали (наприклад, мастило), що переробляються.

Р

Ринковий нагляд – постійне спостереження за відповідністю продукції, введеної в обіг, технічним регламентам, правомірністю застосування на ній Національного знаку відповідності, повнотою і достовірністю інформації про таку продукцію.

Робочі інструкції – елемент документації системи менеджменту якості, що складається з детальних вказівок, що регламентують технологію, і організацію робочих процесів, супутніх створенню продукції.

Результативність – міра реалізації запланованої діяльності і досягнення запланованих результатів.

Ремонт – дія, зроблена відносно невідповідної продукції, щоб зробити її прийнятною для передбачуваного використання.

1. Ремонт включає дію з виправлення, зроблену відносно раніше відповідної продукції для її відновлення з метою використання, наприклад як частина технічного обслуговування.

2. На відміну від переробки ремонт може впливати на частини невідповідної продукції або змінювати їх.

Ремонтпридатність – властивість об'єкту, що характеризує його здатність до відновлення, виправлення і збереження заданих характеристик.

С

Система – сукупність взаємозв'язаних і взаємодіючих елементів.

Система управління вимірами – сукупність взаємозв’язаних або взаємодіючих елементів, необхідних для досягнення метрологічного підтвердження придатності і постійного управління процесами виміру.

Споживач – організація або особа, що одержують продукцію. Наприклад – клієнт, замовник, кінцевий користувач, роздрібний торговець, бенефіціар і покупець. Споживач може бути внутрішнім або зовнішнім по відношенню до організації.

Т

Технічні умови – документ, що встановлює вимоги. 1. Для позначення типу технічних умов слід використовувати визначник, такий, як технічні умови на продукцію, технічні умови на випробування. 2. Технічні умови повинні мати посилання або включати схеми і іншу відповідну документацію і вказувати способи і критерії, за допомогою яких може бути здійснена перевірка відповідності.

Технічний експерт – особа, що має спеціальні знання або досвід стосовно об’єкту, що піддається аудиту. Технічний експерт не має повноважень аудитора в групі по аудиту (перевірці).

Технічне регулювання – правове регулювання відношень у сфері встановлення, застосування і виконання обов’язкових вимог до продукції або пов’язаних з нею процесів, систем і послуг, персоналу і органів, а також перевірка їх дотримання шляхом оцінки відповідності і / або ринкового нагляду.

Технічний регламент – закон України або нормативно-правовий акт, прийнятий Кабінетом Міністрів України, в якому визначені характеристики продукції або пов’язані з нею процеси або способи виробництва, а також вимоги до послуг, включаючи відповідні положення, дотримання яких є обов’язковим. Він може також містити вимоги до термінології, відміток, упаковки, маркування або етикетування, які застосовуються до певної продукції, процесу або способу виробництва.

У

Управління якістю – частина менеджменту якості, спрямована на виконання вимог до якості.

Х

Характеристика – відмітна властивість. 1. Характеристика може бути власною або присвоєною. 2. Характеристика може бути якісною або кількісною. 3. Існують різні класи характеристик, такі як:

1) фізичні (наприклад, механічні, електричні, хімічні або біологічні характеристики);

2) органолептичні (наприклад, пов'язані із запахом, дотиком, смаком, зором, слухом);

3) етичні (наприклад, ввічливість, чесність, правдивість);

4) тимчасові (наприклад, пунктуальність, безвідмовність, доступність);

5) ергономічні (наприклад, фізіологічні характеристики або пов'язані з безпекою людини);

6) функціональні (наприклад, максимальна швидкість літака).

Характеристика якості – властива характеристика продукції, процесу або системи, що витікає з вимоги.

1. «Властива» означає наявна в чомусь. Передусім, це відноситься до постійної характеристики. 2. Присвоєні характеристики продукції, процесу або системи (наприклад, ціна продукції, власник продукції) не є характеристиками якості цієї продукції, процесу або системи.

Ю, Я

Юстирування – сукупність операцій по приведенню засобів вимірів в стан, що забезпечує їх правильне функціонування. Застосовується зазвичай відносно вимірювальних приладів, зокрема, оптико-механічних, відносно механізмів частіше використовується термін «регулювання».

Навчальне електронне видання
комбінованого використання

Можна використовувати в локальному
та мережному режимах

ІГНАТКІН Валерій Устинович
ТОМАШЕВСЬКИЙ Олександр Володимирович
МАТЮШИН Владимир Михайлович

ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ

Навчальний посібник

під редакцією В. У. Ігнаткіна

Один електронний оптичний диск (DVD-ROM);
супровідна документація.
Тираж 100 прим. Зам. № 470.

Видавець і виготовлювач
Запорізький національний технічний університет
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64
Тел.: (061) 769–82–96, 220–12–14

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2394 від 27.12.2005.