

Методи та засоби вимірювань



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА

Конспект лекцій для самостійної роботи
з навчальної дисципліни
“МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ”
для студентів спеціальності
152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»

Чернівці
Чернівецький національний університет
2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА

Конспект лекцій для самостійної роботи
з навчальної дисципліни
“МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ”
для студентів спеціальності
152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»

Чернівці
Чернівецький національний університет
2021

УДК 006.91(075.8)
М545

*Рекомендовано Вченою Радою
Інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича
(Протокол No 9 від 24.09.2021)*

Укладачі:

Фесів Ігор Васильович, канд. фіз.-мат. наук, доц.,
Кривецький Василь Іванович, канд. фіз.-мат. наук, наук. співроб.

М545 Фесів І.В., Кривецький В.І.

Конспект лекцій для самостійної роботи з навчальної дисципліни «Методи та засоби вимірювань» Чернівці : Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 2021. – 45 с.

У методичній розробці представлено лекції у вигляді теоретичного матеріалу та наведено результати експериментів метрології. Для студентів технічних факультетів за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

УДК 006.91(075.8)

© Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича, 2021

ЗМІСТ

Вступ.....	7
Лекція 1.	8
Тема 1. Поняття та предмет метрології	8
1.1. Етапи розвитку та еволюція метрології.....	8
1.2. Метрологія та її значення в науково-технічному прогресі	11
1.3. Розділи метрології	13
Лекція 2.	14
Тема 2. Фізичні величини та їх одиниці вимірювання. Система величин та системи одиниць. Міжнародна система одиниць (сі).	14
2.1. Поняття фізичної величини. Види величин.	14
2.2. Одиниці фізичних величин. Принципи побудови систем одиниць та види одиниць.	16
2.3. Розмірності фізичних величин.	17
2.4. Міжнародна система одиниць СІ.	18
2.5. Еталони одиниць фізичних величин.	23
2.6. Планування та організація вимірювань.	29
Лекція 3.	31
Тема 3. Види та методи вимірювання. Основні поняття та визначення	31
3.1. Види вимірювання.....	31
3.2. Методи і методика вимірювання	32
3.3. Умови вимірювання	35
3.4. Характеристики якості вимірювання	36
3.5. Області вимірювання	37
Лекція 4.	38
Тема 4. Математичне опрацювання результатів вимірювання	38
4.1. Визначення статистичних параметрів розподілу на підставі побудови гістограми.	38
4.2. Виявлення грубих похибок.	40
4.3. Критерій нехтовних похибок. Правила округлень.	41

Лекція № 5	
Тема 5. Державна система стандартизації України.	42
5.1 Загальні відомості про стандартизацію.	42
5.2. Значення метрології для науково-технічного прогресу та промисловості. Міжнародні метрологічні організації.	44
Рекомендована література	45

ВСТУП

Курс лекцій Методи та засоби вимірювань. Представлено теоретичну інформацію, описано методичні рекомендації для проведення лекцій.

В сьогоднішніх умовах розвитку економіки України зросли вимоги до якості промислової продукції. Якісна продукція стає головним чинником задоволення потреб споживачів підчас придбання продукції й одним з факторів здатності конкурувати підприємствам. Однак розвиток експорту в Україні показав, наступне продукція вітчизняних підприємств бажає бути більш конкурентоспроможною на світовому ринку, саме за якістю. Для рішення задачі з підвищення якості ще на етапі виробництва фахівці повинні добре володіти способами і методами вимірювання, забезпечення єдності, що складає завдання такої науки, як метрологія. Метрологія ділиться на три розділи – теоретичну, прикладну і законодавчу метрологію. До напрямків метрології, що забезпечують якість промислової продукції, відносяться:

- 1) розробка теорії вимірів;
- 2) розробка методик вимірювання, методів установалення точності й вірності вимірювання;
- 3) забезпечення загальної цілісності вимірювання;
- 4) визначення основних одиниць фізичних величин.

При підготовці інженерів вивчення основ метрології, особливостей здійснення вимірювань у галузях, відповідних спеціальності, є важливе.

У конспекті лекцій, що створений для допомоги студентів перших, других курсів при вивченні основ метрології, здійснено узагальнення результатів наукових досліджень, а також практичний досвід у дані області за останні роки, в Україні та за кордоном.

Розглянуті історичні етапи розвитку та еволюція метрології, представлено та викладено основні поняття метрології, сучасні види і методи фізичних вимірювань. Особлива увага в роботі приділена міжнародним та вітчизняним метрологічним організаціям, а також державній метрологічній службі України.

Лекції добре узгоджені та відповідають програмі дисципліни «Метрологія» навчальних планів спеціальностей «152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Лекція 1.

Тема 1. Поняття та предмет метрології

План

- 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.

Всю історію людства, людям доводиться мати справу з різного роду вимірюваннями: при спорудженні житла, будівництві доріг, визначення площ, вимірювання виробленої продукції, обміну цих продуктів, вантажоперевезенні, переміщення на невідомих територіях лісах, степах, морях тощо.

В давні часи частини людського тіла використовувались в якості мір довжини, які стали основою одиниць вимірювань. У Київській Русі поширеними мірами довжини були сажень (відстань від ступні лівої ноги до долоні правої руки), який становив - 2,154 м, лікоть - 0,5385 м, ступня - 0,359, два пальці (цаль) – 22,4 мм та ін.

В Англії в XVII ст прийнята одиниця міри довжини фут (стопа), що дорівнює 30,4 - 30,5 см. Англія в ті часи була колоніальною державою, впливала на формування інші країни Європи, Америки, Азії, а отже одиниці виміру, як фут, фунт, ярд, миля, були запозичені багатьма країнами й колоніями, однак із своїми місцевими коефіцієнтами.

Тому у XVII ст. лише в Європі використовується 100 різних футів, понад 120 фунтів і 46 миль, і сьогодні милі в багатьох країнах мають різні значення.

Значна кількість одиниць вимірювання в кінці XVIII ст. змушувала європейські держави прийти до єдиної системи мір. Таке рішення прийнято у другій половині XIX ст. Різні країни приймають їх у різний час. За основну взята французька десятинна система (метр, кілограм, літр), яка розроблена в кінці XVIII ст. в Паризькій академії наук.

Поступово людство відточувало мистецтво рахунку, фіксування і запис чисел, передаючи знання наступним поколінням. Так з'явилися арифметика, геометрія, алгебра та стали складовими математики.

Лічба й число. Як виникли числа й рахунки? Як сформувалися позначення, щоб мати змогу фіксувати всі вищезгадані виміри. Як людство оволоділо мистецтвом рахунку, удосконаливши систему числення до сьогоднішнього рівня, як дана система розвивалась на етнічних українських землях.

Перші люди на Землі знали лише два числа – один і два, я і ти, представники жіночої і чоловічої статі.

Третє значення числа «багато», зароджується щось окреме, яке додалося до «один», «два» - стає третім.

В Полі зору є руки з певною кількістю пальців, так бере свій початок «п'ять», а потім – «десять».

Пальці рук стають першою лічильною рахівницею. У мовах багатьох народів часто назви цифр першого десятка точно збігаються з назвами пальців рук. Сьогодні теж в деяких народів збереглися сліди таких рахунків. У сучасній італійській мові «ледіта» означає до десяти числа, і пальці. Відомі вирази «порахувати на пальцях» також «просто як два пальці» та інші, це означає, що в наших пращурів перші рахунки були пов'язаний із пальцями.

Від усної лічби люди поступово перейшли до позначання чисел.

Як зображали числа різні народи, які користувалися ієрогліфами?

У доісторичних єгиптян знаків, що означають цифри, не було. Були слова, які означали «один», «два» «три».., «п'ять» і т. д. Ці слова зображувалися відповідними ієрогліфами. Із зростанням рахунку відповідно збільшувалася кількість слів, значить, і кількість ієрогліфів. Виникла потреба в уніфіковані ієрогліфів.

Вавилонська система чисел

В II тис. до н. е. в Месопотамію прийшли два народи – акадяни й сумерійці, які вже мали свої грошові й вагові одиниці. Ці племена об'єдналися в одну державу – Вавилон. Одиницею ваги сумерійців була «ліна» (вага), що в наших значеннях становить 0,5 кг. Грошовою одиницею була міна срібла. В акадян «шекель», був одиницею ваги. Він був у 60 разів менший від сумерійської міни. Після об'єднання цих двох народів в одну державу, почалося використання обидвох одиниць ваги й грошей. У грошовому це 1 міна рівна 60 шекелям. Число 60 стало звичним у господарських розрахунках. Економіка й торгівля у Вавилонській державі розвивалися, то потрібні більші ваги,

а також грошові еквіваленти. Ним стає нова одиниця талант. Шістдесятизначний поділ уже закріпився, талант вважається рівний 60 мінам або 3 600 шекелям. Талант стає як грошовою так і срібною одиницею.

Вавилонська система чисел чинила значний вплив на грецьку, індійську, й китайську системи числення та математику. В цей час індійці для спрощення великих чисел почали використовувати знак «нуль», який не становив жодної кількості значень.

Латинська нумерація

На циферблатах годинників, для позначення глав книг, століть до сьогодні зустрічається римська нумерація. Вона походить від ієрогліфічних позначень якими користувалися стародавні латиняни, в яких використовувалася десяткова лічильна система.

Ієрогліф, що означає одиницю, це один палець, п'ятірку, це п'ять пальців, у яких великий палець напрямлений в сторону, а з другого боку – чотири, які також позначені тільки однією рисою для спрощення позначення. Дві п'ятірки, це десять, V+V, але латиняни поміщають їх вертикально, сполучивши гострими кінцями.

Староруська нумерація

Для нумерації цифр давні греки використовували букви алфавіту. Дане позначення запозичили слов'яни. А з XIV століття на наших землях розпочався перехід до арабської системи числення.

Народна математика

У щоденному житті людині доводилося проводити обчислення: площі територій, кількість урожаю, розрахунки при будівництві житла, кількість часу, вік тощо. В основі народного рахунку були вимоги практичної діяльності людини. Також рівень математичних знань людей не був однаковим протягом століть, а постійно зростав. Цьому сприяв економічний ріст, обмін між містом і селом, становлення міжнародних зав'язків. Окрім торгово-економічних відносин, були ще культурні, освітні взаємовпливи. Народна математика пов'язана з давньоукраїнською. Найбільшою математичною одиницею була копа, шістдесятизначна система рахунку, що запозичина із Месопотамії і Давньої Греції. Паралельно в той час існує місцева десяткова система числення, в основі рахунку теж закладена кількість пальців рук. Для запам'ятовування суми рахунку використовуються камінці, горошини та інше. У старовинні

часи не існувало множення й ділення. Його заміняли багаторазовим додаванням і відніманням.

Наші предки володіли потрібними геометричними знаннями. Під час будівництва для визначення прямого кута використовують «єгипетський трикутник».

Сакральні числа

Крім того, окремі числа сприймаються як сакральні, використовувались у ворожінні. У священними й «добрими» числами були 3, 7, 9, 12, «поганими» – 6, 13. Число три означало здійснювати певну дію аж за третім разом. Число сім використовували для різних магичних дійств, ворожінь.

Міри маси, довжини, площі й об'єму

Перша вага знайдена археологами в Месопотамії. Це приблизно V тисячоліттям до н. е. Будова ваги, це – пряме коромисло, яке підвішене в центрі до стійки. На краях коромисла закріплені дві чаші (для гирі й вантажу), тобто це всім нам знайомі шайкові терези.

Отже, месопотамські міри, стали міжнародними в історії Стародавнього Сходу. Також їх лічба ґрунтувалася на числі 60, шістдесятковій системі числення.

В Україні метрична система ведена в 1918 р. декретом «Про введення Міжнародної метричної системи мір і ваг». Розвиток метрології в Україні пов'язане зі створенням і розвитком системи й органів служб стандартизації.

Різноманітні відкриття в природничих науках сприяло появі нових засобів вимірів, це у свою чергу, стимулювало розвиток наукових досліджень.

1.2. Метрологія та її місце у науково-технічному прогресі

Метрологія це наука про різні міри та співвідношення між ними. Слово метрологія походить від двох грецьких слів: «метро» – міра і «логос» – вчення, що переводиться як «вчення про міри».

Виміри є одним з основних шляхів пізнання природи, за ними ми отримуємо кількісну характеристику оточуючого світу, допомагають зрозуміти діючі в природі закономірності. Д.І. Менделєєв, підкреслюючи важливість вимірювання для науки, писав, що «наука починається відколи починають вимірювати точна наука неможлива без міри».

Виміри мають велику роль в сучасному суспільстві. Існування наука і промисловості не можливе без вимірювання. Результати яких використовуються для забезпечення якості і технічного рівня продукції, що виробляється, безпечної і безаварійної роботи промисловості та транспорту, для різного роду медичних, екологічних діагнозів та багато іншого. Немає жодної сфери діяльності людини, де б не використовувалися результати контролю, вимірювання та випробувань. За оцінками експертів 15% затрачено громадської праці витрачається на здійснення вимірювання.

Тільки шляхом вимірювання необхідних величин, параметрів і показників можна отримувється достовірна початкова інформація, що є основою будь-якої форми управління, прогнозування, планування, аналізу, контролю або регулювання. Правильність рішень може бути забезпечена виключно при високій і гарантованій точності результатів вимірювання.

З 1 січня 2001р. в Україні замість ГОСТ 16263-70, введені рекомендації РМГ 29-99, що містять основні визначення та терміни в області метрології, які є узгоджені з міжнародними стандартами ISO, вони здійснюють регламентування використання одиниць вимірювання. Згідно РМГ 29-99 і ДСТУ 2681-94: «Метрологія – наука про виміри, методи і засоби забезпечення їх єдності і способи досягнення необхідної точності».

Предметом метрології є витяг (висновок) шляхом вимірювання кількісної інформації, властивості досліджуваних об'єктів і процесів із заданою точністю та достовірністю.

Основне завданням метрології є розробка методів та засобів вимірювання, забезпечення єдності вимірювання, при дотриманні двох умов: результати вимірювань повинні бути в узаконених одиницях, також і встановлення допустимих похибок вимірювання і меж, за які не повинні виходити, при заданій імовірності. Похибки вимірювання вказуються в паспортних, технічних умовах (ТУ) та інших нормативних документах, що надається засобу вимірювання.

Об'єктом метрології є одиниці фізичних величин, методи і засоби вимірювання, еталони.

Метрологія ґрунтується на трьох основах, першою з яких є філософія. Філософський сенс вимірювання полягає в тому, що вони є одним із основних шляхів пізнання світу, пов'язані із спостереженням і експериментом. Виміри, спостереження із експериментом

утворюють емпіричну основу пізнання. Вони важливим елементом віддзеркалення об'єктивно існуючих природних співвідношень між реальними об'єктами.

Становившись як точна наука, метрологія базується на відповідному математичному апараті, це друга основа.

Третя основа, на якій стоїть метрологія, являються прикладні науки: техніка, відповідні галузі фізики, соціологія, психологія і т. п.

Для забезпечення науково та технічного прогресу метрологія повинна випереджати у розвитку інші галузі науки, для кожної з них точні виміри є засадничими.

1.3. Розділи метрології

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

Теоретична метрологія висвітлює загальні питання теорії вимірювання, займається фундаментальними дослідженнями по метрології, знаходиться на стику таких наук, як фізика, електротехніка, математика, теорія імовірності і математична статистика тощо.

Прикладна метрологія присвячена вивченню питань практичного застосування в різних областях діяльності результатів теоретичних досліджень у межах метрології для вирішення вимірювальних завдань. Вивчення практично-прикладної метрології дозволить володіти порядком планування, організації і виконання основних метрологічних робіт, навчитися практично їх виконувати з оформленням відповідної звітності, мати уявлення про шляхи розвитку прикладної метрології, а також перспективи підвищення ефективності промислового комплексу країни за рахунок вдосконалення метрологічної бази.

Промислова метрологія займається вимірами та дослідженнями на виробництві і контролем якості. Охоплює методи перевірки, контроль процесу вимірювання, періодичність перевірок, і контроль засобів вимірювання в промисловості за для забезпечення вимог у відповідних областях використання.

Законодавча метрологія це правова основа забезпечення єдності вимірювання, включає розробку метрологічними відомствами норм права різного рівня, що регламентують метрологічні закони, вимоги і норми, служби контролю і нагляду за виконанням. В Україні

створена своя національна метрологічна система. Це вимагало перегляду і прийняття нових норм, документів з питань метрологічної діяльності.

Контрольні питання

1. Що таке метрологія.
2. У чому значимість метрології?
3. Об'єкти метрології.
4. Місце метрології серед інших наук?
5. Перерахуйте основні розділи метрології?
6. Завдання теоретичної метрології?
7. Чим займається практична метрологія?
8. Що є предмет законодавчої метрології?

Лекція 2.

Тема 2. Фізичні величини та їх одиниці вимірювання. Система величин та системи одиниць. Міжнародна система одиниць (сі).

План

- 2.1. Поняття фізичної величини. Види величин.
- 2.2. Одиниці фізичних величин. Принципи побудови систем одиниць та види одиниць.
- 2.3. Розмірності фізичних величин.
- 2.4. Міжнародна система одиниць СІ.
- 2.5. Еталони одиниць фізичних величин.
- 2.6. Планування та організація вимірювань.

2.1. Поняття фізичної величини, види величин.

Об'єкти матеріального світу - фізичні тіла, системи та їх стани, процеси, які в них відбуваються, мають різноманітні властивості. Однакові властивості можуть відрізнятися кількісним вмістом, який називається розміром. Звідси ми отримаємо визначення поняття **фізичної величини (ФВ)**.

Фізична величина - це кожна означена якісна властивість фізичних об'єктів, яка може мати певний розмір.

Приклади ФВ: маса, довжина, швидкість, прискорення, сила електричного струму, напруга, електричний опір, магнітна індукція, світловий та магнітний потоки, тощо.

За характером зв'язку розмірів ФВ з об'єктами, поділяють два види: екстенсивні та інтенсивні величини.

Екстенсивні ФВ (довжина, маса, площа, енергія тощо) при поділі об'єкта на частини змінюють власні розміри є адитивними величинами, до них застосовується операції додавання.

Інтенсивна величина є завжди характеризує стану фізичного об'єкта і при його поділі на окремі випадки може зберігати власний розмір та об'єм, наприклад температура, густина, питомий електричний опір гомогенного фізичного тіла. Інтенсивні ФВ неадитивні (невідповідні), наприклад, наявна густина суміші не дорівнює сумі досліджуваних густин її компонентів.

За характером прояву різних розмірів у явищах, що спостерігаються при проведенні дослідів, ФВ поділяються на енергетичні (активні) - здатні самі проявляти свої розміри, наприклад, напруга і параметричні – пасивні, це електричний опір, індуктивність, ємність, розміри яких проявляються в експерименті при дії на об'єкт відповідної активної величини.

Конкретні ФВ, об'єкти, яким вони притаманні, існують у просторі та часі, є у причинно-наслідкових зв'язках з іншими величинами згідно законів фізики. Тому розміри ФВ є функціями часу, координат простору, та інших величин.

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

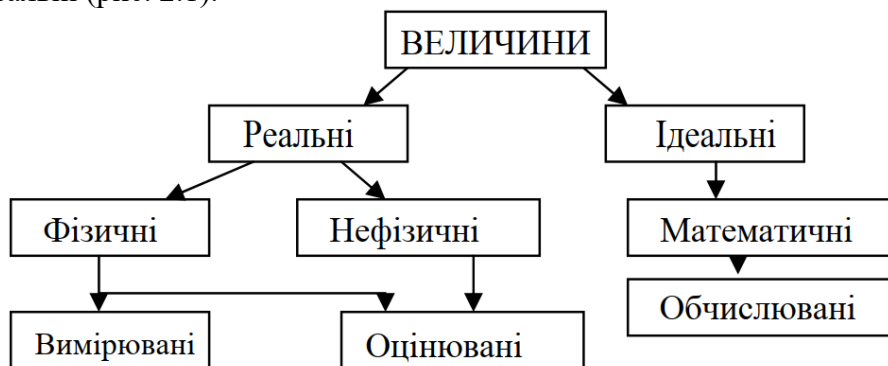


Рис. 2.1 Класифікація величин

Розмір є атрибутом, характеристикою кожної ФВ, розрізняють скалярні та векторні величини. Скалярні ФВ діляться на неполярні, які мають тільки розмір (об'єм, маса) і полярні, які мають знак (потік, заряд). Векторні ФВ (переміщення, сила, швидкість з розміром мають

напрям і виражають зміни у просторі розмірів інших величин (напруженість, градієнт температури, електричного поля) або просторово-часові зміни розмірів (швидкість, прискорення), як результат описуються похідними скалярних величин за координатами простору, простору і часу, а також похідними векторних величин по часі. За означенням, якщо розміри скалярних а також розміри і напрями векторних величин не змінюються, то дані величини сталі, а якщо змінюються, то змінні. Сталі в часі величини можуть бути змінною в просторі. Поняття сталості фізичних величин відносно, оскільки рух абсолютний, а спокій відносний. До прикладу, довжина твердого тіла не є абсолютно стала, матерія перебуває у безперервному русі, внаслідок руху молекул на поверхні тіла його розміри змінні.

Розміри ФВ можуть змінюватися безперервно чи стрибкоподібно. Величина, розміри або і напрями якої при їх зміні на визначеному, скінченому проміжку часу чи простору можуть утворити незліченну множину (континуум), називається континуальною, якщо дана множина зліченна, то - дискретною. Наявність континуальних розмірів, як і їх сталість, є відносною через дискретність матеріалів та енергії (дискретність струму у фізиці визначається зарядом електрона, дискретність енергії величиною її кванта). Проте, якщо зміни ФВ зумовлені дискретністю, є незначними в порівнянні з їх розмірами, то дані ФВ сприймаються як континуальні.

ФВ, розмір якої є функцією часу, за визначенням є процесом, послідовна в часі зміна розмірів фізичних величин, а стала величина буде граничним випадком процесу. Векторні величини, розміри чи напрями якої будуть виражені функціями часу, буде векторним процесом. Розмір ФВ у певний момент часу називається її миттєвим розміром. Фізична величина, розміри якої є заданою функцією дискретних моментів часу є дискретною послідовністю.

2.2. Одиниці фізичних величин. Побудови систем одиниць, види одиниць.

Одиниця фізичної величини це величина певного розміру, при якому її за визначенням належить істинне числове значення.

У природі фізичні величини зв'язані між собою виразами, які представляють одні величини через інші їх називаються рівняннями зв'язку даних величин. Сукупність зв'язаних залежностями величин, серед яких одні є незалежні, а інші виражаються через них, називаються системою величин. Незалежні величини даної системи називаються основними, а всі інші- похідними.

Одиниці основних величини мають назви - основні, похідної - похідною одиницею. Основних і похідних одиниць певної системи величин становить систему одиниць.

При побудові систем одиниць загальний вибір основних величин, а також розмірів даних одиниць є теоретично довільний, але він одночасно є результатом певних практичних задач:

- число основних величин має мати мінімальне значення;
- за основні вибираються величини, одиниці які легко можуть бути відтворені з високою точністю;
- розміри основних одиниць повинні бути такі, щоб на практиці використовувані значення всіх величин системи не виражалися надто малими, чи надто великими числами;
- похідні одиниці повинні бути когерентні, входити в рівняння, що пов'язують їх з іншими одиницями системи.
- Одиниці, які не належать до основних, а також похідних одиниць цієї системи, називаються додатковими: це радіан- *rad*- рад істерадіан- *Sr*, *ср*.

Одиниці, які не входять ні в одну із систем, мають назву позасистемними одиницями: літр- *l*, л; тонна- *t*, т; градус- ° тощо.

Позасистемними одиницями є також відносні одиниці: відсоток і проміле.

Позасистемні одиниці, можуть визначатися із співвідношень двох, чи більше значень величини, називаються логарифмічними: бел - *B*, Б; октава- окт; децибел- *dB*, дБ; декада- дек; фон- *phon*, фон.

Одиниця, яка в ціле число разів буде більша за системну чи позасистемну, називається кратною одиницею.

Наприклад, $1\text{ км} = 1000\text{ м}$, $1\text{ МВт} = 10^6\text{ Вт}$, $1\text{ хв} = 60\text{ с}$.

2.3. Розмірності фізичних величин.

Розмірність основної величини, її позначення *L*, *M*, *T*, *I*, ..., а розмірність похідної величини позначається як вираз, що описує її

зв'язок з основними величинами і становить добуток розмірностей основних величин, що є піднесені до відповідного степеня.

Величина, в наявні розмірності якої один показник відмінний від нуля, називається розмірною величиною, а величина, в розмірності всі показники рівні нулю є безрозмірною величиною. Величина, що безрозмірна для однієї системи, може бути розмірною в іншій. Також у цій системі величин розмірність кожної величини є однозначна, різні за природою величини, що мають однакову розмірність, до прикладу, різні види енергії та робота, магніторухливі сила, різниця магнітних потенціалів. Відрізняють фізичну однорідність і розмірну однорідність величин, фізично однорідні величини дозволяють порівнювати між собою, якщо вони екстенсивні, а також можна застосовувати до них операцію додавання.

Операції над розмірностями виконуються за правилами алгебри. Наприклад, якщо величина $z = f(XY)$, причому

$$\dim X = L^\alpha \cdot M^\beta \cdot T^\gamma \quad \text{і} \quad \dim Y = L^{\alpha_1} \cdot M^{\beta_1} \cdot T^{\gamma_1} \quad \text{то}$$

$$\dim Z = f(L^\alpha \cdot M^\beta \cdot T^\gamma; L^{\alpha_1} \cdot M^{\beta_1} \cdot T^{\gamma_1}).$$

Зокрема, якщо $Z = \left[\frac{X}{Y}\right]^n$, то $Z = L^{(\alpha-\alpha_1)n} \cdot M^{(\beta-\beta_1)n} \cdot T^{(\gamma-\gamma_1)n}$.

Розмірності фізичних величин є також розмірностями їх одиниць. Рівняння зв'язку між величинами можуть використовуватися для отримання когерентних похідних одиниць. Якщо рівняння зв'язку має певний коефіцієнт, який не дорівнює 1, то у праву частину підставляють значення величини в одиницях даної когерентної системи, коли їх добуток з коефіцієнтом рівняння дорівнював 1.

Саме поняття розмірності дає можливість добре контролювати правильність математичних операцій що використовуються над величинами - на довільній стадії виконання операцій для лівої і правої частини рівності мають мати значення однакової розмірності. Методом різних перевірок розмірностей контролюють правильність використаних математичних виразів, їх відповідність базовій фізичній суті.

2.4. Міжнародна система одиниць СІ.

У 1960 р. під час XI Генеральної конференція з мір і ваги (ГКМВ) прийняла Міжнародну інтернаціональну систему одиниць (СІ) з основними одиницями - метр, секунда, кілограм, ампер, кельвін,

кандела і з додатковими – радіан, стерадіан, а в 1971р. XIV ГКМВ була затверджена сьому основну одиницю - моль.

Одиниці СІ придатні для застосування у всіх областях науки та в різних галузях народного господарства. Офіційно прийняті всіма країнами, але поряд з ними ще дозволено використовувати ряд традиційних одиниць. Дія державного стандарту ДСТУ 3651.0-97, із обов'язковим застосування одиниць СІ, але поряд з ними в навчальному процесі дозволяється застосовувати перераховані в стандарті позасистемні одиниці, частинні та кратні від них.

Використовувана система одиниць СІ практична, раціоналізована. У системі СІ, на відміну від нераціоналізованої системи СГС, магнітна проникність μ_0 вільного простору є розмірною величиною і називається магнітною сталою.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \approx 12.57 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

подібно електрична стала:

$$\epsilon_0 = \left(\frac{10^7}{4\pi C^2} \right) \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

де $C = (299792.5 \pm 0.4) \text{ км/с} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ - швидкість поширення світла у вакуумі.

Міжнародна система одиниць має 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	ν, 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, магнітна 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	Г

Одиниці СІ позначаються літерами грецького та латинського алфавіту (міжнародні позначення) або українського алфавітів, а також спеціальними знаками (...°, ...', ..."). На застосованих засобах вимірювань повинні бути міжнародні позначення. У друкованих виданнях застосовується часто міжнародні, або українські позначення, різних видів, за винятком публікацій з основних фізичних величин.

У позначеннях одиниць, назви яких мають походження від прізвищ, перша буква має є велика, наприклад W, Вт, Wb, Вб; Ω, Ом. Позначення одиниць проставляються після числових значень величин в один рядок з ними, завжди друкуються прямим шрифтом з пробілом після останньої цифри без перенесення в наступний рядок тексту. Наприклад, 100 кВт, 80 %, 20 °С, або 20°, 30'.

Значення величин, також їх граничні відхилення беруть у дужки, після яких з пробілом проставляється різні позначення одиниці, наприклад (100,0 ± 0,1) В, чи окремо - після значення величини, а також після її граничного відхилення: 50 В ± 2 В.

Для різних фізичних величин встановлюється одна одиниця і система утворення кратних і частинних одиниць від неї як похідної,, за допомогою множників (табл. 2.2). Кратна одиниця ФВ в може бути в ціле число разів більше системної або позасистемної одиниці. Коли, частинна одиниця ФВ в ціле число разів менше системної чи позасистемної одиниці. Системна одиниця ФВ – одиниця, яка входить в прийняту систему одиниць. Усі наявні, похідні кратні та частинні одиниці в більшості випадків є системними.

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	V	10 ⁻¹	деци	д	d
10 ²¹	зета	ЗТ	Z	10 ⁻²	санті	с	c
10 ¹⁸	экса	Е (Э)	Е	10 ⁻³	милі	м	m

10^{15}	пета	П	P	10^{-6}	мікро	мк	μ
10^{12}	тера	T	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

Окрім одиниць ФВ, які входять в прийняті системи, існують ще позасистемні одиниці. Позасистемні одиниці – це одиниця ФВ, яка не входить в жодну з прийнятих систем одиниць. Позасистемні одиниці у відношенню з одиницями СІ розділяють на чотири види:

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

– допустима до застосування в окремих областях, наприклад, одиниця довжини в астрономії – парсек, світловий рік;

одиниця оптичної сили – діоптрія тощо;

– тимчасово допустимі для застосування нарівні з одиницями

СІ, наприклад, в навігації одиниця довжини – морська миля; у ювелірній галузі одиниця маси – карат тощо. Ці одиниці мають вилучатися із вживання відповідно до міжнародних угод;

– вилучені з вживання, до прикладу, одиниця потужності – кінська сила.

Позначення одиниць, які входять у добуток, треба відділяти крапкою на середній лінії. Н · м, кг · м²: крапку замінюється пробілом, якщо це не викликає непорозумінь.

При позначенні відношень одиниць знаком ділення може служити горизонтальна риска. Позначення відношень записують у

вигляді добутку позначень одиниць, які піднесених до степенів, але якщо хоча б одна із одиниць записана з від'ємним показником, то застосовувати косу чи горизонтальну риску не дозволяється.

2.5. Еталони одиниць фізичних величин.

Класифікація еталонів одиниць фізичних величин.

Відповідно до поділу фізичних величин відрізняють еталони одиниць основних та похідних величин, за точністю відтворення і призначенням розрізняють первинні і вторинні еталони (рис .2.1).

Первинні еталони відтворюють і зберігають одиниці та передають розміри з найвищою точністю, що є в даній галузі, їх різновидом є спеціальні еталони, які призначені для відтворення в умовах прямої передачі розміру від первинного еталона певної точності технічно нездійснена. Первинні і спеціальні еталони є вихідними на державному рівні затверджені законодавчо.



Рис. 2.1 Класифікація видів еталонів

Еталони країн називають національними, якщо вони належать до певної групи країн,- міжнародними. З метою забезпечення єдності

вимірювань у випадку міжнародного масштабу державні еталони різних країн періодично звіряють між собою з існуючими міжнародними еталонами, що зберігається в Міжнародному бюро мір і вагів (МБМВ) у Парижі.

За складністю різні еталони і точність відтворення ними розмірів одиниць не є однакові. Найбільш поширений еталон кілограма, в складі якого є прототип кілограма, це гиря із платиноіридієвого сплаву циліндричної форми діаметром і висотою 39 мм, а також еталонні рівноплечі терези на 1 кг з керованим дистанційним управлінням для передавання розмірів одиниць мас вторинним еталонам. Найточніші значення еталона секунди, який разом є еталоном одиниці частоти - герца. Цим самим

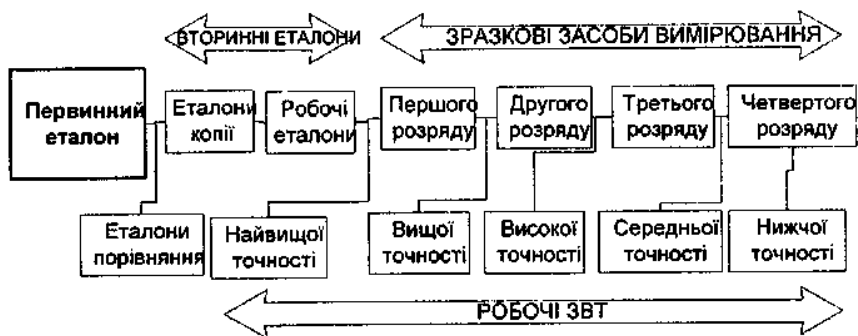


Рис. 2.1. Узагальнена схема передачі розмірів одиниць ФВ

забезпечується відтворення одиниць вимірювань з відносним середнім квадратичним відхиленням отриманих результату вимірювань, що не перевищує 1×10^{-13} при відносній систематичній похибці, що не перевищує 1×10^{-12} ; найнижчою є точність еталона кандели, для нього похибки не перевищують значень 2×10^{-3} і 6×10^{-3} . Сьогодні значна увага приділяється проблем створення еталонів, що базуються на використанні квантово-механічних явищ.

Поняття еталона. Зразкові та робочі засоби виміральної техніки.

Отримані результати вимірювань повинні виражатися в законно прийнятих одиницях і з потрібною точністю. За інших умов точність вимірювань визначається метрологічними характеристиками. Тому всі технічні засоби підлягають обов'язковій державній

перевірці. Перевірка засобів вимірювальної техніки полягає в офіційному ствердженні їх придатності для застосування на підставі результатів контролю їх характеристик, зокрема метрологічних.

Еталон одиниці - ЗВТ, що забезпечує відтворення і зберігання одиниці ФВ з метою передачі розміру тим ЗВТ, що є нижче за схемою перевірки, і є офіційно затверджений в установленому порядку як еталон.

Для прикладу розглянемо наступне, комплекс ЗВТ відтворення метра через швидкість поширення світла для вакууму, затверджений як державний еталон метра.

Засоби вимірювання, які використовуються для вимірювань у різних галузях господарства, але не використовуються для перевірки інших ЗВТ, називаються робочими ЗВТ.

Зразковими називаються ЗВТ, що служать для перевірки інших прикладів ЗВТ і офіційно затверджені як зразкові. Наприклад, зразковий вимірювальний перетворювач. До зразкових ЗВТ належать зразкові речовини та стандартні зразки.

Зразкова речовина, це зразкова міра у вигляді речовини з наперед відомими фізико-хімічними властивостями, які відтворюються при дотриманні певних умов приготування, що вказані в затвердженій специфікації. Для прикладу, чиста вода, чисті гази (водень, кисень), чисті метали (срібло, золото), сплави, неметали.

Стандартний зразок - міра що використовується для відтворення розмірів величин, які характеризують властивості або склад речовин і матеріалів. Це стандартний зразок складу певної руди для контролю визначання вмісту її компонентів, градування вимірювальної метрологічної апаратури; стандартний зразок властивостей феромагнітних та магнітних матеріалів; стандартний зразок легованої сталі, що використовується для контролю й перевірки правильності аналізу її складу і т.д.

Отже, стандартні зразки це міри, які здатні відтворювати властивості зразкових речовин.

Зразкові ЗВТ, також і робочі, повинні бути атестовані і перевірені за допомогою інших, точніших зразкових ЗВТ. Таким чином здійснюється передача розмірів одиниць фізичної величини від еталона до зразкових і робочих ЗВТ.

Наявні робочі ЗВТ не можна застосовувати для перевірки інших ЗВТ, якщо вони точніші, ніж наявні зразкові засоби, оскільки

не є затверджені офіційно як зразкові. Зразкові ЗВТ не дозволяється використовувати як робочі для виконання практичних дослідних вимірювань для найсприятливіших умов їх експлуатації. Порухення базових правил може призвести до непередбачених негативних економічного характеру наслідків і до загрози здоров'ю чи навіть життю.

Види вимірювань. Розрізняють два види вимірювань: прямі та непрямі. Прямі вимірювання - це вимірювання величини, значення якої знаходять безпосередньо.

Непрямі вимірювання - це вимірювання, де значення однієї чи декількох вимірюваних величин знаходиться після обчислення з відомої залежності.

Непрямі вимірювання можуть бувають опосередкованими, сукупними або сумісними.

При *опосередкованому вимірюванні* значення однієї досліджуваної величини визначають за результатами проведених прямих вимірювань інших величин, з якими вимірювана величина зв'язана явною функціональною залежністю. Значення електричного опору $R=U/I$ знаходять за результатами вимірювань напруги U вольтметром та амперметром сили струму I . Опосередковані вимірювання виконують, коли значення величин неможливо або складно прямо виміряти, або ж коли опосередковані вимірювання забезпечать потрібну вищу точність, ніж прямі.

Сукупні непрямі вимірювання, в яких значення декількох одночасно вимірюваних однорідних величин можна отримати розв'язанням рівнянь, що пов'язують різні сполучення величин, що вимірюються прямо або опосередковано.

Сумісними називають непрямі вимірювання, для яких значення декількох одночасно вимірюваних величин отримують розв'язанням рівнянь, що пов'язані їх з іншими величинами, які виміряні прямо або опосередковано. Наприклад, опір терморезистора $R_t=R_0(1+\alpha \cdot t)$ де R_0 - опір резистора при температурі 0°C , α - температурний коефіцієнт опору. Значення R_0 та α не можна знайти прямими чи непрямими вимірюваннями, тоді вимірюють опір R_{t1} при температурі t_1 та R_{t2} і ще при температурі t_2 і складають систему рівнянь

$$R_{t1} = R_0(1 + \alpha \cdot t_1)$$

$$R_{t2} = R_0(1 + \alpha \cdot t_2)$$

розв'язуючи, знаходять

$$R_0 = \frac{R_{t2} \cdot t_1 - R_{t1} \cdot t_2}{t_1 - t_2} \text{ Ом}$$

$$\alpha = \frac{R_{t1} - R_{t2}}{R_{t2} \cdot t_1 - R_{t1} \cdot t_2} \text{ } 1/\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Сумісні вимірювання використовуються для визначення залежності між величинами.

Методи вимірювань. Метод вимірювань це певна сукупність способів використання засобів вимірювальної техніки та принципу вимірювань для створення вимірювальної інформації. Принципом вимірювання називають сукупність явищ, на яких базується вимірювання, наприклад, вимірювання температури з використанням терморпарі.

Послідовність вимірювальних заходів, що забезпечують вимірювання згідно з обраним методом, є процедурою вимірювань. Сукупність процедур і правил, необхідне виконання яких забезпечує отримання результатів з потрібною точністю, називають основною методикою виконання вимірювання.

До методів безпосереднього оцінювання відносять прямі вимірювання, за винятком методів, що базуються на безпосередньому порівнянні розміру вимірюваної величини з використовуваним розміром величини, що відтворюється мірою.

Методи, засновані на одночасному порівнянні, мають загальну назву методів порівняння. До них належать згідно з ДСТУ2681-94: метод зіставлення, метод зрівноваження з регульованою мірою, метод збігу та диференційний метод.

Суть методу зіставлення базується на прямому вимірюванні з одноразовим порівнянням вимірюваної величини з вихідними величинами багатозначної нерегульованої міри, це вимірювання довжини лінійкою з поділками, вимірювання інтервалу часу.

Метод збігу, або метод ноніуса - це метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням отриманих вихідних величин двох багатозначних нерегульованих мір, з різними за ступенями, нульовими позначками яких зсунуті між собою на вимірювану величину. Даним методом вимірювань може бути вимірювання лінійного розміру за допомогою штангенциркуля з ноніусом (рис. 2.2). Основна шкала градується в міліметрах, а шкала

ноніуса має 10 поділок по 1.8 мм. Порядковий номер поділки ноніуса, що збігається з будь-якими поділкою основної шкали, це число десятих часток міліметра.

Метод подвійного збігу, чи метод коінциденції - це метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням двох фізичних величин: вимірюваної та відтворюваної багатозначною мірою (рис. 2.3).

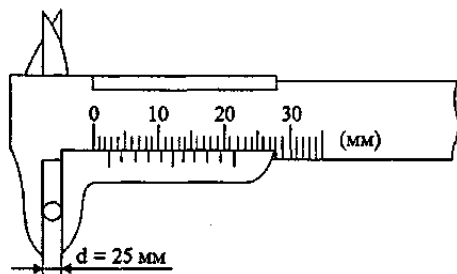


Рис. 2.2 До вимірювання за методом збігу (ноніуса)

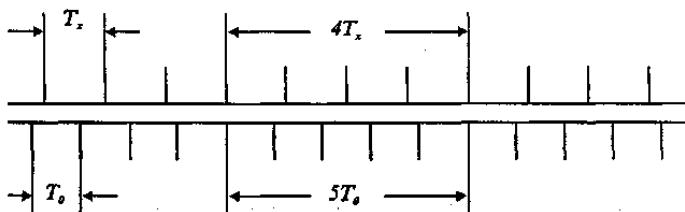


Рис. 2.3 До вимірювань за методом подвійного збігу

Метод зрівноваження з регульованою мірою, нульовий метод – це метод прямого вимірювання з порівнянням вимірюваної величини, а також величини, що відтворюється регульованою мірою до повного зрівноваження.

Суть диференційного методу полягає у вимірюванні, для яких невелика різниця між вимірюваною величиною та вихідною.

Цікавим з по досягненні високої точності вимірювань є метод заміщення. Даний метод непрямого вимірювання з багаторазовим порівнянням аж до повного зрівноваження вихідних величин при почерговій дії на його вході вимірюваної величини. Суть цього методу полягає у порівнянні вимірюваної величини з мірою заміщенням вимірюваної величини відомою величиною. У цьому

методі береться до уваги запам'ятовування ефекту дії на засіб вимірювань вимірюваної величини.

Наочним прикладом використання методу заміщення є зважування маси m_x та здійснення її урівноваження масою m_0 до одержання певного показу відлікового пристрою з наступною заміною маси m_x масою m_N , значення якої регулюється до досягнення попереднього показу (рис. 2.4). Похибка зважування у цьому випадку визначається похибкою регульованої міри, а похибка від недосконалості виключається.

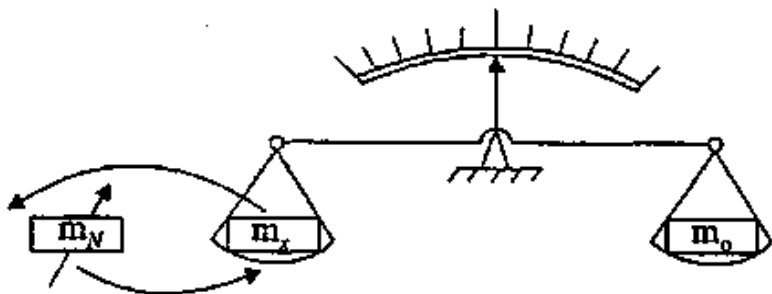


Рис. 2.4 До вимірювань за методом заміщення

2.6. Планування та організація вимірювань.

Вимірювання фізичних величин є основою наукового експерименту та масових вимірювань в усіх галузях господарства. Досліджувані об'єкти та процеси є багатограними. Досліджуючи технологічний процес, доводиться вимірювати фізичні величини та параметри технологічних процесів. Вимірювання має певні стадії організації та виконання:

- формування мети;
- складання програми експерименту, матеріальна та методична підготовка експерименту;
- проведення самого експерименту;
- опрацювання результатів вимірювань, оцінка похибки;
- аналіз результатів та формулювання оцінки проведених вимірювань.

Загалом вимірювання фізичних величин це багаступінчастий складний процес, що поєднує процедуру вимірювань з її типовими

вимірювальними операціями, а також ряд підготовчих та заключних процедур.

Отже, процес вимірювання прийнято розділяти на три етапи:

- підготовка та планування проведення вимірювань;
- виконання базових вимірювань;
- аналіз отриманих даних.

Основними етапами підготовки та планування вимірювань, є:

- вибір моделі досліджуваного об'єкта;
- вимірювані параметри моделі;
- мета вимірювання, що забезпечує встановлення потрібної точності вимірювань;
- залежності між величинами;
- умови вимірювань та фактори;
- допустимі похибки вимірювань, для непрямих вимірюваннях допустимі похибки вимірювань кожної вимірювальної величини;
- методи вимірювань окремих величин;
- необхідні засоби використовуваної вимірювальної техніки, їх метрологічні характеристики;
- способи корекції похибок вимірювань;
- форма подання результатів;
- необхідні алгоритми опрацювання експериментальних даних та їх достовірності;
- необхідні затрати для здійснення поставленого завдання;
- ефективність вимірювань.

Досліджуваний об'єкт та мета досліджень в основному задаються. Однак у цьому випадку звичайно уточнюють мету та завдання експерименту, проаналізувавши, як будуть використовуватись результати вимірювань для оцінки об'єкта, ефективності його функціонування. Важливим етапом вимірювань є визначення характеру, можливих значень величин з урахуванням властивостей об'єкта. Оцінюються границі значень вимірюваних величин, взаємні зв'язки, частотний спектр, тощо.

Для оцінки необхідної точності вимірювань враховують мету вимірювань. Для багатьох вимірювань вимоги до точності диктуються економічними міркуваннями. Вимоги до точності мають бути обґрунтованими і їх не можна завищувати, адже чим вища точність вимірювань, тим більше потрібно ресурсів при інших однакових

умовах та часу для виконання експерименту. Чим більш точніші та чутливіші прилади, тим вони будуть складніші.

Означення основних термінів у плануванні вимірювального експерименту дає ГОСТ 24026–80. Згідно цього план експерименту - це сукупність даних, що визначають послідовність виконання дослідів, та їх кількість. Метою планування є якісне підвищення ефективності одержання інформації про об'єкт щодо об'єкту дослідження, що потрібно для побудови моделі, яка виражає залежність вихідних величин від вихідних факторів, чи для оцінювання параметрів вимірювальної, якщо вона заздалегідь вибрана. Вибір визначається не тільки властивостями об'єкта її призначенням, вимогами адекватності, простотою та компактністю.

Вимірювальні експерименти є на пасивні та активні. Планування пасивних експериментів це оптимізація збирання та опрацювання інформації про об'єкт дослідження без впливу дослідника. В експерименті дослідник задає рівні фактори. В однофакторному активному експерименті часто змінюють рівні одного фактора при фіксованих рівнях інших факторів. Для проведення багатофакторного експеримента змінюють рівні декількох факторів при одній комбінації інших факторів.

Лекція 3

Тема 3. ВИДИ ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

План

- 3.1. Види вимірювання
- 3.2. Методи і методика вимірювання
- 3.3. Різновид умов вимірювання
- 3.4. Характеристики показників якості вимірювання
- 3.5. Можливі області вимірювання

Вимір ФВ – складний процес, являє собою цілий ряд структурних елементів: вимірювальне завдання, об'єкт вимірювання, принцип і метод вимірювання, умови вимірювання, засіб вимірювальної техніки, , результат і похибка вимірювання.

Згідно із стандартом ДСТУ 2681-94 під виміром розуміють знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом використовуючи спеціальні технічні засоби.

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

1 *За способом отримання результатів:*

– *прямі виміри* – це виміри коли шукане значення величини знаходять безпосередньо за показниками вимірювання. Наприклад, вимір маси на вагах.

– *непрямі виміри* – це виміри, де шукане значення величини знаходять на підставі раніше отриманої залежності між цією величиною і величинами, значення яких є частиною прямих вимірів.

Площу прямокутника можна визначити за результатами вимірювання, щільність твердого тіла

– за результатами вимірювання маси і об'єму.

– *сукупні виміри* визначають розв'язком системи рівнянь, що отримуються при прямих вимірах поєднання величин.

Наприклад, для визначення маси окремих гирь A_1 , A_2 , A_3 , але відсутні засоби, які дають б можливість виміряти безпосередньо величини, є засоби, якими можна визначити суми двох з вказаних величин. Тоді, вимірюючи різні величини, отримаємо $A_1 + A_2 = a$, $A_1 + A_3 = b$, $A_2 + A_3 = z$, де a , b , z – результати вимірювання відповід них пар розмірів величин. Розв'язавши систему рівнянь, визначимо величини A_1 , A_2 , A_3 ; – *спільні виміри* – це виміри двох або декількох неоднорідних величин знаходження потрібної залежності між ними. Наприклад, ряд прямих вимірювання електричного опору провідника, температури для встановлення залежності опору і температури. Вимір струму для перевірки закону Ома для ділянки кола.

2. *По характеру залежності вимірюваної величини від часу:* Приймається рішення чи треба при конкретних вимірах також враховувати швидкість зміни вимірюваної величини.

– *статичний вимір* – досліджувана фізична величина приймається відповідно до області конкретного вимірювального завдання за незмінну упродовж певного часу вимірювання. Наприклад, вимір діаметру дроту при наявних нормальних температурах.

– *динамічний вимір* – це вимір, зміни розміру ФВ в часі.

Наприклад, дослідження змінної напруги електричного струму, виміри значень швидкоплинних процесів: вібрацій, імпульсів. – статистичні виміри – пов'язані з точним визначенням характеристик

випадкових процесів, наприклад, для контролю технологічних та виробничих процесів.

3. За способом вираження результатів вимірювання:

- *абсолютні виміри* – базуються на прямих вимірах декількох основних величин чи використанні значень фізичних констант.

- *відносний вимір* – це встановлення відношення досліджуваної вимірюваної величини до однойменної, такої, що може прийматися за початкову.

4. По кількості наявних вимірювань в експерименті:

- *одноразовий вимір* – це вимір, виконуваний один раз. Недоліком є велика похибка. Рекомендовано виробляти неменше трьох вимірів. Результат – взяти середнє арифметичне значення.

- *багаторазові виміри* – це виміри одного розміру ФВ, що йдуть послідовно в однакових умовах. Відомо, що при вимірюваннях більше чотирьох, їх результати обробляються відповідно до вимог математичної статистики.

5. За характеристикою точності вимірювання:

- *рівноточні* – виміри ФВ, виконані однаковими за точністю використаними засобами вимірювальної техніки (ЗВТ) і в однакових умовах;

- *нерівноточні* – виміри ФВ, виконані різними ЗВТ, чи при різних умовах. Різні також методики обробки результатів рівноточних і нерівноточних вимірювань.

6. *Залежно від метрологічного призначення*: – технічні – виміри здійснюються ЗВТ; – метрологічні – виміри виконуються використовуючи еталони з метою відтворення одиниць ФВ для передачі розміру для ЗВТ.

3.2. Методи і методика вимірювання

Метод вимірювання – це сукупність використовуваних прийомів та принципів вимірювань, які вибираються в умовах вирішення конкретного вимірювального завдання.

Також вибір методу залежить від виду величини, точності отриманих основних результату вимірювання, умов виконання вимірів, швидкості його отримання, ряду інших ознак.

Наявні методи:

1. Метод безпосередньої оцінки. Результат вимірюваної ФВ беруть безпосередньо по відліковому пристрою ЗВТ. Це поширений

метод, його реалізують більшість ЗВТ. У даному методі іде безпосередньої оцінки міри що при вимірах не присутня, її розміри перенесені на відліковий пристрій ЗВТ заздалегідь при його градуванні.

2. *Метод порівняння з мірою.* Вимірювану досліджувану величину порівнюють з величиною, відтворюваною мірою. Особливістю є безпосередня участь міри в процедурі вимірювання. Існує декілька різновидів методу порівняння з мірою мас:

- *нульовий метод*, або *метод повного урівноваження* – коли результат порівняння вимірюваної величини і міри доводиться до нуля. (рис. 3.1 а);
- *диференціальний метод* – повне урівноваження не отримують вимірюваної величини і міри. Різниця між вимірюваною величиною і відтворюваною мірою, відлічуються за шкалою приладу (рис. 3.1 б).
- *метод заміщення* – вимірювану величину заміщують відомою величиною, відтворюваною мірою. (рис. 3.1 в).
- *метод збігів* – використовуючи збіги відміток шкал або періодичних сигналів між вимірюваною величиною і величиною відтворюють міру вимірювань. *Методика виконання вимірювання (МВВ)* – це наявна сукупність процедур і правил, яких виконання забезпечує отримання необхідної точності результатів вимірювання. МВВ включає в себе вимоги до вибирання необхідних засобів вимірювання, певної послідовності виконання усіх операцій, дотримання умов вимірювання, числа вимірювання, 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. 29

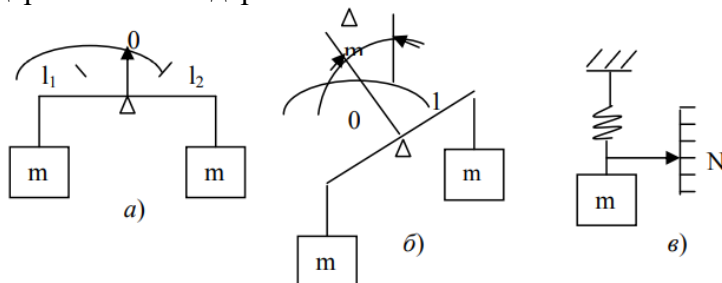


Рисунок 3.1 – Методи порівняння

3.3. Умови вимірювання

Умови вимірювання – сукупність величин, які добре описують стан нашого довкілля і ЗВТ.

Кожні ЗВТ використовуються для роботи в визначених умовах, що вказуються в нормативно-технічній документації. Величини, які можуть впливати, при вимірах ЗВТ нормовані: тиск, температура, напруга, якщо їх значення за межами норми, то їх вплив перекручує результати дослідів, і впливають на похибку вимірювання.

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

Вплив умов вимірювання на ЗВТ проявляється в зміні його існуючих метрологічних характеристик стану. Та частина похибки вимірювання, яка виникає через зміни умов, називається існуючою додатковою похибкою.

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

– *нормальні умови вимірювання* – це сукупність умов, при яких можливою зміною результату вимірювання при впливі впливальної величини можна повністю нехтувати відповідно до встановлених норм точності. Нормальні умови вимірювання чітко задаються в нормативній документації на ЗВТ цього виду у формі номіналів з нормованими відхиленнями. З наявних нормальних умов визначається основна похибка даного ЗВТ. Наприклад, прилад амперметр за умовами 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 значні зміни показань ЗВТ.

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

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

Наприклад, розміри деталей визначаються для існуючих температури, яка в усіх країнах прийнята $20 \pm 2^\circ\text{C}$ (близька до температури виробничих робочих приміщень). Температура деталі і вимірювального засобу у момент контролю мають бути завжди одних значень, і можуть бути досягнуті витримкою деталі та вимірювального засобу в однакових умовах).

Інакше обов'язково виникне 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 матеріалу досліджуваної деталі, а також 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 зразка і 250 мм, що був виготовлений із сталі, лінійне розширення якого - $\alpha_1 = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$, виготовленим з хромистої сталі $\alpha_2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$ при температурі 24°C , а також, температурі калібру 18°C . Визначити можливу температурну похибку (якщо Δt_1 або Δt_2 мають від'ємний знак, похибку можна внести як поправку до вимірювання, узявши її із протилежним знаком).

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

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

3.4. Характеристики якості вимірювання

Основними характеристик якості вимірювання є:

точність вимірювання – відображення наближеність до нуля похибки результату. Висока точність вимірювання відповідає малим похибкам;

достовірність вимірювання – це міра достатньої довіри до результату вимірювання, характеризується імовірністю того, що істинне значення величини знаходиться у вказаних межах. Ця

ймовірність називається довірчою ймовірність, межа має назву – довірчий інтервал.

правильність вимірювання – це показник, що, відображає наближеність до нуля систематичних похибок в проаналізованих результатах вимірювань;

збіжність результатів вимірювання – відображає наближеність результатів вимірювання однієї і тієї ж ФВ, що виконуються в однакових умовах, а також повторювалась одними і тими же ЗВТ, однаковим методом. Відображає вплив та значення випадкових похибок на результат вимірювання;

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

3.5. Області вимірювання

За найбільш поширеними типами вимірюваної ФВ виміри поділяються на області вимірювання.

Область вимірювання – це певна сукупність вимірювання ФВ, властивих якій-небудь галузі науки. Виділяються своєю специфікою. Розрізняють області вимірювання:

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

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

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

004 – виміри тисків, та різні вакуумні виміри;

005 – виміри фізико-хімічних властивостей, встановлення складу речовин: в'язкості, щільності, вологості, концентрації, електрохімічні виміри;

006 – теплофізичні виміри;

007 – виміри часу і частоти, періоду;

008 – виміри електротехнічних ФВ на постійному струмі: сили струму, заряду, Э.Р.С., напруги, енергії, кута зрушення фаз, опору тощо;

009 – радіотехнічні виміри: інтенсивності сигналів, параметрів форми сигналів;

10 – виміри акустичних величин;

11 – оптико-фізичні виміри;

12 – виміри іонізуючих випромінювань і ядерних констант;

13 – виміри біомедичних величин і характеристик.

Контрольні питання

1. Що являє собою вимір?
2. Визначення прямих, непрямих, спільних, сукупних вимірювань.
3. Відмінність між спільними і сукупними вимірами?
4. В чому суть методу вимірювання? Які ви вивчали раніше методи вимірювання?
5. В чому особливість вимірювання методами порівняння.
6. Наведіть приклад умов вимірювання?
7. Дайте визначення характеристикам вимірювання.

Лекція № 4

Тема 4. Математичне опрацювання результатів вимірювання

План

- 4.1. Визначення статистичних параметрів розподілу на підставі побудови гістограми.
- 4.2. Виявлення грубих похибок.
- 4.3. Критерій нехтовних похибок. Правила округлень.

4.1. Визначення статистичних параметрів розподілу на підставі побудови гістограми.

За звичайних умов параметри розподілу будуть визначаються з використанням математичного опрацювання невеликої кількості результатів спостережень, яка зветься вибіркою. Сукупність результатів спостережень, з яких зроблено вибірку, прозвали генеральною сукупністю результатів вимірювань. При перевірці засобів вимірювання виконують зліченню кількість вимірювань тільки одного розміру, яку також прозвали вибіркою. Ключовою сукупністю в даному випадку буде сукупність розмірів, які можна було б

одержати даним мірильним засобом при додержанні умов вимірювання, прописаних в інструкції з використання засобу вимірювання.

Розглянемо яким чином будуються емпіричні розподіли за розмірами. Нехай об'єм вибірки складає n , найменший розмір x_{min} , найбільший- x_{max} . Для утворення емпіричних кривих розподілу потрібно поділити весь отриманий діапазон $x_{max} - x_{min}$ на r інтервалів.

Кількість інтервалів при гігантських вибірках доцільно обирати округленим $r \approx \sqrt{n}$. За гігантських вибірок кількість інтервалів встановлюють в залежності від кількості спостережень за вказаними рекомендаціями:

n	r
40-100	7-9
100-500	8-12
5000-10000	10-16

Довжину інтервалів краще вибрати типовою. Але якщо розподіл має раптові екстремуми в сусідніх інтервалах, то в зоні максимальної концентрації даних спостережень належить обирати вужчі інтервали. Ширина інтервалу повинна бути зручною для графічних робіт стосовно поділок вздовж осі x . Нижню межу першого інтервалу не потрібно обирати такою, як x_{min} якщо вона не буде відповідати зручному розташуванню на осі x . При опрацюванні результатів потрібно надати перевагу відхиленням розмірів, та не розмірам (для пониження помилок при обчисленнях). Особливо великі помилки появляються при обчисленні моментів другого та вищих порядків.

Кількість розмірів m , що зосередженні в заданий i -й інтервал за умовою

$$x_{in} < x_j \leq x_{iv}, \quad ()$$

звуться абсолютною частотою. У нерівності (5.1) x_j є результатом j -го спостереження вибірки, в якій $j = 1, \dots, n$; x_{iv} - верхня межа i -го інтервалу; x_{in} - нижня межа i -го інтервалу, яка дорівнює верхній межі $(i-1)$ -го інтервалу. Потрібно звернути увагу на те, що сумарна кількість частот m_i має дорівнювати кількості n , тобто

$$\sum_{i=1}^r m_i = n, \quad (5.2)$$

Відношення абсолютної частоти m_i до загальної кількості спостережень n називають відносною частотою і позначають

$$p_i^* = \frac{m_i}{n}, \quad (5.3)$$

Відносна частота складає емпіричну оцінку ймовірності попадання даних спостереження x_j в j -й інтервал. Очевидно, що

$$\sum_{i=1}^r p_i^* = 1, \quad (5.4)$$

Для демонстрації емпіричний розподіл подають графічно у вигляді *полігона*, *гістограми розподілу* або *стовпчастої функції розподілу*.

Полігон будується так: по осі абсцис записують інтервали значень вимірної величини, в середині кожного із інтервалів відзначають ординати, пропорційні до частот та ординати з'єднують прямими лініями. Обираючи масштаби уздовж осей ординат та абсцис дотримуються пропорції $\approx 5:8$, яке є типовим при зображенні кривих розподілу.

Гістограму будують таким чином: над кожним інтервалом вздовж осі абсцис будують прямокутник, площа котрого пропорційна до відносної частоти P_i^* в цьому інтервалі, а висота буде пропорційною до абсолютної частоти при однакових інтервалах. За різних значеннях величин Δ_x висота прямокутника залишається пропорційною до емпіричної густини ймовірностей

$$p_i^* = \frac{P_i^*}{\Delta_{x_i}}, \quad (5.5)$$

Функцію ступінчастого розподілу будують так: в середині кожного інтервалу уздовж осі абсцис ордината виростає стрибком на величину, що відповідає P_i^* , і звідти малюють горизонтальну пряму до середини другого інтервалу, де ордината знову виростає. Висота ординати в кожній наступній точці відповідає емпіричній інтегральній функції розподілу.

4.2. Виявлення грубих похибок.

Загально відомо, що грубими похибками прийнято вважати похибки, які значно перевершають похибки, обґрунтовані умовами експерименту. Будемо вважати, що всі результати спостереження

володіють однаковою дисперсією. Проте окремі результати можуть здаватися експериментатору підозрілими. Необдумане відкидання даних результатів може викривити оцінку параметрів дійсного розподілу. Якщо дослідник зауважив результат, який видався йому невірним, та, крім того, віднайшов причину промаху (неправильна дія, відчитування тощо), то він може відхилити цей результат і провести повторні вимірювання. Якщо причина не з'ясована, то додаткові заміри потрібно провести, але не враховувати підозрілий результат без перевірки статистичними методами не бажано.

В цьому випадку припускають, що значення виміру x_i не містить великою похибки, тобто є одним із сукупності випадкових значень x , розподіленої за функцією $F_x(x_k)$, параметри якої попередньо відомі.

Підозрілими можуть становити або x_{min} , або x_{max} із всієї сукупності спостережень, тому для уточнення гіпотези визначають величину v .

$$v = \frac{x_{max} - \bar{x}}{s_x} \text{ або } v = \frac{\bar{x} - x_{min}}{s_x} \quad (5.6)$$

Якщо обчислене за дослідними даними значення v виявиться меншим, ніж v_α , то гіпотеза приймається. В іншому випадку гіпотеза не приймається, результат дослідження розглядається як такий, який містить значну похибку і відкидається. Істотно, що при цьому можливими є помилки обох видів, оскільки припущення перевіряється при певному рівні значущості $q = 1 - \alpha$.

4.3. Критерій нехтовних похибок. Правила округлень.

При розробці результатів спостережень всі перехідні обчислення треба здійснювати, зберігаючи необхідну кількість значущих цифр і безпомилково округлювати результати і похибки вимірювань. Похибка вимірювання повинна бути виражена однією значущими цифрами або двома. Найменші розряди числових значень результату і помилки вимірювання повинні бути одні і ті ж самі. Обома значущими значеннями похибка виражається: при точних вимірюваннях та коли в давнішому розряді її числового значення стоїть цифра, не перевищує трьох.

Похибку проміжних обчислень потрібно виражати не більше а ніж трьома значущими цифрами. Значущих цифр в результатах перехідних обчислень має бути на одну-дві більше а ніж у числовому значенні результату вимірювання. При такій умові помилки обчислень не спотворять числової величини результату вимірювання більше, ніж на 1/2 одиниці найменшого розряду.

Лекція № 5.

Тема 5. Державна система стандартизації України.

План

6.1 Загальні відомості про стандартизацію.

6.2 Значення метрології для науково-технічного прогресу та промисловості.

6.1 Загальні відомості про стандартизацію.

Весь розвиток людської цивілізації супроводжується принципами стандартизації. Потреба колективного існування в суспільстві довела до узгодження правил поведінки, церемоній, традицій, появи мови, одиниць вимірювання тощо.

Жодне суспільство не може побутувати без технічної законів та нормативних документів, які диктують правила, процеси, методи виробництва та контролю якості виробів, товарів, а також забезпечують безпеку життя, здоров'я і людей та екології. Стандартизація саме і є тим видом роботи, яка виконує ці завдання.

Розпізнають фактичну стандартизацію і офіційну стандартизацію.

Стандартизація фактична появилась в глибоку давнину. Письмо, система числення, валютні одиниці, одиниці міри і ваги, землеволодіння, літочислення, різні припущення, архітектурні ансамблі і мода, громадські й карні закони, кодекси законів про працю, міжнародні правила й договори, взагалі будь-які закони і моральні норми, правила спільного проживання і багато іншого- це все вияв дійсної стандартизації. Вона розгорталася поступово, Її звершення сприяли культурному, науково-технічному і економічному прогресу у всіх сферах людського буття, однак для стандартизації вища мета ніколи не була надто високою.

Характерна властивість стандартизації полягає в тому, що сфера дії, галузі використання і ступінь її розвитку нічим необмежені. Немає галузі діяльності особи, де була б не потрібна стандартизація. Вона входить у сфери праці людей всіх професій і віку.

Офіційна стандартизація завжди завершується появою стандартів, еталонів чи інших нормативно-технічної документації, що має цілком затверджену форму, систему індексації, порядок проходження до затвердження та характеристики, рівень зобов'язання, терміни дії тощо.

Стандартизація у техніці є певним відображенням об'єктивних законів розвитку технічних засобів і сировина. Вона не є заповзятим актом, який пропонується технічному розвитку, ззовні, а несе вплив як невідворотний наслідок вибору засобів, методів і матеріалів, які покривають високу якість продукції на заданому рівні розвитку науки та техніки. З часом виникають нові методи виготовлення і матеріали, що спричиняє заміну старих стандартів на нові. У даному неперервному процесі центральна мета її лежить в тому, щоб на будь-якому рівні економічного розвитку людства виготовити якісні вироби при масовому їх виробництві.

Отже, неупереджені закони розвитку техніки та промисловості безповоротно ведуть до стандартизації, яка є гарантією найвищої якості виробів, що можна досягнути на даному історичному витку. Завдячуючи стандартизації суспільство має можливість зумисне керувати своєю технічною політикою і економічною, прямуючи до випуску продукції високої якості.

В час науково-технічного прогресу стандартизація є винятковим напрямком суспільної діяльності. Поєднує наукові, економічні, технічні, політичні аспекти, правові та естетичні. В безлічі економічно розвинених країнах зростання рівня промисловості, поліпшення якості виробів та підвищення якості життя населення міцно пов'язані з широким використовуванням стандартизації.

5.2. Значення метрології для науково-технічного прогресу та промисловості.

Метрологія має надзвичайно важливе значення для науково-технічного прогресу, зрозуміло, що без вимірювань, без постійного підвищення їх точності неможливий розвиток всіх галузей науки і

техніки. Точні вимірювання дали можливість здійснити численні фундаментальні відкриття. Наприклад, з підвищеною точністю вимірювання густини води обумовило відкриття у 1932 р. важкого ізотопу водню – дейтерію, мінімальний вміст якого у звичайній воді здатний значно збільшити її густину.

Стимулом розвитку вимірювальної техніки, був розвиток науки і промисловості, відповідно удосконалення вимірювальної техніки активно впливали на розвиток багатьох галузей.

Сьогодні жодне наукове дослідження, чи процес виробництва не може обійтися без вимірювань, і в свою чергу без вимірювальної інформації. Без розвитку засобів і методів вимірювання прогрес у науці і техніці був би неможливий. Сучасні досягнення у галузі радіоелектроніки були б неможливі технологій високоточних вимірювань товщини шарів напilenня для різних мікросхем і чистоти напівпровідників. Впровадження технологій ґрунтується на нових методах та засобах вимірювань, принципи роботи яких заснований на останніх наукових досягненнях і відкриттях.

Розвиток наукового експерименту при дослідженні космосу, складних технологічних процесів, елементарних частинок матерії залежить від якісного і своєчасного збору вимірювальної інформації, належного рівня і засобів вимірювання.

Поряд з метрологією розвиваються теоретичні основи вимірювальної техніки та окремих видів вимірювань, наприклад, електричні, механічні, оптичні. На основі сучасних досягнень розробляються нові засоби вимірювальної техніки у сферах математики, фізики, біології, теорії автоматичного управління тощо. Перераховані галузі науки використовують досягнення метрології, теорії вимірювань. Спеціалісти обчислювальної техніки конструюють і розробляють аналогово-цифрові перетворювачі, комутатори і відповідне метрологічне забезпечення.

До недавня, засоби вимірювальної техніки обмежувалися показувальними рідше автоматичними приладами вимірювання окремих параметрів. У зв'язку з різним рівнем росту інтенсифікації і автоматизації технологічних процесів підхід до самих вимірювань суттєво змінився. Виникла нагальна потреба у своєчасному одержанні та опрацюванні потоків вимірювальної інформації, що зумовило виникнення інформаційних, вимірювальних систем, здатних відтворювати повну інформацію про стан об'єкта, відображати

значення того чи іншого параметра і прогнозувати його зміну. Для забезпечення науково прогресу метрологія повинна випереджати інші галузі науки, адже для кожної з них точні вимірювання є базовими.

Контрольні питання

1. У чому зміст єдності вимірювання.
2. Що таке державна метрологічна система (ДМС) і яке її призначення?
3. Яка структура служби метрології України?
4. Перелічіть компоненти нормативної бази ДМС які з них основні.
5. Яка сфера поширення державного метрологічного нагляду.
6. Які основні права аудитора з метрології?
7. Яка відповідальність при порушення метрологічних правил?
8. Які доказ того, що метрологічна діяльність в Україні має державний характер.
9. Дайте визначення «метрологічне забезпечення»?
10. Що є законодавчою базою метрологічного забезпечення?
11. Опишіть метрологічне забезпечення підготовки виробництва?

Рекомендована література **Базова (основна)**

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

7. Матюшин В. М. Радикалорекомбінаційна обробка мікроструктур [Текст] / В. М. Матюшин, Є. Л. Жавжаров // Мікроелектроніка : монографія. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. – 195 с
8. Топольник В. Г. Метрологія, стандартизація, сертифікація і управління якістю [Текст]: навчальний посібник / В. Г. Топольник, М. А. Котляр. – Львів : Магнолія, 2009. – 212 с

Допоміжна

1. Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация [Текст] / А.Г. Сергеев, М.В. Латышев, В.В. Терегеря. – М.: Логос, 2003. – 272 с.
2. 3. Сергеев А.Г. Метрология [Текст]: учеб. пособие для вузов. / А.Г. Сергеев, В.В. Кровин. – М.: Логос, 2001. – 408 с.
3. 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.

Навчальне видання
Опорний конспект лекцій з навчальної дисципліни
“ Методи та засоби вимірювань ”
Укладачі: Фесів Ігор Васильович
Кривецький Василь Іванович

Відповідальний редактор Максимyak Петро Петрович