

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

ГЛАВА 17. СУТНІСТЬ І ЗМІСТ МЕТРОЛОГІЇ

17.1 Історія розвитку метрології

Метрологія (від грецьких слів "метро" – міра, "логос" – навчання) – наука про виміри, методи і засоби забезпечення їхньої єдності і необхідної точності (ДСТУ 2681-94).

Вимірювання мають дуже давнє походження. Так, першими були вимірювання:

- часу для організації сільськогосподарських робіт;
- площ і відстаней при обробці землі;
- об'єму і ваги під час торгівлі;
- кутів різних геометричних тіл і фігур для будівництва тощо.

Спочатку вимірювання були занадто примітивні. За одиниці вимірювань приймалися розміри власного тіла людини (довжина ліктя чи ступні, відстань між кінцями великого і малого пальців руки чи між витягнутими руками), людських дій (відстань кинутого списа або пройденого за день шляху).

Найбільше розповсюдження одержали одиниці вимірювань та їхні міри, винайдені у найстаріших країнах світу: Китаї, Єгипті, Вавилоні. Так, у Вавилоні було прийнято, що 1 доба містить 24 години, 1 година - 60 хвилин, 1 хвилина - 60 секунд. Вавилонські міри (лікоть, талант, міри маси) почали використовуватись у Греції, Давньому Римі та в інших країнах Європи і світу, але до середніх віків вимірювання практично обмежувалися визначенням часу, геометричних розмірів, об'єму і маси.

У XIV-XVI століттях почався бурхливий розвиток наук, мистецтва, архітектури, і тому виникла потреба у наукових та інших цілях вимірювати також інші величини. У XVII столітті з'явилися перші барометри, гігрометри, термометри, манометри, а у XVIII столітті почали використовувати динамометри, калориметри, прилади для вимірювання деяких світлових величин. Коли винайшли парові двигуни, то для розрахунків роботи і потужності почали застосовувати такі одиниці вимірювань, як пудофут і кінська сила. У середині XIX століття почали вимірювати електричні величини, а наприкінці XIX і на початку XX століть у зв'язку з фізичними відкриттями виникли нові види вимірювань у галузях рентгенівського випромінювання, радіоактивності, молекулярної та атомної фізики. У другій половині XVIII століття в Європі нараховувалось до сотні футів різної довжини, 50 різних миль, 120 різних фунтів. У країнах Британської імперії існувала своя Британська система одиниць, у Сполучених Штатах Америки - Американська система одиниць.

Одиниці цих систем ще й досі широко застосовуються у країнах Британської Співдружності та США, хоча з 1 січня 2000 року Великобританія офіційно перейшла на застосування виключно Метричної системи одиниць.

У Росії в 1736 році було організовано Комісію мір і ваг для створення зразків російських мір. У 1797 році видано російський закон "Об учреждении повсеместно в Российской империи верных весов, питейных и хлебных мер". У 1827 році створено Комісію з розробки системи російських еталонних мір і ваг, а у жовтні 1835 року вийшов царський наказ "О системе российских мер и весов", яким встановлювалися такі російські міри: 1 сажень = 7 англійським футам, 1 фунт - маса води в об'ємі 25,02 куб. дюйма, 1 відро (міра рідини)=30 фунтам води і 1 четверик (міра сипучих речовин) = 64 фунтам води.

Уточнення розмірів російських мір пізніше було проведено Д. Менделєєвим, який з 1893 по 1899 роки займався цією проблемою. У червні 1899 року було затверджено "Положение о мерах и весах". В основу цієї системи покладені одиниця маси (1 фунт, що дорівнює 0,40951241 кг) та одиниця довжини (1 аршин, що дорівнює 0,7112 м).

У 1790 році у Франції було прийнято рішення про створення системи нових мір, "заснованих на незмінному прототипі, взятому з природи, з тим, щоб її змогли прийняти всі нації". Згідно з цією системою у 1791 році одиниця довжини - метр – була визначена як 1/10000000 чверті меридіана Землі, що проходить через Париж. У 1792-1799 роках проводились вимірювання і опрацювання результатів під керівництвом астрономів Делямбера і Мешена(між містами Дюнкерк на півночі Франції і Барселаною в Іспанії) і був виготовлений перший еталон метра – платиновий стрижень прямокутного перерізу, який згодом дістав назву "архівний еталон".

За одиницю маси було прийнято масу $0,001 \text{ м}^3$ (1 дм^3) чистої води за температури $+4^\circ\text{C}$ (найбільшої густини), названу кілограм. Еталон кілограма - платиновий циліндр, висота якого дорівнювала діаметру. Із введенням метричної системи почали застосовувати десяткову систему утворення кратних і частинних одиниць.

Необхідність сприяння міжнародній торгівлі промисловою продукцією за допомогою узгодженості одиниць вимірювань була визнана у 1860 році та закріплена у Метрологічній конвенції.

Застосування Метричної системи мір відіграло видатну роль не тільки в установленні єдності вимірювань між країнами, але й сприяло розвитку національних метрологічних центрів і в цілому метрології як науки.

У 1875 році була скликана дипломатична конференція, де з 20 присутніх 17 держав підписали Метричну конвенцію, згідно з якою:

- встановлювалися міжнародні прототипи метра і кілограма;
- створювалось Міжнародне бюро мір і ваг (МБМВ) - наукова установа, кошти на утримання якої зобов'язувалися виділяти держави, що підписали конвенцію;
- утворювався Міжнародний комітет мір і ваг (МКМВ), який складався з вчених різних країн (18 осіб), однією з функцій якого було керівництво діяльністю МБМВ;
- скликалась один раз на шість років (згодом - один раз на чотири роки) Генеральна конференція з мір і ваг (ГКМВ).

У 1889 році виготовили зразки метра (43 екземпляри) із сплаву платини та іридію. Прототип метра – платино – (90 %) – іридієва (10 %) штрихова міра загальною довжиною 102 см, на віддалі 1 см від кінців якої були нанесені штрихи, що визначали одиницю довжини – метр.

Конвенція передбачала створення і фінансування на загальні кошти постійного наукового закладу - МБМВ з місцеперебуванням у Парижі. Цьому закладові було доручено зберігання міжнародних прототипів метра і кілограма, а також періодичні співставлення з ними їхніх копій, наданих країнам, які підписали конвенцію. Пізніше діяльність МБМВ розширилася і розповсюдилася на еталони електричних одиниць (вольт/Ом), а також на дослідження в галузі іонізуючих випромінювань.

Метричну конвенцію у жовтні 1921 року було доповнено Міжнародною угодою для розширення її дії на галузь вимірювання електричних величин. Одночасно МБМВ було доручено проведення робіт з визначення фізичних сталих, точніше знання яких сприяло б підвищенню точності вимірювання довжини, маси, температури, електричних та інших величин.

Хоча в 1875 році Росія підписала Міжнародну метричну конвенцію, у країні зберігалась раніше діюча російська система мір. Метрична реформа завершилась в основному в 1927 році.

Метрична система почала застосовуватись для створення інших систем одиниць. Ще в 1832 році німецький математик К. Гаус розробив метод створення системи магнітних одиниць. Як основні він запропонував міліметр, міліграм і секунду. Такий вибір був вдалим з теоретичної точки зору, однак для практики розміри довжини і маси виявилися незручними. У 1851 році В. Вебер розповсюдив систему Гауса на електричні величини.

У 1861-1870 роках Комітет з електричних еталонів Британської асоціації розвитку наук розробив систему одиниць СГС (сантиметр-грам-секунда). Для похідних одиниць сили і роботи комітет запропонував найменування "дина" і "ерг". Цей комітет встановив дві системи електричних одиниць: абсолютну електростатичну (СГСЕ) і абсолютну електромагнітну (СГСМ). Незабаром для електричних і магнітних одиниць існувало вже сім різних систем, побудованих на основі системи СГС. У кінці минулого століття з'явилася система МКГСС, основними одиницями якої є метр, кілограм-сила і секунда. Ця система одержала найбільше розповсюдження в механіці, теплотехніці і споріднених з ними галузях. У 1919 році у Франції прийнята система МТС (метр-тонна-секунда).

У 1901 році італійський фізик Л. Джорджи запропонував систему механічних одиниць, побудовану на трьох основних одиницях – метрі, кілограмі та секунді (система МКС); Переваги системи МКС у порівнянні з іншими системами механічних одиниць були в тому, що її легко зіставити (зв'язати) з абсолютною системою електричних і магнітних одиниць, оскільки одиниці роботи (джоуль) і потужності (ват) у цих двох системах збігалися, тоді як систему МКГСС неможливо зв'язати з практичними електричними одиницями, а одиниці СГС, якими користувались фізики, є незручними для різних галузей техніки.

Отже, на початок ХХ століття використовувалось багато систем одиниць. У 1919 році в МБМВ вченими-метрологами Франції розроблено на основі МКС систему одиниць, рекомендовану як міжнародну. Необхідно було вирішувати питання уніфікації одиниць.

У 1948 році 9-та ГКМВ розглянула пропозицію Міжнародної спілки чистої і прикладної фізики про встановлення міжнародної практичної системи одиниць. Крім того, французький уряд запропонував проект уніфікації одиниць. У 1954 році 10-та ГКМВ затвердила з цього питання резолюцію щодо основних одиниць практичної системи для міжнародних відносин і встановила за одиницю довжини – метр, одиницю маси – кілограм, одиницю часу – секунда, одиницю сили струму – ампер, одиницю термодинамічної температури – градус Кельвіна (потім – кельвін) і одиницю сили світла – кандела.

У листопаді 1961 року було затверджено ГОСТ 9867-61 "Міжнародна система одиниць" (термін введення з 1 січня 1963 року), який зазначав, що систему SI потрібно застосовувати як переважну в усіх галузях науки, техніки і народного господарства. На заміну цього стандарту у 1997 році в Україні прийнято ДСТУ 3651-97.

В Україні у 1997 році затверджено три державні стандарти, які регламентують застосування одиниць системи SI і вперше в країнах СНД реалізують сучасні положення документів ГКМВ, зокрема, 20-ої ГКМВ (1995 рік). Одиниці системи SI застосовані також і у затвердженому в 1996 році державному класифікаторі України.

Таким чином, метрична система одиниць була першою системою пов'язаних між собою одиниць довжини, площі, об'єму, маси. Введення нового способу утворення кратних і частинних величин одиниць суттєво полегшило перерахунок значень величин. Укладання Метричної конвенції і діяльність її органів мали велике значення у справі вдосконалення метричної системи мір і уніфікації одиниць вимірювання в цілому світі. Тільки завдяки цій діяльності стало можливим прийняття Міжнародної системи одиниць і підвищення точності вимірювань.

17.2 Метрологія – наука про вимірювання

Сучасна метрологія включає три складові: законодавчу метрологію, фундаментальну (наукову) і практичну (прикладну) метрологію.

З розвитком науки і техніки були потрібні нові вимірювання і нові одиниці виміру, що стимулювало у свою чергу удосконалювання фундаментальної і прикладної метрології.

Спочатку прототип одиниць вимірювання шукали в природі, досліджуючи макрооб'єкти і їхній рух. Поступово пошуки перемістилися на атомний і внутрішньоатомний рівень. У результаті уточнювалися "старі" одиниці (міри) і з'являлися нові. Так, у 1983 р. було прийнято нове визначення метра: це довжина шляху, що проходить світло у вакуумі за $1/299792458$ частку секунди. Це стало можливим після того, як швидкість світла у вакуумі (299792458 м/с) метрологи прийняли як фізичну константу. Цікаво відзначити,

що тепер з погляду метрологічних правил метр залежить від секунди.

У 1988 р. на міжнародному рівні були прийняті нові константи в області вимірів електричних одиниць і величин, а в 1989 р. прийнята нова Міжнародна практична температурна шкала МТШ-90.

На цих прикладах видно, що метрологія як наука динамічно розвивається, що, природно, сприяє удосконалюванню практики вимірів у всіх інших наукових і прикладних областях.

Якістю і точністю вимірів визначається можливість розробки принципово нових приладів, вимірювальних пристроїв для будь-якої сфери техніки, що промовляє на користь випереджальних темпів розвитку науки і техніки вимірів, тобто метрології.

Разом з розвитком фундаментальної і практичної метрології відбувається становлення законодавчої метрології.

Законодавча метрологія – це розділ метрології, що включає комплекси взаємозалежних і взаємообумовлених загальних правил, а також інші питання, що спрямовані на забезпечення єдності вимірів і однаковості засобів вимірів.

Законодавча метрологія слугує засобом державного регулювання метрологічної діяльності за допомогою законів і законодавчих положень, що вводяться в практику через Державну метрологічну службу і метрологічні служби державних органів управління і юридичних осіб. До області законодавчої метрології відносяться іспити; затвердження типу засобів вимірів; їх перевірка та калібрування; сертифікація засобів вимірів; державний метрологічний контроль і нагляд за засобами вимірів.

Метрологічні правила і норми законодавчої метрології гармонізовані з рекомендаціями і документами відповідних міжнародних організацій. Тим самим законодавча метрологія сприяє розвитку міжнародних економічних і торгівельних зв'язків і сприяє взаєморозумінню в міжнародному метрологічному співробітництві.

Розглянемо зміст **основних понять фундаментальної і практичної метрології**.

Вимірювання як основний об'єкт метрології пов'язані як з фізичними величинами, так і з величинами, що відносяться до інших наук (математики, психології, медицини, суспільних наук тощо). Далі будуть розглядатись поняття, що відносяться до фізичних величин.

Фізичною величиною називають одну з властивостей фізичного об'єкта (явища, процесу), яка є загальною у якісному відношенні для багатьох фізичних об'єктів і відрізняється при цьому за кількісним значенням. Так, властивість "міцність" у якісному відношенні характеризує такі матеріали як сталь, дерево, тканину, скло і багато інших, у той час як ступінь (кількісне значення) міцності – величина для кожного з них зовсім різна.

Виміром називають сукупність операцій, виконуваних за допомогою технічного засобу, що зберігає одиницю величини і дозволяє зіставити з нею вимірювану величину. Отримане значення величини і є результат вимірів. Цікаво відзначити відповідність у цілому цього сучасного трактування з тлумаченням даного терміна філософом П. А. Флоренським, яке ввійшло в

"Технічну енциклопедію" видання 1931 р.: "Вимір - основний пізнавальний процес науки і техніки, за допомогою якого невідома величина кількісно порівнюється з другою, яка однорідна з нею і вважається відомою".

Одна з головних задач метрології – забезпечення єдності вимірів - може бути вирішена при дотриманні двох умов, які можна назвати основними:

- вираження результатів вимірів у єдиних узаконених одиницях;
- установлення припустимих помилок (похибок) результатів вимірів і меж, за які вони не повинні виходити при заданій імовірності.

Похибкою називають відхилення результату вимірів від дійсного значення вимірюваної величини. При цьому слід мати на увазі, що істинне значення фізичної величини вважається невідомим і застосовується в теоретичних дослідженнях; дійсне значення фізичної величини встановлюється експериментальним шляхом у припущенні, що результат експерименту (виміру) у максимальному ступені наближається до істинного значення. Похибки вимірів приводяться в технічній документації на засоби вимірів чи у нормативних документах. Якщо врахувати, що похибка залежить ще і від умов, у яких проводиться сам вимір, від експериментальної помилки методики і суб'єктивних факторів людини у випадках, де вона безпосередньо бере участь у вимірах, то можна говорити про декілька складових похибок вимірів або про сумарну похибку.

Єдність вимірів, однак, не може бути забезпечена лише збігом похибок. Потрібно ще і вірогідність вимірів. Це говорить про те, що похибка не виходить за межі відхилень, заданих у відповідності з поставленою метою вимірів. Є ще і поняття точності вимірів, що характеризує ступінь наближення похибки вимірів до нуля, тобто до істинного значення вимірюваної величини.

Узагальнює всі ці положення сучасне визначення поняття єдність вимірів – стан вимірів, при якому їхні результати виражені в узаконених одиницях, а похибки відомі з заданою імовірністю і не виходять за встановлені межі.

Як вище відзначалося, заходи щодо реального забезпечення єдності вимірів у більшості країн світу встановлені законами і входять у функції законодавчої метрологи.

17.3 Види вимірювань

Вимірювання розрізняють за способом одержання інформації, за характером зміни вимірюваної величини в процесі вимірів, за кількістю вимірювальної інформації стосовно основних одиниць.

За способом одержання інформації вимірювання розділяють на прямі, непрямі, сукупні і спільні.

Прямі вимірювання – це безпосереднє порівняння фізичної величини з її мірою. Наприклад, при визначенні довжини предмета лінійкою відбувається порівняння шуканої величини (кількісного вираження значення довжини) з мірою, тобто лінійкою.

Непрямі вимірювання відрізняються від прямих тим, що шукане значення величини встановлюють за результатами прямих вимірів таких

величин, що пов'язані із шуканою визначеною залежністю. Так, якщо виміряти силу струму амперметром, а напругу вольтметром, то за відомим функціональним взаємозв'язком всіх трьох названих величин можна розрахувати потужність електричного ланцюга.

Сукупні вимірювання сполучені з рішенням системи рівнянь, яка складається за результатами одночасних вимірів декількох однорідних величин. Рішення системи рівнянь дає можливість обчислити шукану величину.

Спільні вимірювання – це вимірювання двох чи більше неоднорідних фізичних величин для визначення залежності між ними.

Сукупні і спільні вимірювання часто застосовують при вимірюваннях різних параметрів і характеристик в галузі електротехніки.

За характером зміни вимірюваної величини в процесі вимірів існують статистичні, динамічні і статичні вимірювання.

Статистичні вимірювання пов'язані з визначенням характеристик випадкових процесів, звукових сигналів, рівня шумів тощо.

Статичні вимірювання мають місце тоді, коли вимірювана величина практично постійна.

Динамічні вимірювання пов'язані з такими величинами, з якими в процесі вимірів відбуваються ті чи інші зміни.

Статичні і динамічні вимірювання в ідеальному виді на практиці зустрічаються рідко.

За кількістю вимірювальної інформації розрізняють однократні і багаторазові виміри.

Однократний вимір – це один вимір однієї величини, тобто число вимірів дорівнює числу вимірюваних величин. Практичне застосування такого виду вимірів завжди сполучено з великими похибками, тому слід проводити не менше трьох однократних вимірів і знаходити кінцевий результат як середнє арифметичне значення.

Багаторазові вимірювання характеризуються підвищеним числом вимірів кількості вимірюваних величин. Зазвичай мінімальне число вимірів у даному випадку більше трьох. Перевага багаторазових вимірів – у значному зниженні впливів випадкових факторів на похибку виміру.

Стосовно основних одиниць вимірювання поділяють на абсолютні і відносні.

Абсолютними вимірами називають такі, при яких використовуються прямий вимір однієї (іноді декількох) основної величини і фізична константа. Так, у відомій формулі Ейнштейна $E = mc^2$ маса (m) – основна фізична величина, що може бути виміряна прямим шляхом (зважуванням), а швидкість світла (c) – фізична константа.

Відносні вимірювання базуються на встановленні відношення вимірюваної величини до однорідної, що застосовується як одиниця. Зазвичай, шукане значення залежить від одиниці вимірів, яка використовується.

З вимірами пов'язані такі поняття як "шкала вимірів", "принцип вимірів", "метод вимірів".

Шкала вимірів – це впорядкована сукупність значень фізичної величини, що є основою для її виміру. Пояснимо це поняття на прикладі температурних шкал.

У шкалі Цельсія за початок відліку прийнята температура танення льоду, а як основний інтервал (опорна точка) – температура кипіння води. Одна сота частина цього інтервалу є одиницею температури (градус Цельсія). У температурній шкалі Фаренгейта за початок відліку прийнята температура танення суміші льоду і нашатирного спирту (або повареної солі), а за опорну точку взята нормальна температура тіла здорової людини. За одиницю температури (градус Фаренгейта) прийнята одна дев'яносто шоста частина основного інтервалу. За цією шкалою температура танення льоду дорівнює $+32^{\circ}F$, а температура кипіння води $+212^{\circ}F$. Таким чином, якщо за шкалою Цельсія різниця між температурою кипіння води і танення льоду складає $100^{\circ}C$, то за Фаренгейтом вона дорівнює $180^{\circ}F$. На цьому прикладі ми бачимо роль прийнятої шкали як у кількісному значенні вимірюваної величини, так і в аспекті забезпечення єдності вимірів. У даному випадку потрібно знаходити відношення розмірів одиниць, щоб можна було порівняти результати вимірів, тобто $t^{\circ}F/t^{\circ}C$.

У метрологічній практиці відомі кілька різновидів шкал: шкала найменувань, шкала порядку, шкала інтервалів, шкала відношень тощо.

Шкала найменувань – це свого роду якісна, а не кількісна шкала, вона не містить нуля й одиниць вимірів. Прикладом може служити атлас кольорів (шкала кольорів). Процес вимірювання полягає у візуальному порівнянні пофарбованого предмета зі зразками кольорів (еталонними зразками атласу кольорів). Оскільки кожен колір має чимало варіантів, таке порівняння під силу досвідченому експерту, що володіє не тільки практичним досвідом, але і відповідними особливими характеристиками зорових можливостей.

Шкала порядку характеризує значення вимірюваної величини в балах (шкала землетрусів, сили вітру, твердості фізичних тіл тощо).

Шкала інтервалів (різностей) має умовні нульові значення, а інтервали встановлюються за узгодженням. Такими шкалами є шкала часу, шкала довжини.

Шкала відношень має природне нульове значення, а одиниця вимірів установлюється за узгодженням. Наприклад, шкала маси (зазвичай ми говоримо "вага"), починаючи від нуля, може бути градуйована по різному в залежності від необхідної точності зважування. Порівняйте побутові й аналітичні ваги.

17.4 Фізичні величини як об'єкти вимірів

Об'єктами вимірів є фізичні величини, які прийнято поділяти на основні і похідні.

Основні величини не залежні одна від одної, але вони можуть бути основою для встановлення зв'язків з іншими фізичними величинами, які називають похідними від них. Згадаємо уже наведену вище формулу Ейнштейна, до якої входить основна одиниця – маса, а енергія - це похідна

одиниця, залежність між якою та іншими одиницями визначає дана формула. Основним величинам відповідають основні одиниці вимірів, а похідним - похідні одиниці вимірів.

Сукупність основних і похідних одиниць називається **системою одиниць фізичних величин**.

Першою системою одиниць вважається метрична система, де, як уже відзначалося вище, за основну одиницю довжини був прийнятий метр, за одиницю ваги – грам (пізніше – кілограм) – вага 1 см³ хімічно чистої води при температурі біля +4°C. У 1799 р. були виготовлені перші прототипи (еталони) метра і кілограма. Крім цих двох одиниць метрична система у своєму первісному варіанті включала ще й одиниці площі (ар – площа квадрата зі стороною 10 м), обсягу (стер, дорівнює обсягу куба з ребром 10 м), місткості (літр, дорівнює обсягу куба з ребром 0,1 м).

Таким чином, у метричній системі ще не було чіткого підрозділу одиниць величин на основні і похідні.

17.5 Міжнародна система одиниць фізичних величин

XI Генеральна конференція мір і ваг у 1960 р. затвердила Міжнародну систему одиниць, що позначається SI (від початкових букв французької назви Systeme International d'Unites), українською мовою - СІ. В наступні роки Генеральна конференція прийняла ряд доповнень і змін, у результаті чого в системі стало сім основних одиниць, додаткові і похідні одиниці фізичних величин.

Сьогодні система SI складається з семи основних одиниць, понад 110 похідних одиниць і 20 десяткових приставок для утворення кратних та частинних одиниць. 18 похідних одиниць SI мають спеціальні назви за прізвиськами вчених- дві основні (ампер та кельвін) і 16 похідних: бекерель (Бк, Вq), ват (Вт, W), вебер (Вб, Wb), вольт (В, V), генрі (Гн, H), герц (Гц, Hz) грей (Гр, Gy), джоуль (Дж, J), зіверт (Зв, Sv), кулон (Кл, C), ньютон (Н, N), ом (Ом, Ot), паскаль (Па, Pa), сименс (См, S), тесла (Тл, T), фарада (Ф, F).

Розроблені наступні визначення основних одиниць:

- одиниця довжини - **метр** - довжина шляху, що проходить світло у вакуумі за $1/299792458$ частку секунди;

- одиниця маси – **кілограм** – маса, рівна масі міжнародного прототипу кілограма;

- одиниця часу – **секунда** – тривалість 9192631770 періодів випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезію – 133 при відсутності збурювання з боку зовнішніх полів;

- одиниця сили електричного струму – **ампер** – сила струму, який не змінюється при проходженні по двох рівнобіжних провідниках нескінченної довжини і мізерно малого кругового перетину, розташованих на відстані 1 м один від іншого у вакуумі і створює між цими провідниками силу $2 \cdot 10^{-7}$ Н на кожен метр довжини;

- одиниця термодинамічної температури – **Кельвін** $-1/273,16$ частина термодинамічної температури потрійної точки води. Допускається також застосування шкали Цельсія;

- одиниця кількості речовини – **моль** – кількість речовини системи, що містить стільки ж структурних елементів, скільки атомів міститься в нукліді вуглецю – 12 масою $0,012$ кг;

- одиниця сили світла – **Кандела** – сила світла в заданому напрямку джерела, що випускає монохроматичне випромінювання частотою $540 \cdot 10^{12}$ Гц, енергетична сила якого в цьому напрямку складає $1/683$ Вт/ср.

В SI для позначення десяткових кратних (помножених на 10 в додатньому степені) і дольних (помножених на 10 у від'ємному степені) прийняті наступні префікси: екса (Е) - 10^{18} , пета (П) - 10^{15} , тера (Т) - 10^{12} , гіга (Г) - 10^9 , мега (М) - 10^6 , кіло (К) - 10^3 , гекто (г) - 10^2 , дека (да) - 10^1 , деци (д) - 10^{-1} , санти (с) - 10^{-2} , мілі (м) - 10^{-3} , мікро (мк) - 10^{-6} , нано (н) - 10^{-9} , піко (п) - 10^{-12} , фемто (ф) - 10^{-16} , атто (а) - 10^{-18} . Так, відповідно до SI тисячна частина міліметра (мікрометр) $0,001$ мм = 1 мкм.

Приведені визначення досить складні і вимагають достатнього рівня знань, насамперед у фізиці. Але вони дають уявлення про природне походження прийнятих одиниць. Тлумачення їх ускладнювалось в міру розвитку науки і завдяки новим високим досягненням теоретичної і практичної фізики, механіки, математики й інших фундаментальних знань. Це дало можливість, з одного боку, представити основні одиниці як достовірні і точні, а з іншого боку - як з'ясовані і як зрозумілі для всіх країн світу, що є головною умовою для того, щоб система одиниць стала міжнародною.

Міжнародна система SI вважається найбільш досконалою й універсальною у порівнянні з попередніми до неї.

Після прийняття Міжнародної системи одиниць ГКМВ практично всі найбільші міжнародні організації включили її у свої рекомендації з метрології і призвали всіх членів цих організацій прийняти її. У нашій країні система SI офіційно була прийнята шляхом введення в 1963 р. відповідного державного стандарту. Слід врахувати, що в той час усі державні стандарти мали силу закону і були суворо обов'язкові для виконання.

В Україні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць встановлені в ДСТУ 3651.0-97, ГОСТ 3651.1-97, ГОСТ 3651.2-97.

На сьогоднішній день система SI дійсно стала міжнародною, але поруч з тим, застосовуються і позасистемні одиниці, наприклад, тонна, доба, літр, гектар тощо.

17.6 Контрольні запитання

1. Роль і значення ISO в розвитку міжнародної торгівлі.
2. Склад і організаційна структура ISO.
3. У яких відомих державних стандартах України враховані рекомендації ISO?
4. Назвати шкали вимірювань.

5. Дати характеристику основних величин системи SI.
6. Назвати декілька похідних одиниць SI і дати їхнє визначення.
7. Пояснити поняття "похибка". Які бувають похибки.
8. Дати визначення поняття "метрологія".

17.7 Теми для самостійного вивчення

1. Види вимірювань за способом отримання інформації.
2. Види вимірювань за характером зміни вимірювальної величини.