**Фізичні величини**

2.1. Класифікація фізичних величин

2.2. Системи одиниць фізичних величин

2.3. Одиниці фізичних величин міжнародної системи SI

**2.1. Класифікація фізичних величин**

Поняття фізичної величини (ФВ) - одне з найбільш загальних понять у фізиці та метрології. Під ФВ (ДСТУ 268-194) слід розуміти властивість, загальну в якісному відношенні для безлічі матеріальних об’єктів, але індивідуальну в кількісному відношенні для кожного з них. Так усі об’єкти мають масу і температуру, але для кожного конкретного об’єкта як маса, так і температура різні залежно від різних обставин.

Для встановлення різниці в кількісному відношенні властивостей кожного об’єкта вводиться поняття «розмір ФВ».

Між розмірами кожної ФВ існують відносини, які мають таку ж саму логічну структуру, що й між числовими формами (цілими, раціональними, дійсними числами, векторами). Тому численність числових форм з відносинами між ними може слугувати моделлю ФВ, тобто безлічі її розмірів і відносин між ними.

Можна виділити три групи ФВ, вимірювання яких проводиться за принципово різними правилами.

До першої групи належать величини, безліч розмірів яких визначаються за відношенням типу «твердий - м’який», «тепле - холодне», «кисле - солодке» і т. д. У математиці такі відносини отримали назву «відносини порядку та еквівалентності». Наявність подібних відносин встановлюється теоретично, виходячи із загально- фізичних міркувань, або експериментально, за допомогою засобів вимірювання й експериментатора. Так без особливих зусиль можна визначити, що мідь твердіша за гуму, але визначити відмінність міді за твердістю з іншими металами (свинцем, оловом) без засобів вимірювання неможливо, тому що їх твердість відрізняється незначно.

Друга група величин характеризується тим, що відношення порядку й еквівалентності стосується не тільки розмірів величин, а й відмінностей у парах цих величин (потенціал, енергія, температура та ін.). Так інтервал температур буде однаковим, якщо будуть однакові відстані між поділками на шкалі ртутного термометра. Мова йде не про температуру як ступінь нагрівання, а лише про рівність інтервалів температур.

До третьої групи величин, крім зазначених раніше визначень, відносяться характерні відносини, які називаються операціями, подібно до арифметичного додатка (множення на п) та вирахування. Результат відповідає сумі п розмірів певної вимірюваної величини. До таких величин відносяться: довжина, тиск, маса, термодинамічна температура і т. д. До величин третьої групи можна віднести і безліч інтервалів розмірів величин другої групи, тому що для них можливо встановити операцію, подібну до додатка. Отже, ці величини є найбільш зручними для використання. Тому їх і називають фізичними.

Між властивостями об’єкта існують взаємозв’язки. Модель об’єкта описується сукупністю рівнянь, які називаються рівняннями між величинами. У кожному розділі науки кількість рівнянь завжди менша, ніж кількість вхідних величин. Тому в окрему групу прийнято виділяти величини, кількість яких дорівнює різниці між кількістю величин і кількістю незалежних рівнянь.

Ці величини і відповідні їм одиниці вимірювання називаються основними величинами і основними одиницями. Решта величин та одиниць, які однозначно визначаються через основні, називаються похідними.

ФВ поділяються на вимірювані й оцінювані.

Вимірювані ФВ можуть бути виражені кількісно у вигляді певного числа встановлених одиниць виміру. ФВ, для яких неможливо ввести одиницю виміру, можуть бути тільки оцінювальними (землетрус -

7 балів, шторм - 10 балів, твердість за шкалою Мооса - 5 балів і т. д.).

За видами появи ФВ поділяються на 3 групи

- речовинні (пасивні), тобто ті, що описують фізичні та фізико- хімічні властивості речовин, матеріалів і виробів з них. До цієї групи належить маса, щільність (питома вага), електричний опір, ємність, індуктивність та ін. Іноді наведені ФВ називають пасивними. Для їх вимірювань необхідно використовувати додаткові джерела енергії, за допомогою яких формується сигнал інформації, що вимірюється. При цьому пасивні ФВ перетворюються в активні, які й вимірюються;

- енергетичні (активні), тобто величини, які описують харак­теристики процесів перетворення, передачі і використання енергії. До них відносяться струм, напруга, потужність, енергія. Ці величини називають активними. Вони можуть бути перетворені на сигнали вимірювальної інформації без використання додаткових джерел енергії;

- які характеризують протікання процесів у часі. До цієї групи відносяться різного виду спектральні характеристики, кореляційні функції і т. ін.

За належністю до різних груп фізичних процесів ФВ поділяються на просторово-тимчасові, механічні, теплові і т. д.

За ступенем умовної незалежності від інших величин даної групи ФВ поділяються на основні (умовно незалежні), похідні (умовно залежні) та позасистемні.

За наявності розмірності ФВ поділяються на розмірні, тобто ті, які мають розмірність, і безрозмірні.

ДСТУ 2681-94 наводить наступні терміни.

Розмір (фізичної) величини - кількісний вміст ФВ у даному об’єкті. Не слід використовувати термін «величина» як кількісну характеристику даної властивості, наприклад, у термінах «величина напруги», «величина маси» та ін. У таких випадках слід викорис­товувати термін «розмір напруги», «розмір маси».

Основна (фізична) величина - ФВ, що входить до системи ФВ і прийнята за незалежну від інших величин цієї системи.

Похідна (фізична) величина - ФВ, що входить до системи величин та визначається через основні величини цієї системи.

Розмірність фізичних величин - вираз, що відображає її зв’язок з основними величинами системи величин.

Розмірність основної фізичної величини - умовний символ ФВ у даній системі величин.

**5.2. Системи одиниць фізичних величин**

Історично першою системою одиниць ФВ була прийнята (7 квітня 1795 року Національними зборами Франції) метрична система мір. До її складу увійшли одиниці довжини, площі, об’єму і ваги, в основу яких було покладено дві одиниці: метр та кілограм.

Наприкінці XVIII ст. у Франції було розроблено метричну систему мір, засновану на «природних» еталонах - метрі та кілограмі. Метр було визначено як довжину однієї десятимільйонної частини чверті Паризького меридіана (Комісія під керівництвом Лапласа). На основі вимірів дуги меридіана було виготовлено перший еталон метра у вигляді платинової кінцевої міри довжиною 1 м, шириною 25 мм і товщиною 4 мм, названої «метром Архіву». У 1872 р. «метр Архіву» був прийнятий в якості прототипу метра для того, щоб уникнути розбіжностей у визначенні «природного» метра через похибки вимірювань.

За новим прототипом був виготовлений 31 еталон у вигляді штрихових мір з платино-іридієвого сплаву, який відрізнявся високою стабільністю розмірності в часі. Кожен еталон являв собою брус довжиною 102 см Х-подібного перетину, розміром 20 х 20 мм, зі штрихами, нанесеними по краях на відстані 1 м один від одного. Еталон № 6 у 1889 р. був затверджений як міжнародний прототип метра. Еталон № 28, отриманий Росією, був у подальшому затверджений (до 1960 р.) Державним еталоном СРСР. Пошуки нового«природного» еталона, неруйнівного та такого, який мав би велику точність, а також розвиток інтерференційного методу вимірювань дозволили в 1960 р. прийняти нове визначення метра в довжинах світової хвилі, що відповідає помаранчевій лінії спектра криптону-86, і створити сучасний еталон метра.

У 1882 році вчений К. Гаус запропонував методику побудови системи величин і одиниць як сукупність основних похідних. Він побудував систему величин, у якій за основу були прийняті три довільних, незалежних одна від одної величини: довжина, маса та час. Інші величини визначалися за допомогою обраних трьох. Цю систему величин, що відповідним чином пов’язана з трьома основними величинами (довжиною, масою і часом), К. Гаус назвав абсолютною системою. Основними одиницями він запропонував ввести міліметр, міліграм і секунду. З наступним розвитком науки і техніки виникли інші системи одиниць ФВ, які відрізнялися одна від одної одиницями ФВ.

У даний час на практиці застосовуються тільки три системи: СГС, СІ та МКГСС.

Розглянемо основні системи одиниць ФВ.

Система СГС

У 1881 році Першим Міжнародним конгресом електриків була прийнята система одиниць ФВ СГС, до складу якої основними одиницями увійшли: сантиметр - одиниця довжини;грам - одиниця маси і секунда - одиниця часу, а також похідні: дина - одиниця сили і ерг - одиниця роботи. Для вимірювання потужності у системі СГС була прийнята одиниця ерг за секунду, для вимірювання кінетичної в’язкості - стокс, динамічної в’язкості - пуаз. Вимірювання тиску в системі СГС прийнято в динах на квадратний сантиметр.

Ця система надзвичайно широко використовується не тільки в наукових дослідженнях (фізики, астрономії), але і в деяких інженерних областях. Основними перевагами системи СГС є логічність та послідовність її побудови. При описі електромагнітних явищ у системі наявна лише одна константа - швидкість світла, наявність якої дуже доречна в електромагнітній теорії світла і теорії відносності. Головний недолік системи СГС полягає в тому, що переважна більшість її одиниць безпосередньо на практиці не застосовується (особливо це стосується одиниць електричних величин).

Здійснюючи розрахунки результатів експериментів у системі СГС, доводиться спочатку дані вимірювань, які зняті зі шкал приладів, перевести в одиниці СГС, а потім по завершенні розрахунків здійснити зворотний перерахунок. При цьому, як правило, співвідношення між одиницями СГС і СІ незручні для перекладу. Так вольт дорівнює 1/300 одиниці СГС, а ампер - 3-109 одиниць СГС. Але і ці числа лише наближені, так як, наприклад, ампер більш точно повинен наближатися до одиниці СГС, як одна десята за швидкість світла у вакуумі, виміряна в сантиметрах у секунду. Незручність полягає і в тому, що, за малим винятком, одиницям СГС не присвоєно спеціальні найменування. Зауважимо тут, однак, що самі розрахунки в одиницях системи СГС здійснювати зручно і відносно просто.

Хоча формально основними в системі СГС є три одиниці: сантиметр, грам і секунда, фактично при описі теплових явищ завжди в якості четвертої одиниці вводиться одиниця температури кельвін, у світлотехніці - одиниця світлового потоку люмен, у молекулярній та атомній фізиці - одиниця кількості речовини моль і т. п.

Для механічних і магнітних вимірювань сьогодні є чинними сім видів СГС, із яких найпоширеніші такі: СГСЕ (електростатична), СГСМ (електромагнітна), СГСЛ (система світлових одиниць), СГС (симетрична) та ін.

Значна кількість фізичних констант і на сьогодні виражається в одиницях СГС.

Система МКГСС

Система МКГСС (найстаріша з усіх систем) має основним своїм недоліком обмежену область можливого застосування - тільки для механічних вимірювань. Її захищають фахівці в галузі технічної механіки, опору матеріалів та суміжних дисциплін.

Наприкінці XVIII ст. кілограм було прийнято за одиницю ваги. Використання кілограма як одиниці ваги, а пізніше як одиниці сили в кінці XIX ст. зумовило формування нової системи одиниць фізичних величин із трьома одиницями: метр - одиниця довжини, кілограм- сила (кгс) - одиниця сили і секунда - одиниця часу (система МКГСС). Кілограм-сила - це сила, яка надає масі один кілограм прискорення 9,80665 м/с2 (нормальне прискорення вільного падіння).

Система МКГСС набула значного поширення в механіці та техніці й неофіційно називалася «технічною». Однією з причин широкого використання системи виявилася зручність подання сили в одиницях ваги і розмір основної одиниці сили - кілограм-сила.

Проте поширення МКГСС має все більше недоліків, зумовлених використанням її як головної одиниці сили, а не маси.

Першим недоліком системи є те, що одиниця маси є похідною від одиниці сили і дорівнює 9,80665 кг, а це порушує метричний принцип десятковості мір. Другий недолік полягає у назві одиниці сили - «кілограм-сила» і метричної одиниці маси - «кілограм», що часто призводить до заплутаності у назвах. (Деякі держави ввели нову назву кілограм-сили - кілоноїд).Третім недоліком системи МКГСС є її неузгодженість з одиницями електричних та механічних величин. За одиницю роботи й енергії в системі МКГСС прийнято кілограм-силу-метр, у системі практичних електричних одиниць робота й енергія вимірюються джоулями, що змушує вдатися до використання перехідних коефіцієнтів при розрахунках.

Крім того, виникає велика заплутаність при визначенні маси. За одиницю маси у системі МКГСС прийнято вважати масу тіла, якому надається прискорення 1 м/с2 під дією прикладеної сили в 1 кгс. Цю одиницю - кілограм-сила-секунда у квадраті на метр (кгс-с2/м) - інколи називають технічною одиницею маси (т.о.м.), або інертною, хоча такі визначення не прийняті у техніці (9,81 кг (1 кг и 1 кгс-с2/м - одиниця маси в системі СІ). Проте в техніці широко використовувалися такі міри системи МКГСС, як одиниця роботи й енергії - кілограм- сила-метр (кгс-м) та одиниця потужності - кілограм-сила-метр за секунду (кгс-м/с).

Основними одиницями системи МТС є: одиниця довжини - метр, одиниця маси - тонна і одиниця часу - секунда. Цю систему вперше було введено в 1919 році у Франції.

Прийняття тонни за основну одиницю маси здавалося вдалим, тому що забезпечувало відповідність між одиницями довжини та об’єму й одиницею маси: одна тонна відповідала одному кубічному метру. Крім того, одиниця роботи та енергії в цій системі (кілоджоулів) і одиниця потужності (кіловат) збігалися з відповідними кратними практичними електричними одиницями.

У системі МТС за одиницю сили прийнято стен (сн), що дорівнює силі, яка надає масі в одну тонну прискорення 1 м/с2, а за одиницю тиску - п ’єзу (пз) (сн/м2).

Проте в нашій країні ця система не знайшла практичного вико­ристання і не ввійшла до Держстандарту, а в 1961 була законодавчо відмінена й у Франції.

**Міжнародна система одиниць SI**

Наявність численних систем одиниць ФВ, а також значної кількості позасистемних одиниць спричинило багато незручностей при переході

від однієї системи одиниць в іншу, а отже, потрібно було якомога швидше уніфікувати одиниці вимірювання. Необхідна була система одиниць ФВ, яка була б зручною для практичних вимірювань у галузях вимірювань та зберігала б принцип когерентності.

Так система МКГСС успішно використовувалася в механіці та прикладних науках, але не узгоджувалася з практичними електричними одиницями. Розміри одиниць системи СГС широко застосовувалися у фізиці, але були занадто незручні для використання в техніці.

У результаті тривалої і нелегкої роботи вдалося створити Між­народну систему (), настільки ж всеосяжну, як і система СГС. Ця система по праву отримала назву Міжнародної, оскільки в її створенні взяли участь метрологічні організації багатьох країн. Основні труднощі при побудові системи полягали в необхідності «зшити» електричні та магнітні одиниці з одиницями механічними. Це було досягнуто шляхом уведення двох постійних величин - електричноїта магнітної. У результаті до деякої міри втратилася наочність запису рівнянь електромагнітного поля і особливо теорії відносності. Зокрема, векторні характеристики поля Е, Б, В і Н, які за фізичним змістом повинні бути однорідними, втрачають цю однорідність. Така незручність існує при викладанні матеріалу про електричні та магнітні явища, тому що магнітна взаємодія струмів, на якій засновано визначення основної одиниці - ампера, вивчається слідом за навчаль­ними відомостями про електростатику і постійний струм.

Зазначені недоліки незначні порівняно з великими перевагами Міжнародної системи. У першу чергу, слід вказати на єдність вираження енергії при описі як механічних, так і електричних та магнітних систем: джоуль = ньютон • метр = вольт • кулон = ампер • вебер.

Зрозуміло, що дуже важливим є те, що переважне число величин вимірюється одиницями, які давно увійшли в інженерну практику і знаходяться на шкалах приладів. При розрахунках не потрібно проводити жодних попередніх перетворень одиниць. Це, зокрема, відноситься до теплових розрахунків, у яких передбачається повний перехід від роздільного вимірювання роботи і кількості теплоти в джоулях та калоріях до єдиного виміру в джоулях. Всі перераховані, а також деякі інші переваги Міжнародної системи зробили її досить популярною і сприяють її широкому поширенню. Звичайно, важливу роль при цьому відіграє її міжнародний характер, що є суттєвим для промислової кооперації, торговельного обміну і т. п.

У 1954 році Х Генеральна конференція з мір і ваги встановила шість основних одиниць (метр, кілограм, секунда, ампер, градус Кельвіна, свіча) системи одиниць для міжнародних відносин. На

цей час членами Метричної конференції стали близько 40 найбільш розвинених держав. Одночасно Міжнародний комітет з мір і ваги створив комісію розробки Міжнародної системи одиниць. Система отримала назву Міжнародної системи одиниць, скорочено - S! (S та І - початкові літери французької назви Systeme International d’Unites), українською мовою - СІ.

Прийняття Міжнародної системи в 1960 році XI Генеральною конференцією з мір та ваги було важливим прогресивним актом, який закріпив велику багаторічну працю з цього питання й узагальнив досвід роботи наукових організацій з метрології, стандартизації, фізики й електротехніки.

Міжнародна система одиниць прийнята Міжнародним союзом фізиків, Міжнародною електротехнічною комісією та іншими міжна­родними організаціями. Організація об’єднаних націй з освіти, науки і культури (ЮНЕСКО) закликала всі країни прийняти Міжнародну систему одиниць. Сьогодні 115 держав приєдналися до Метричної конвенції, і в більшості країн система SI визнана чинною законодавчо.

У 1981 році в СРСР введено в дію стандарт ГОСТ 8.417-81 «Одиниці фізичних величин», у якому за основу взято і затверджено до обов’язкового виконання Міжнародну систему одиниць.

У 1997 році Держстандарт України ухвалив постанову про введення в державі Міжнародної системи одиниць ДСТУ 3651.097 «Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної систем одиниць. Основні назви, положення та позначення».

Перевагами Міжнародної системи одиниць SI слід вважати такі:

- універсальність, що забезпечує її використання в науці, техніці і господарстві;

- уніфікованість одиниць для всіх видів вимірювання. Так, замість кількох одиниць тиску (атм, мм р ст., мм вод. ст., бар та ін.) у SI визнана одиниця тиску - паскаль (Па); замість кількох одиниць роботи й енергії ухвалена одиниця - джоуль (Дж);

- когерентність (узгодженість) системи: коефіцієнти пропор­ційності у фізичних рівняннях для визначення похідних величин дорівнюють одиниці;

- використання зручних для практичних вимірювань основних та похідних одиниць;

- чітке розмежування одиниць маси (кілограм) і сили (ньютон);

- спрощений запис рівнянь і формул завдяки відсутності перехідних коефіцієнтів переведення однієї системи в іншу;

- позбавлення необхідності визначати всі системи одиниць;

- сприяння розвитку міждержавних науково-технічних і еко­номічних зв’язків.

**2.3. Одиниці фізичних величин міжнародної системи SI**

У 1954 році Х Генеральна конференція з мір та ваги визначила шість основних одиниць ФВ, які повинні охоплювати всі галузі науки і техніки, бути основними для утворення похідних одиниць, забезпечувати зручність для практичних вимірювань і відтворюватися за допомогою установок та еталонів з найбільшою точністю.

У наступні роки Генеральна конференція прийняла ряд доповнень і змін, у результаті чого в системі налічувалося сім основних одиниць (у 1971 році XIV Генеральна конференція з мір та ваги затвердила сьому основну одиницю кількості речовини - моль), похідні та позасистемні одиниці ФВ, а також розробила такі визначення основних одиниць:

- одиниця довжини - метр - довжина шляху, яку проходить світло у вакуумі за 1/299792458 долю секунди;

- одиниця маси - кілограм - маса, що дорівнює масі міжна­родного прототипу кілограма;

- одиниця часу - секунда - тривалість 9 192 631 770 періодів випромінювання, яке відповідає переходу між двома надтонкими рівнями структури основного стану атома цезію-133 за відсутності збурення з боку зовнішніх полів;

- одиниця сили електричного струму - ампер - сила струму незмінної величини, яка при проходженні по двох паралельних нескінченних провідниках і мізерно малого кругового перерізу, що знаходяться на відстані 1 м один від одного у вакуумі, створював би між цими провідниками силу, що дорівнює 2-10-7 Н на кожний метр довжини;

- одиниця термодинамічної температури - кельвін - 1/273,16 (до 1967 р. одиниця мала назву «градус Кельвіна») частина термо­динамічної температури потрійної точки води. Допускається також застосування шкали Цельсія;

- одиниця кількості речовини - моль - кількість речовини системи, яка 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, яке випромінює монохроматичне випромінювання частотою 540-1012 Гц, енергетична сила якого в цьому напрямку складає 1/683 Вт/ср2.

Наведені визначення досить складні і вимагають достатнього рівня знань, перш за все, у фізиці. Але вони дають уявлення про природне походження прийнятих одиниць, а тлумачення їх усклад­нювалося у міру розвитку науки і завдяки новим високим досягненням теоретичної та практичної фізики, механіки, математики й інших фундаментальних галузей знань. Це дало можливість, з одного боку, представити основні одиниці як достовірні і точні, а з іншого - які можна пояснити і які зрозумілі для всіх країн світу, що є головною умовою для того, щоб система одиниць стала міжнародною.

Міжнародна система 8І вважається найбільш досконалою і універсальною порівняно з попередніми системами. Крім основних одиниць, у системі 8І є позасистемні (додаткові) одиниці для вимі­рювання плоского і тілесного кутів - радіан і стерадіан відповідно, а також велика кількість похідних одиниць простору і часу, механічних величин, електричних і магнітних величин, теплових, світлових та акустичних величин, а також іонізуючих випромінювань.

Після прийняття Міжнародної системи одиниць практично всі найкрупніші міжнародні організації включили її в свої рекомендації з метрології і закликали всіх країн - членів цих організацій - прийняти її. У нашій країні система 8І офіційно була прийнята шляхом уведення в 1963 р. відповідного державного стандарту.

Основні одиниці системи СІ зі скороченими позначеннями українськими та латинськими літерами наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Основні одиниці системи СІ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Величина | Одиниця вимірювання | Скорочене позначення одиниці | |
| Українське | Міжнародне |
| Довжина | метр | м | m |
| Маса | кілограм | кг | kg |
| Час | секунда | с | s |
| Сила електричного струму | ампер | А | А |
| Термодинамічна температура | кельвін | К | К |
| Сила світла | кандела | кд | kd |
| Кількість речовин | Моль | Моль | mol |

**5.3.Технічні вимірювання**

5.3.1. Основні поняття про вимірювання. Забезпечення єдності вимірів

5.3.2. Види вимірювань

5.3.3. Методи вимірювань

5.3.4. Класифікація засобів вимірювальної техніки

5.3.5. Калібрування засобів вимірювальної техніки

5.3.6. Еталони як засіб вимірювання

5.3.7. Перспективи розвитку еталонів

**5.3.1. Основні поняття про вимірювання. Забезпечення єдності вимірів**

**Єдність вимірів** - одна із функцій державного управління, оскільки є обов’язковою передумовою ефективного господарювання, торгівлі, раціонального використання ресурсів, наукової та інших видів діяльності, а також безпечності продукції для життя та здоров’я людей, сумісності, взаємозамінності, охорони навколишнього сере­довища.

Регулювання відносин в області забезпечення єдності вимірів здійснюється відповідно до національного законодавства держав-учасників співдружності. Міжпарламентська Асамблея держав-учасників співдружності, керуючись рішеннями Генеральної Асамблеї, прийняла Закон про забезпечення єдності вимірів як рекомендаційний документ в області забезпечення єдності вимірів у всіх державах- учасниках співдружності. Якщо міжнародним договором (згідно із Законом про забезпечення єдності вимірів, стаття 3) встановлені інші правила, ніж ті, котрі утримуються в національному законо­давстві в області забезпечення єдності вимірів, то застосовуються правила міжнародного договору.

Єдність вимірів є характеристикою якості вимірів, яка полягає в тому, що результати виражаються в законних одиницях, розміри яких дорівнюють розмірам відтворених величин, а похибки результатів вимірів відомі з заданою ймовірністю та не виходять за встановлені межі.

Єдність вимірів - це стан вимірювань, за якого їх результати виражено в прийнятих одиницях, і похибки вимірювань, які відомі з заданою ймовірністю.

Єдність вимірювань необхідна для того, щоб можна було порів­нювати результати вимірювань, які виконано в різних місцях, у різний час, з використанням різних методів та засобів вимірювання (ЗВ).

Державне керування (Стаття 4 Закону про забезпечення єдності вимірів) діяльністю із забезпечення єдності вимірів здійснює націо­нальний орган з метрології (НОМ). НОМ затверджує нормативні документи із забезпечення єдності вимірів, що встановлюють метро­логічні правила і норми та підлягають обов’язковому застосуванню на території держави. Єдність вимірювань забезпечується системою стандартів державної системи вимірювань ДСТУ 2681, ДСТУ 2682, ДСТУ 3231, ДСТУ 3214 тощо.

**Основні терміни і їх визначення.** Основні визначення термінів наведені в Декреті Кабінету Міністрів про забезпечення єдності вимірювань (Ст. 1) та в ДСТУ 2681-94 «Державна система забез­печення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення»:

- державний еталон - первинний або спеціальний еталон, офіційно затверджений як вихідний для країни;

- ЗВ - технічний засіб, що використовується для вимірювань і має нормовані метрологічні властивості;

- калібрування ЗВ - сукупність операцій, що виконуються з метою визначення дійсних значень метрологічних характеристик і придатності ЗВ до застосування;

- повірка ЗВ - визначення спеціально уповноваженим метро­логічним органом похибок ЗВ і встановлення їх придатності до застосування.

Залежно від рівня розвитку науково-технічного прогресу та рекомендацій Міжнародної організації законодавчої метрології, визначення цих термінів може уточнюватися Державним комітетом України зі стандартизації, метрології та сертифікації у нормативних документах на терміни і визначення.

**5.3.2.Види вимірювань**

На результати вимірювань впливає досить багато чинників: зовнішні умови, методи, технічні засоби вимірювання, стан експериментатора та ін. Зважаючи на численність різних чинників та умови проведення експерименту, вимірювання можна класифікувати за характером зміни вимірюваної величини в часі, за способом одержання числового значення, точністю та ін.

За характером зміни вимірюваної величини в часі вимірювання можна розподілити на статистичні, статичні та динамічні.

Статистичні вимірювання пов’язані з визначенням характеристик випадкових процесів, звукових сигналів, рівнів шумів і. т. д.

**Статичні вимірювання** - це вимірювання, при яких протягом певного проміжку часу вимірювана величина майже не змінюється або ж її значення змінюється поступово відповідно до процесу виробництва. Статичні вимірювання (рис. 3.2) використовуються, як правило, для встановлення взаємозв’язку між ФВ одного і того ж самого об’єкта дослідження. Вони застосовуються у пасивних експериментах і забезпечують задовільний рівень наочності при зміні вимірюваних величин за певний проміжок часу (годину, зміну, добу). Таким, наприклад, є проведення пасивного експерименту на випарній установці для вимірювання основних її параметрів: температури, рівня, тиску, витрати пари тощо.

**Динамічні вимірювання** - вимірювання, які показують зміну вимірюваної величини в часі при різних збуреннях, що впливають на об’єкт дослідження або ж на ЗВ. Динамічні вимірювання дають можливість вивчати динамічні властивості об’єкта і засобу вимірю­вальної техніки (ЗВТ), особливо первинних перетворювачів (датчиків).

Статичні та динамічні вимірювання в ідеальному вигляді на практиці зустрічаються рідко.

За способом одержання числового значення вимірюваної величини вимірювання поділяються на прямі, посередні, сукупні та сумісні.

**Прямими** називаються такі **вимірювання**, за яких значення вимірюваної величини визначається безпосередньо за експеримен­тальними даними (вимірювання довжини метром, вимірювання температури термометром, тиску - манометром та ін.). Прямі вимірювання найпростіші і найпоширеніші у промисловості.

**Посередніми** називаються такі **вимірювання**, за яких значення вимірюваної величини вираховується за допомогою відомих математичних залежностей між цією величиною і величиною, яка визначається прямими вимірюваннями. Наприклад: визначення об’єму рідини у циліндричній посудині за висотою рідини в ній та площею дна; густини рідини за масою та її об’ємом -та ін.

При **сукупних вимірюваннях** числове значення вимірюваної величини визначається розв’язком системи рівнянь, одержаних шляхом сукупних прямих вимірювань однієї або декількох одно­йменних величин (наприклад, визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення).

При сумісних вимірюваннях одночасно вимірюють дві або декілька різнойменних величин для виявлення залежностей між ними. Як правило, результати таких вимірювань використовуються в наукових дослідженнях.

За точністю вимірювання числових значень вимірюваної величини вимірювання поділяються на три групи:

1. Вимірювання з максимально можливою точністю відповідно до наявного технічного рівня. Це вимірювання за допомогою еталонів, спрямовані насамперед на відтворення встановлених одиниць ФВ або ж фізичних констант. Крім того, такі вимірювання необхідні під час наукових досліджень високого рівня та розробок сучасних технологій в електроніці, атомній енергетиці тощо.

2. Контрольно-повірочні вимірювання, похибки яких не пере­вищують деяких наперед заданих значень. До них відносять лабораторні вимірювання ФВ за допомогою зразкових і технічних засобів високих класів точності. Такі вимірювання проводяться у метрологічних лабораторіях Держстандарту України та науково-дослідних інститутах.

3. Технічні вимірювання - вимірювання, які проводяться у промисловості і визначаються невисоким класом точності засобів вимірювання.

Залежно від одиниць вимірювання значення вимірювальних величин можна розподілити на абсолютні, відносні та приведені.

**Абсолютними** називаються вимірювання, значення яких подані в абсолютних одиницях ФВ (наприклад, тиск - у паскалях, довжина - в метрах, час - у секундах та ін.).

**Відносними** називаються вимірювання, значення яких подані як відношення вимірюваної величини до однойменної, умовно прийнятої за одиницю, або ж у відсотках (наприклад, вологість повітря).

За кількістю вимірювальної інформації розрізняють однократні (одноразові) і багатократні вимірювання.

**Одноразові** вимірювання - це один вимір однієї величини, тобто число вимірювань дорівнює числу вимірюваних величин. Практичне застосування такого виду вимірювань завжди пов’язане з великими похибками, тому слід проводити не менше трьох одноразових вимі­рювань і знаходити кінцевий результат як середнє арифметичне значення.

**Багаторазові вимірювання** характеризуються перевищенням числа вимірювань кількості вимірюваних величин. Зазвичай мінімальне число вимірів у даному випадку більше трьох. Перевага багаторазових вимірювань - у значному зниженні впливів випадкових факторів на похибку вимірювання.

**5.3.3. Методи вимірювань**

Метод вимірювання - сукупність засобів використання ЗВТ та принципів вимірювання для створення вимірювальної інформації. Метод вимірювання повинен за можливістю мати мінімальну похибку і сприяти вилученню систематичних похибок або переводу їх у розряд випадкових.

Методи вимірювання можна класифікувати за різними ознаками. Відома класифікація за основними вимірювальними операціями. Вона тісно пов’язана з елементами ЗВ, які реалізують ці операції.

Дана класифікація орієнтована на структурний опис ЗВ і тому важлива для вимірювальної техніки, а також метрології інформаційно- вимірювальних систем.

Для метрологічного аналізу більш важливі традиційні класифікації', основані на таких ознаках. Перша з них - фізичний принцип, покладений в основу вимірювання. За ним усі методи вимірювання поділяються на електричні, магнітні, акустичні, оптичні, механічні та ін. У кожної другої ознаки класифікації використовується режим взаємодії засобу й об’єкта вимірювання. У цьому випадку всі методи вимірювання поділяються на статичні і динамічні. Третьою ознакою може бути вид вимірювальних сигналів, які використовуються у ЗВ. Відповідно з ним методи поділяються на аналогові і цифрові.

Найбільш розробленою є класифікація за сукупністю прийомів використання принципів та засобів вимірювання. За цією класи­фікацією розрізняють метод безпосередньої оцінки іметод порівняння (рис. 3.3). Ці усталені в літературі назви не зовсім вдалі, оскільки наводять на думку про можливість вимірювання без порівнювання. Більш правильно говорити про опосередковане посереднє порівню­вання як за часом, так і щодо фізичної природи вимірюваних величин.

Суть методу безпосередньої оцінки полягає в тому, що про значення вимірюваної величини судять за показанням одного (прямі вимірювання) або декількох (непрямі вимірювання) ЗВ, які заздалегідь проградуйовані в одиницях вимірюваної величини або в одиницях інших величин, від яких вона залежить. Це найбільш поширений метод вимірювання. Його реалізує більшість ЗВ.

Найпростішими прикладами методу безпосередньої оцінки можуть бути вимірювання діаметру мотильової шийки колінчастого вала мікрометром або штангенциркулем, напруги - електромеханічним вольтметром магнітоелектричної системи, зважування на циферблатних вагах, вимірювання тиску пружинним манометром та ін.

Іншу групу утворюють методи порівняння: диференціальний, збіжності, заміщення. До них відносяться всі ті методи, при яких вимірювана величина порівнюється з величиною, що утворюється мірою. Отже, характерною особливістю цих методів порівняння є безпосередньо частина мір у процесі вимірювання.

При диференціальному методі вимірювана величина X порівнюється безпосередньо або посередньо з величиною Хн, відтвореною мірою. Про значення величини X судять за виміряною приладом різницею і за відомою величиною, відтвореною мірою. Отже, При диференційному методі здійснюється неповне порівняння вимірюваної величини.

Він поєднує частину методу безпосередньої оцінки і може дати досить точний результат вимірювання, якщо тільки вимірювана величина і величина, що відтворюється мірою, мало відрізняються одна від одної. Наприклад, якщо різниця цих двох величин складає 1 % і вимірюється з похибкою до 1 %, тим самим похибка вимі­рювання пошукової величини зменшується до 0,01 % (якщо не враховувати похибку міри).

Прикладом диференціального методу може бути вимірювання індикаторним нутроміром діаметру циліндра двигуна, вольтметром - різниці двох напруг, з яких одна відома з більшою точністю, а інша є шуканою величиною; вимірювання надмірного тиску в апаратах відносно атмосферного тиску за допомогою диференціального манометра типу ДМ.

**Нульовий метод** (компенсаційний) - різновид методу диферен- ційного. Він відзначається тим, що ефект порівняння двох величин зводиться до нуля. Це контролюється спеціальним вимірювальним приладом високої точності - нуль-індикатором. У даному випадку значення вимірюваної величини дорівнює значенню, яке відтворює міра. Висока чутливість нуль-індикаторів, а також виконання міри з високою точністю дозволяють мати малу похибку вимірювання.

Приклад нульового методу - зважування на вагах, коли на одному плечі знаходиться вантаж, який зважують, а на іншому - набір еталонних гир. Другий приклад: вимірювання опору за допомогою мосту, який урівноважує. Третій приклад: вимірювання опору в автоматичних вимірювальних приладах (потенціометрах, аналізаторах рідин, газів та ін.).

**Метод заміщення** - метод непрямого вимірювання з багаторазовим порівнянням до повного врівноваження вихідних величин вимірювального перетворювача з почерговим перетворенням ним вимірюваної величини та вихідної величини регульованої міри.

Приклад методу заміщення - вимірювання великого електричного активного опору шляхом почергового вимірювання сили струму, перебігу через контрольований і зразковий резистор. Живлення ланцюга при вимірюванні повинно здійснюватися від одного джерела постійного струму. Вихідний опір джерела струму і вимірювального приладу - амперметра - повинен бути досить малим порівняно з вимірюваними опірностями.

**Метод одного збігу**; метод ноніуса. Метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням вихідних величин двох багатозначних нерегульованих мір, із різними за значеннями ступенями, нульові позначки яких зсунуті між собою на виміряну величину.

Приклади. 1. Вимірювання довжини за допомогою двох лінійок, ціни поділок яких знаходяться в певному відношенні. 2. Вимірювання часу за допомогою послідовностей періодичних імпульсів, періоди яких знаходяться в певному відношенні.

**Метод подвійного збігу;** метод конгиденції. Метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням двох квантових фізичних величин: вимірюваної та відтворюваної багатозначною нерегульованою мірою. Приклад вимірювання зістикованих інтервалів часу або зістикованих відрізків довжини за допомогою відповідно: послі­довності періодичності імпульсів з відомим значенням їх періоду або лінійки з відомим значенням поділок. Прикладом використання цього методу в електричних вимірюваннях є вимірювання частоти обертання тіла за допомогою стробоскопа.

**Метод зіставлення** - метод прямого вимірювання із одноразовим порівнянням вимірюваної величини з усіма вихідними величинами багатозначної нерегульованої міри.

Приклади. 1. Вимірювання довжини лінійкою з поділками. 2. Ви­мірювання інтервалу часу годинником.

Метод зрівноваження з регульованою мірою. Метод прямого вимірювання з багаторазовим порівнянням вимірюваної величини та величини, що відтворюється мірою, яка регулюється до їх повного зрівноваження.

Приклад. Вимірювання електричної напруги компенсатором

**5.3.4. Класифікація засобів вимірювальної техніки**

Метод вимірювання реалізується у технічному ЗВ - технічному засобі, який застосовується під час вимірювання і має нормовані метрологічні характеристики.

Якість вимірювань залежить від грамотного використання ЗВ, від знання їх властивостей. У першу чергу, потрібно знати класифікацію засобів вимірювань, їх метрологічні характеристики, похибки ЗВ і причини їх виникнення.

ЗВ не повинні вносити помилок у значення вимірюваних ними величин, а якщо цього не можна уникнути, то передбачається можливість урахування або виключення цих помилок відповідними прийомами.

ЗВ, відповідно до Державної системи вимірювань (ДСВ), під­розділяють на такі групи: еталони, зразкові міри і прилади, виробничі міри і прилади.

**Еталони** - це міри і прилади, призначені для відтворення і зберігання будь-якої величини з найвищою точністю. До них належать: державний еталон метра, еталонні набори кінцевих мір довжини.

Зразкові міри і прилади призначаються для перевірки і граду­ювання лабораторних і заводських мір.

Виробничі міри і прилади призначаються для перевірки виробів в умовах виробництва.

За характером використання у виробничому процесі ЗВ поділяють на міри, вимірювальні прилади (інструменти) і калібри.

Залежно від призначення, будови, принципу дії та інших характерних ознак, ЗВТ застосовуються для технологічних та теплотехнічних вимірювань і поділяються на групи.

Основна класифікація передбачає розподіл ЗВ за родом вимірюваних величин.

Для найбільш поширених засобів вимірювання умовно прийняті такі назви:

- для засобів вимірювання температури: термометри і піро­метри;

- тиску: манометри, вакуумметри, мановакуумметри, тягоміри, напороміри, барометри;

- витрати та кількості: витратоміри, лічильники та витра­томіри з лічильниками;

- рівня: рівнеміри та покажчики рівня;

- складу димових та інших газів: газоаналізатори, киснеміри та ін.;

- аналізу та складу рідини: аналізатори рідини, кондуктометрії, рН-метри, густиноміри, рефрактометри та ін.;

- вологості: вологоміри, психрометри, гігрометри тощо.

Додатково засоби вимірювань поділяються на групи за такими ознаками:

- за принципом дії та використанням енергії: механічні, електричні, рідинні, пневматичні, гідравлічні, хімічні, ультразвукові, інфрачервоні, радіоізотопні та ін.;

- формою показань: аналогові та цифрові;

- характером відображення: показуючі, самописні, реєструючі, інтегруючі;

- призначенням: промислові (технічні), лабораторні, зразкові, еталонні;

- місцем розташування: щитові, місцеві, дистанційні;

- габаритами: мініатюрні, малогабаритні, нормальні та велико­габаритні.

Майже кожний ЗВ можна віднести до будь-якої групи. Наприклад, термометр може бути промисловим, самописним, електричним, щитовим, малогабаритним та ін.

Промислові (робочі) ЗВ є найпоширенішими ЗВТ. Вони вико­ристовуються для вимірювання технологічних або теплотехнічних параметрів, мають порівняно просту структуру та конструкцію, високу надійність і необхідну точність, прості в експлуатації та ремонті. Показання промислових приладів видно на велику відстань, а наявність сигнальних пристроїв дозволяє впроваджувати звукову та світлову сигналізації відхилень технологічних параметрів.

Лабораторні прилади використовуються для більш точних лабораторних вимірювань при наукових дослідженнях та з метою визначення похибок ЗВ. Для одержання більшої точності вимірювань лабораторні засоби виготовляються більш ретельно, мають досконаліші схеми та спеціальні засоби для відліку показань (оптичні пристрої), до їх показань вводяться поправки, визначені експериментальним або розрахунковим шляхом.

**5.3.5. Калібрування засобів вимірювальної техніки**

Це визначення в певних умовах або контроль метрологічних характеристик ЗВТ, на які не поширюється державний метрологічний нагляд. Засоби вимірювальної техніки, які підлягають державним випробуванням (згідно зі статтею 18 Закону про метрологію та метрологічну діяльність) і на які не поширюється державний метрологічний нагляд, підлягають калібруванню під час випуску з виробництва. Необхідність проведення калібрування в експлуатації ЗВТ, на які не поширюється державний метрологічний нагляд, визначається їх користувачем.

Калібрування проводиться метрологічними службами юридичних осіб з використанням еталонів, супідрядних державним еталонам одиниць величин. Результати калібрування ЗВ засвідчуються каліб­рованим знаком, нанесеним на ЗВ, або свідченням (сертифікатом) про калібрування, а також записом в експлуатаційних документах.

**Повірка ЗВТ.** Повірку ЗВТ здійснюють з метою встановлення або підтвердження придатності ЗВТ до застосування. Під терміном «повірка» розуміють визначення метрологічним органом похибок ЗВТ і встановлення його придатності для вимірів.

Повірка ЗВТ - це встановлення придатності ЗВТ, на які поши­рюється державний метрологічний нагляд, до застосування на підставі результатів контролю їхніх метрологічних характеристик.

Державну повірку ЗВТ виконують органи державної метрологічної служби, а калібровку - метрологічні служби підприємств, організацій та міністерств. Державній повірці підлягають вихідні ЗВТ і робочі засоби, які застосовуються в охороні здоров’я; при виробництві медикаментів; при здійсненні заходів щодо охорони навколишнього середовища; при виконанні робіт, пов’ язаних з обов’ язковою сертифікацією продукції і т. д. ЗВТ, що не підлягають державній повірці, калібруються відомчими метрологічними службами. Крім повірки, державні метрологічні організації проводять випробовування - встановлення придатності до випуску ЗВТ на конструкторських заводах. Повірку можуть здійснювати тільки ті органи, які акредитовані ДКТРСП України. Фахівці територіальних органів, які проводять державну повірку ЗВ, повинні бути атестовані і володіти статусом повірника згідно з процедурою ДКТРСП.

**5. 3.6. Еталони як засіб вимірювання**

Зберігання та відтворення одиниць вимірювань з метою передачі їх розмірів ЗВТ, які застосовуються на території України, забезпечуються державними еталонами.

Для забезпечення єдності вимірювань необхідна чітка тотожність одиниць, у яких були б проградуйовані всі засоби технічних вимірювань однієї й тієї ж самої ФВ. Це досягається шляхом точного відтворення та збереження прийнятих на Міжнародній конференції з мір і ваги одиниць ФВ і передачі їх розмірів ЗВ.

Відтворення, збереження і передача розмірів одиниць проводиться за допомогою еталонів та зразкових ЗВ. Вищою ланкою у метроло­гічному колі передачі розмірів одиниць вимірювання ФВ є еталони.

**Еталон одиниці ФВ** - це ЗВТ, який забезпечує відтворення і зберігання одиниці ФВ та передавання її розміру відповідним засобам, що стоять нижче за повірочною схемою, і офіційно затверджений як еталон.

Усі основні одиниці ФВ відтворюються з найвищою точністю за допомогою міжнародних еталонів відповідних одиниць і зберігаються в Міжнародному бюро мір та ваги (МБМВ) у спеціальних лабораторіях у м. Севра поблизу Парижа. Програмою діяльності МБМВ передбачені систематичні міжнародні зіставлення національних еталонів великих метрологічних лабораторій різних держав з міжнародними еталонами та між собою. Еталони метра та кілограма звіряються один раз на 25 років, електричні та світлові еталони (ампера, вольта, ома, кандели) - один раз на 3 роки. Проводяться також епізодичні міжнародні звіряння еталонів джерел іонізаційного випромінювання, платинових термометрів опору, температурних ламп та ін.

Основне призначення еталонів - бути матеріальною базою для відтворення і збереження одиниць ФВ.

Державні еталони є виключно державною власністю, затвер­джуються ДКТРСП України та перебувають у його віданні. Однією з основних вимог, які висуваються до еталонів, є точність. Як правило, створення, зберігання, застосування, відтворення еталонів регла­ментовано певним стандартом країни, наприклад, ДСТУ 3231-95 «Метрологія. Еталони одиниць фізичних величин: основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування». Розробляються стандарти і на повірочні схеми з використанням еталонів, зокрема для концентрації газів у газових середовищах (ДСТУ 3214-95). Питаннями розробки, зберігання, вдосконалення еталонів займаються науково-дослідні інститути ДКТРСП України. Еталони складають особливу групу ЗВ.

Еталони для посередніх вимірювань ФВ не застосовуються, а використовуються для передачі розміру одиниць іншим ЗВ.

За точністю відтворення розмірів одиниць і за службовим при­значенням еталони поділяються на дві групи: первинні і вторинні.

**Первинним** називають еталон, який забезпечує відтворення розміру ФВ із найвищою в державі точністю.

**Вторинним** називають еталон, що відтворює розмір одиниці ФВ за первинним еталоном та періодично звіряється з ним.

У свою чергу, первинні еталони поділяються на спеціальні, державні, вихідні; вторинні еталони за метрологічним призначенням поділяються на: еталони-копії, еталони-свідки, еталони-порівняння, робочі еталони.

Первинні еталони. Якщо еталон відтворює одиницю з найбільш високою в країні точністю, то він називається первинним. Первинні еталони основних одиниць відтворюють одиницю відповідно до її визначення.

Стає очевидним (розглядаючи, наприклад, випадок з одиницею струму - ампер), що навіть якщо природні еталони й існують, вони не обов’язково відрізняються особливою точністю і простотою реалізації. Проте будь-яка промислово розвинена країна має націо­нальну лабораторію з еталонів (у Великобританії, наприклад, це Фізична лабораторія в Теддінгтоні, у США - це NIST - Національний інститут науки і технології). Ці національні лабораторії зберігають «первинні стандартні еталони», які у випадку з кілограмом є по­хідними від міжнародного стандарту кілограма. Щодо інших одиниць вимірювань у системі СІ базою для побудови вимірювальної ланцюжка є приладове обладнання, здатне відтворювати умови, встановлені у визначенні базової одиниці СІ. Наприклад, щодо одиниці часу це так званий «цезієвий годинник». Хоча тривалість одного періоду встановленого атомного переходу становить піко- секунду, цього достатньо для повірки частотоміром частот радіо­мовлення, і тому вони можуть бути сприйняті іншими центрами.

Інші виміри, наприклад довжини, можуть здійснюватися з використанням проміжних еталонів та їх ієрархії, що починається із первинного еталона (рис. 3.5).

Первинні еталони є вершиною піраміди або ієрархії стандартів, які існують і використовуються в країні (рис. 3.5). Робочі інструменти повіряються «робочими еталонами», які можуть використовуватися для щоденного калібрування на робочому місці перед початком використання вимірювального інструменту. У свою чергу, робочі еталони калібруються за лабораторними або «проміжними еталонами»..

Можливий цілий ланцюжок проміжних еталонів, що проходить через спеціалізовані лабораторії калібрування до національного еталону, який може порівнюватися з національними еталонами інших країн.

Спеціальний еталон відтворює одиницю в особливих умовах, у яких пряма передача розміру одиниці від існуючих еталонів технічно можлива з необхідною точністю (високий тиск, температура і т. ін.). Він замінює в цих умовах первинний еталон.

Державний еталон - офіційно затверджений первинний еталон, який забезпечує відтворення одиниці вимірювань та передачу її розміру іншим еталонам із найвищою у країні точністю; це пер­винний або спеціальний еталон, офіційно затверджений як вихідний для країни (в окремих випадах може бути використаний спеціальний еталон). Інакше кажучи, державний еталон - це офіційно затверд­жений первинний еталон у якості вихідного для держави.

Державний еталон одиниці величини - еталон одиниці величини, визнаний рішенням уповноваженого на те державного органу в якості вихідного на території своєї держави.

Вихідний еталон - еталон, який має найвищі метрологічні влас­тивості серед еталонів, що наявні на підприємстві чи в організації.

У метрологічній практиці широко використовують вторинні еталони, значення яких встановлюється за найнижчими первинними еталонами.

Вторинні еталони створюються і затверджуються в тих випадках, коли це необхідно для організації повірочних робіт, для збереження і меншого зносу державного еталона.

За своїм метрологічним призначенням вторинні еталони поді­ляються на еталони-копії, еталони передавання, еталони-свідки та робочі еталони.

Еталон-копія - це вторинний еталон, що призначений для збереження одиниці й передачі її розміру робочим еталонам.

Еталон порівняння - це вторинний еталон, що призначений для порівняння еталонів, які з тих чи інших причин не можуть бути безпосередньо порівняними один із одним.

Еталон-свідок - це вторинний еталон, що призначений для перевірки збереження державного еталона, для заміни на випадок пошкодження або втрати. Еталон-свідок використовується лише тоді, коли державний еталон є невідтворним.

Робочий еталон - це вторинний еталон, призначений для збе­реження одиниці і передачі ії розміру зразковим ЗВ найбільш високої точності. Він призначений для повірки чи калібрування ЗВТ.

Еталон передавання - це вторинний еталон, що призначається для взаємного порівняння еталонів, які за тих чи інших обставин не можуть бути звірені безпосередньо.

Вторинні еталони можуть подаватися у вигляді комплексу ЗВ, поодиноких і групових еталонів та еталонних приладів.

Поодинокий еталон складається з одного вимірювального засобу (міри, приладу), який забезпечує відтворення та збереження одиниці самостійно, без участі інших ЗВ того самого типу. Прикладом поодинокого еталона є вторинний еталон одиниці маси - кілограм - у вигляді платино-іридієвої та сталевої гирі.

Груповий еталон - еталон, до складу якого входить група ЗВТ або група еталонів. Прикладом групового еталона є еталон-копія вольта у вигляді 20 нормальних елементів. Вторинні еталони (робочі) використовуються у метрологічних інститутах, метрологічних тери­торіальних органах Держстандарту України, а з дозволу Держстандарту

України допускається їх зберігання та використання в органах відомчої метрологічної служби.

Усі ЗВ, які використовуються не для передачі розміру одиниць, а для практичного вимірювання, називаються робочими ЗВТ. Робочі ЗВТ забороняється використовувати для перевірки.

Еталон одиниці довжини - метр. Наприкінці XVIII століття при введенні метричної системи мір був прийнятий перший еталон одиниці довжини - метр. За метр прийняли одну десятимільйонну частину чверті Паризького меридіана.

У 1799 році на основі виміряної частини дуги меридіана був виготовлений еталон метра у вигляді платинової лінійки шириною 25 мм, товщиною 4 мм та довжиною в 1 м. Пізніше платиновий метр передали на збереження до Національного архіву Франції, який одержав назву «метра Архіву».

Повторні вимірювання дуги меридіана показали, що довжина метра дещо коротша за дійсний «природний» метр, проте Міжнародна комісія з прототипів метричної системи у 1872 році вирішила відмовитися від «природного» еталона метра і за одиницю довжини прийняла «метр Архіву».

За рішенням цієї комісії був виготовлений 31 прототип метра у вигляді штрихової міри з платино-іридієвого сплаву. Серед них прототип № 6 при температурі 0°С виявився найбільш тотожним «метру Архіву» і в 1889 р. на І Генеральній конференції з мір та ваги був ухвалений як міжнародний еталон метра. Решта 30 прототипів були розподілені між державами-учасницями, які у 1875 році підписали Метричну конвенцію.

Еталон метра - це платино-іридієва фігурна лінійка довжиною 102 см з поперечним перерізом у формі X, вписаній в уявний квадрат, сторона якого дорівнює 20 мм. На верхніх площинах Х-форми на обох кінцях лінійки проведено по 3 штрихові лінії, а одиниця довжини в 1 метр розташована між середніми штриховими лініями (рис. 3.6).

Росія у 1889 році одержала платино-іридієвий прототип метра № 28, який пізніше був затверджений як державний еталон метра в СРСР.

У 1927 році VII Генеральна конференція з мір та ваги ухвалила таке визначення метра: «Одиниця довжини - м, визначається відстанню при 0 °С між осями двох середніх штрихів, нанесених на платино- іридієвому бруску, який зберігається у Міжнародному бюро мір та ваги і прийнятий за еталон метра І Генеральною конференцією з мір і ваги, за умови, що ця лінійка зберігається при нормальному атмосферному тиску і підтримується двома роликами діаметром не

Науково-технічний прогрес потребує підвищення точності еталона одиниці довжини, тому що платино-іридієвий прототип метра неспроможний забезпечити необхідну високу точність відтворення, вищу за 0,1-0,2 мкм. До того ж назріла необхідність розроблення природного неруйнівного еталона, що обумовлює встановлення нового природного еталона метра.

У 1960 році XI Генеральною конференцією з мір та ваги було ухвалено новий хвильовий еталон метра, який виражається в довжинах світлових хвиль у вакуумі оранжевої лінії спектру криптону-86. Відповідно до рішення конференції, «метр - це довжина, що дорівнює 1 650 763,73 довжин хвиль випромінювання у вакуумі й відповідає переходу між рівнями2р10 та 5ё5 атома криптону-86».

Новий еталон метра можна відтворити у метрологічних лабо­раторіях з точністю, яка на порядок вища від платино-іридієвого його прототипу, хоча на конференції підкреслювалося, що точність нового еталона є недостатньою через несиметричність випромінювання монохроматичного джерела.

Місце зберігання еталона метра у колишньому СРСР - Всесоюзний науково-дослідний інститут метрології ім. Д. І. Менделєєва (ВНДІМ) (м. Санкт-Петербург). В Україні еталон метра зберігається в Харківі.

За рішенням останньої Генеральної конференції з мір і ваги ухвалене таке визначення одиниці довжини «метр»:

Метр - довжина шляху, який проходить світло у вакуумі за 1/299 792 458 частину секунди.

Еталон одиниці маси - кілограм. При виготовленні платино- іридієвих еталонів кілограма за міжнародний прототип було прийнято той, маса якого найменше відрізнялася від маси «кілограма Архіву». Міжнародний прототип кілограма - це гиря у вигляді прямого циліндра із заокругленими ребрами діаметром і висотою 39 мм (рис. 3.8).

Оскільки прийнятий умовний прототип одиниці маси - літр - також не був абсолютно тотожним кубічному дециметру (1 л = 1,000028 дм3) і невідповідність між ними становила різницю між масою міжнародного прототипу кілограма і масою кубічного дециметра води, то у 1964 році XII Генеральна конференція з мір та ваги ухвалила рішення про прирівнювання об’єму 1 літра до 1 дм3.

Зазначимо, що у період встановлення метричної системи мір не було чіткого розуміння маси та ваги, тому міжнародний прототип кілограма приймали як еталон одиниці ваги. Проте вже при затвер­дженні міжнародного прототипу в 1889 р. кілограм був прийнятий як прототип маси. Чітке розмежування між кілограмом маси та кілограмом сили було здійснене за рішенням III Генеральної кон­ференції з мір та ваги.

За рішенням I Конференції з мір та ваги із 42 виготовлених прототипів кілограма Росії були передані платино-іридієві прототипи кілограма № 12 (рис. 3.9) і № 26. Прототип кілограма № 12 був затверджений у 1899 р. як державний еталон маси факультативно (фунт повинен був періодично порівнюватися з кілограмом), а про­тотип № 26 - міг використовуватися в якості вторинного еталону.

Державним первинним еталоном кілограма в колишньому СРСР був платино-іридієвий прототип № 12 - гиря у вигляді прямого циліндра з заокругленими ребрами діаметром та висотою 39 мм. Густина платино-іридієвого сплаву - 21548,1 кг/м3, вміст іридію у сплаві - 10,08-10,09 %, об’єм кілограма при 0°С становить 46,408 см3.

У 1899 р. маса прототипу кілограма № 12 дорівнює 1,000000068 кг. За результатами звіряння його з міжнародними еталонами у 1948­1954 рр. маса прототипу № 12 стала дорівнювати 1,00000085 кг.

жовтня 1901 р. з ініціативи Д. І. Менделєєва у Харкові була відкрита перша в Україні повірочна палата для вивірки і таврування торговельних мір і ваги. З цієї події бере початок історія метрології та стандартизації в Україні. На рис. 3.10 показано унікальний робочий еталон маси - позолочена гиря масою 1 кг, яка очолювала повірочні схеми ЗВ маси в Україні з перших місяців роботи повірочної палати, тобто з 1901 і до 1939 року.

Більш ніж за 120 років існування описаного прототипу кілограма, звичайно, були спроби зробити більш сучасний еталон на основі фундаментальних фізичних сталих мас різних атомних частин (протона, електрона та ін.). Однак на сучасному рівні науково-технічного прогресу поки не вдалося відтворити цим методом масу кілограма з меншою погрішністю, ніж існуюча.

З розвитком наукових робіт щодо створення нових природних еталонів одиниць ФВ, що базувалися на атомних постійних величинах (метр - на довжині світлових хвиль; секунда - на частоті коливань атомів та молекул), виникло питання про зв’язок одиниці маси атомними константами. Цим пояснюється пропозиція щодо вико­ристання для метрологічних цілей такої константи, як маса нейтрона. Можна припустити, що це дасть можливість з високою точністю ув’язати сучасний умовний еталон маси з природними константами маси атомних часток.

Еталон «кілограм» все ще «припадає пилом» у глибокому підвалі під Парижем.

Словосполучення «припадає пилом» у попередньому абзаці зовсім не є стилістичною прикрасою - пил насправді поступово накопичується на еталоні кілограма, незважаючи на всі контрзаходи. Дістати платино- іридієві циліндри і протерти їх не можна - по-перше, при витяганні на ньому знову ж таки осяде пил, а по-друге, протирання або навіть обмахування щіточкою неминуче приведе до «підскакування» декількох молекул. Іншими словами, незалежно від того, роблять або не роблять щось з еталоном, його маса з часом змінюється. Довгий час вважалося, що ці зміни незначні, проте перевірка, яку було проведено кілька років тому, показала, що за останній час еталон «схуд» на 50 мікрограмів, а це вже значні втрати.

Можливий вихід із цього скрутного становища (за мільярд років еталон стане легшим на третину) запропонували в 2007 році два американських учених із Технологічного інституту Джорджії. Замість мінливого циліндра вони запропонували вважати стандартом маси куб із вуглецю, який буде містити строго певну кількість атомів. Так як маса кожного окремого атома постійна, то й маса їх сукупності також не буде змінюватися. Дослідники розрахували, що куб масою рівно один кілограм буде складатися з 2250 х 281 489 633 атомів (50 184 513 538 686 668 007 780 750 атомів), а його грань складе 8,11 сантиметри. За три роки вчені уточнили деякі деталі і представили свої міркування.

Американські фізики перейнялися проблемою стандарту кілограма і вибрали в якості «еталонного» елемента вуглець неспроста - до цього часу вони займалися уточненням числа Авогадро - однієї з фундаментальних констант, яка визначає, скільки атомів міститься в одному молі будь-якої речовини. Хоча це число і є одним із найголовніших у хімії, його точного значення не існує (серед інших питань учені, наприклад, вирішували, парне воно чи ні). Число Авогадро підібрано так, щоб маса моля у грамах дорівнювала масі молекули (атома) в атомних одиницях маси. Атом вуглецю має масу 12 атомних одиниць маси, а значить, маса моля вуглецю повинна складати 12 грамів. Уточнивши число Авогадро і прийнявши його рівним 844 468 863 (602 214 098 282 748 740 154 456), дослідники змогли розрахувати необхідну кількість атомів вуглецю в еталоні.

Не виключено, що нову роботу буде розглянуто на черговій Генеральній конференції з мір та ваги, яка відбудеться в 2011 році. Однак у вчених з Джорджії є конкуренти. Наприклад, у Вашинг­тонському національному інституті стандартів і технології дуже активно працюють над концепцією електронного кілограма. Коротко суть пропонованого ними методу така: еталон визначається через силу струму, яка необхідна для створення магнітного поля, здатного врівноважити вантаж масою в один кілограм. Цей спосіб дуже хороший, тому що дозволяє добитися високої точності (він заснований на використанні ще однієї фундаментальної константи - постійної Планка), проте сам експеримент надзвичайно складний.

Ще один варіант нового еталона - кремнієва сфера, параметри якої розраховані таким чином, що вона буде містити строго певну кількість атомів (цей розрахунок можна провести, так як ученим відома відстань між окремими атомами, а сам процес виробництва чистого кремнію дуже добре налагоджений). Така сфера навіть була створена, але щодо неї негайно виникли такі ж складнощі, які стосуються нинішнього еталона: з часом сфера втрачає частину своїх атомів, і, крім того, на ній утворюється плівка оксиду кремнію.

Третій підхід до створення еталону припускає, що він буде кожного разу вироблятися de novo. Для отримання стандарту маси необхідно накопичувати іони вісмуту та золота до тих пір, поки їх сумарний заряд не досягне певного значення. Цей метод уже визнали незадовільним: він вимагає занадто багато часу, а результати погано відтворюються. Взагалі з високою ймовірністю всі описані способи отримання нового еталону кілограма, крім способу, заснованого на використанні числа Авогадро, залишаться тільки в пам’яті істориків науки, так як, на відміну від інших, еталон кілограм у вигляді куба з ізотопу вуглецю-12 заснований на прямому використанні одного з фундаментальних атомних понять.

Поки що неясно, чи стане вуглецевий еталон загальновизнаним або ж учені придумають новий, більш зручний спосіб. Але той факт, що в Парижі зберігається циліндр, який вірою і правдою служив людям 120 років, незабаром «відправиться на пенсію», сумнівів не викликає.

Еталон одиниці часу - секунда. Ще в стародавні часи відлік часу ґрунтувався на обертанні Землі навколо своєї осі. До недавнього часу секунда визначалася як 1/8640 частини середньої сонячної доби. За середню сонячну добу прийнято інтервал часу між двома послідовними однойменними кульмінаціями середнього Сонця. Під середнім Сонцем розуміли уявне Сонце, яке рівномірно рухається по небесному екватору і здійснює один оберт по небосхилу за той проміжок часу, що й справжнє Сонце, яке рухається нерівномірно за екліптикою. Проте спостереження показали, що обертанню Землі властиві нерегулярні коливання, а це не дозволяє вважати його природною стабільною основою визначення одиниці часу.

Середня сонячна доба визначається з похибкою 10-7. Ця точність недостатня для сучасного стану техніки частот.

Потрібен був новий природний еталон часу, який забезпечував би високу точність відтворення одиниці часу - секунди. У 1960 році було прийняте нове астрономічне визначення одиниці часу, в основу якого покладено не обертання Землі навколо своєї осі, а рух Землі навколо Сонця. Це забезпечувало підвищення точності вимірювання одиниці часу на три порядки (у 1000 разів).

За секунду прийняли 1/31556925,9747 частини тропічного року на 0 січня 1900 року о 12-й годині ефемеридного часу. Тропічний рік сам по собі не є постійним, тому дата «0 січня 1900 р. 12 годин» виражена у прийнятому астрономами відліку часу і відповідає полудню 31 грудня 1899 р. Під ефемеридним часом розуміють час у системі рахунку, де тривалість одиниці дорівнює ефемеридній секунді, визначеній через тропічний рік на 0 січня 1900 р.

Практично точна одиниця часу стала доступною завдяки сигналам точного часу, що передаються по радіо з кварцових годинників, які є мірами частоти. Останнім часом створені нові молекулярні та атомні еталони, частоти і часу, які ґрунтуються на здатності молекул та атомів випромінювати і поглинати енергію під час переходу між двома енергетичними рівнями в діапазоні радіочастот. У 1967 р. XIII Гене­ральна конференція з мір та ваги ухвалила нове визначення секунди як інтервал часу, протягом якого відбувається 9 192 631 770 коливань. Такі коливання відповідають резонансній частоті енергетичного переходу між рівнями надтонкої структури основного стану атома цезію-133 за відсутності збурень зовнішніми полями.

Стабільність цезієвих еталонів дорівнює 10-11, що дозволяє використовувати їх службам часу та частоти.

У 1997 році Міжнародне бюро мір і ваги уточнило, що в цьому визначенні фігурує атом цезію, що перебуває при абсолютній нульовій температурі. У новітніх моделях цезієвого годинника (їх називають фонтанними) ця вимога майже ідеально реалізується за допомогою лазерного охолодження атомів. Еталонні цезієві годинники американського Національного інституту стандартів і технології (NIST) зараз забезпечують відносну точність відтворення одиниці часу - секунди на рівні ~ 3,3 х 10-16. Це найбільш точні годинники у світі. А взагалі найкращу перспективу на найближче майбутнє мають оптичні стандарти частоти, засновані на переходах в однократних іонах ртуті, ітербію чи стронцію або в нейтральних атомах стронцію чи ртуті - вони надзвичайно стабільні в часі. Вже зараз точність окремих експериментальних зразків досягає 2 х 10-15 секунди і навіть вище, а теоретично вони здатні забезпечити точність відтворення одиниць часу і частоти на рівні 10-17-10-18.

У стронцієвих оптичних годинах іони стронцію поміщені в оптичну пастку на перехресті шести лазерних променів.

Під впливом електромагнітних хвиль лазерів іони міцно «сидять» в енергетичних ямах, слабо взаємодіючи один з одним і випромінюючи блакитне світло із частотою близько 429 терагерц. Стронцієвий годинник у тисячу разів точніший за цезієвий, що використовується сьогодні як еталон часу і частоти. Можливо, незабаром еталон буде замінено.

Еталон одиниці сили електричного струму - ампер. У 1893 р. Міжнародний конгрес електриків у Чікаго затвердив перший еталон сили електричного струму - ампер, установивши так званий між­народний ампер. Ампер відтворювався за допомогою срібного вольтметра і визначався так: «Міжнародний ампер - незмінний струм, який, проходячи через водний розчин азотнокислого срібла при дотриманні інструкції та специфікації виділяє 0,001118 грамів срібла за 1 с».

У 1948 р. при переході на абсолютну практичну систему електричних одиниць міжнародний ампер було відмінено, а в основу сучасного еталона ампера покладено закон взаємодії електричних струмів.

Визначення основної електричної одиниці - ампера - залишається незмінним з 1948 року. IX Генеральна конференція з мір та ваги у 1948 р. ухвалила таке визначення ампера: «Ампер - сила незмінного струму, який, проходячи по двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини і занадто малого круглого перерізу та розміщених на відстані 1 метра один від одного у вакуумі, при силі струму в провідниках в 1 А утворював би між провідниками силу взаємодії у 2 10-7 Н на кожний метр довжини».

Зрозуміло, що виготовити еталон на базі цього визначення неможливо, але, на щастя, й не потрібно. Ампер можна реалізувати за допомогою вимірювання силової взаємодії між струмами будь- якої конфігурації, якщо тільки правильно розрахувати геометрію приладу. В Радянському Союзі був прийнятий Державний первинний еталон ампера, який був реалізований за допомогою струмових терезів, що відтворюють ампер з точністю до 10-5. Такий самий прилад був встановлений в британській Національній фізичній лабораторії в Теддінгтоні (зараз - Національна лабораторія вимірів). У США ампер спочатку був відтворений через еталонний вольт (дуже стабільні електричні батареї) і еталонний ом (прецизійні дротові резистори), виготовлені та відкалібровані в Національному бюро стандартів (сучасний NIST). Відношення вольта і ома дало еталонний ампер з точністю 10-7. У теперішній час вольт реалізують за допомогою квантового низькотемпературного ефекта Джозефсона, а ом - за допомогою квантового ефекта Холла (такий стандарт з 1990 року прийнятий в усьому світі). Це дозволяє відтворювати ампер з відхиленням, що не перевищує 10-9. Проте не виключено, що в майбутньому визначення ампера переглянуть, висловивши його через елементарний заряд електрона.

Державний первинний еталон ампера - це комплекс вимірювальних засобів у складі струмових ваг електродинамічної системи, ваг з дистанційним управлінням та апаратури для передачі розміру одиниці. Похибка відтворення розміру одиниці сили струму державним первинним еталоном ампера не перевищує 1-10-3 %.

Досягнення сучасної фізики в галузі дослідження атомного ядра розкривають нові можливості для розробки досконаліших еталонів одиниці електричного струму та заряду.

Еталон одиниці температури - кельвін. Вимірювання температури з моменту винаходу термометра Галілеєм у 1598 р. ґрунтувалося на використанні властивостей термометричної речовини (газу, рідини) і пов’язане з іменами таких учених, як Фаренгейт, Реомюр, Цельсій, Томсон (Кельвін) та ін.

У середині XVIII століття англійський учений Уїльям Томсон, який у 1892 р. за наукові заслуги отримав титул барона Кельвіна (Kelvin), показав, що можна встановити термодинамічну температурну шкалу, яка б не залежала від термометричної речовини.

Винайдення термодинамічної температурної шкали ґрунтується на II законі термодинаміки. Якщо в оберненому циклі Карно тіло, що здійснює цикл, поглинає теплоту Q1 при температурі T і віддає тепло Q2 при температурі Т2, то відношення абсолютних температур Т1/Т2 дорівнює відношенню кількості тепла Qi/Q2. Згідно з положенням термодинаміки, це відношення не залежить від властивостей термодинамічної речовини.

Вимірюючи кількість теплоти з достатньою точністю, можна визначити співвідношення температур та температуру конкретного об’єкта.

Встановлена таким чином термодинамічна температурна шкала, яка незалежна від властивостей термометричної речовини, називається шкалою Кельвіна.

При встановленні термодинамічної температурної шкали для збереження наступності числового вираження її зі стоградусною температурною шкалою Цельсія температурний проміжок між точками танення льоду та кипіння води прийняли за 100 °С.

Томсон і незалежно від нього Д І. Менделєєв довели доцільність побудови термодинамічної шкали температур за однією реперною точкою (реперні точки в термометрії - первинні відтворені темпе­ратурні точки, кожній з яких присвоєна визначена температура. На Р.т. побудована Міжнародна практична температурна шкала) - точкою абсолютного нуля. Така шкала має значні переваги і дозволяє визначити абсолютну температуру точніше, ніж шкала з двома реперними точками.

Похибка відтворення точки кипіння води становить 0,002-0,01 °С, точка танення льоду - 0,0002-0,001 °С, потрійна точка води - 0, 0001 °С.

X Генеральна конференція з мір та ваги у 1954 році ухвалила рішення про термодинамічну температурну шкалу з однією реперною точкою - потрійною точкою води, яка вища за точку танення льоду на 0,01 °С (273,16 К).

Таким чином, термодинамічна температура є основною і позна­чається символом Т. Її одиницею служить кельвін - 1/273,16 частини потрійної точки води (Примітка. Потрійна точка - стан рівноважного співіснування трьох фаз речовини, зазвичай твердої, рідкої і газоподібної. Температура П. т. води (точки співіснування - льоду, води і пари,) дорівнює 0,01°С (273,16 К) при тиску 6,1 гПа (4,58 мм рт. ст.).

Температура у градусах Цельсія позначається символом ґ і визначається таким чином: ґ = Т- Т0, де Т0 = 273,16 К.

Вимірювання температури за термодинамічною шкалою шляхом прямої її реалізації за допомогою газових термометрів пов’язане із серйозними труднощами, тому була прийнята Міжнародна практична температурна шкала, яка ґрунтується на відтворенні 11 рівноважних станів речовин (водню, неону, кисню, води, цинку, золота та ін.).

Еталон одиниці сили світла - кандела. У минулому столітті різні держави використовували різні еталонні джерела одиниці сили світла - свічі.

На Міжнародному конгресі електриків у 1881 р. було прийнято еталон світла - одиницю Віоля. За одиницю Віоля визнавалася сила світла, яка випромінювалася квадратним сантиметром поверхні твердіючої платини у нормальному напрямку до цієї поверхні. Пізніше спосіб відтворення одиниці Віоля одержав назву «абсолютного еталона сили світла». У 1889 році Конгресом за практичну одиницю світла була прийнята одна двадцята одиниці Віоля.

З огляду на труднощі реалізації еталона одиниці Віоля, Між­народний конгрес у 1893 році приймає за еталон лампу Гефнера - Альтенека, а пізніше - керамічні трубки та інші джерела світла.

Лише у 1967 році Генеральна конференція з мір та ваги визначила за одиницю сили світла канделу. Це світло, яке випромінюється з площини перерізом 1/600 000 м2 повного випромінювача у перпен­дикулярному до цього перерізу напрямку при температурі твердіння платини і тиску 101 325 Па.

Державний первинний еталон одиниці світла - кандела - скла­дається з двох взаємозамінних повних випромінювачів та апаратури вимірювання. Повний випромінювач являє собою тонкостінну трубку з оксиду торію, занурену у розплавлену платину. Нагрівання платини проводиться у високочастотній індукційній печі, а вимірювання сили світла - за допомогою фотоелектричного фотометра.

Середнє квадратичне відхилення результату відтворення та передачі одиниці сили світла державним еталоном не перевищує 2-10-3.

Еталон кількості речовини - моль. За еталон кількості речовини прийнятий моль - кількість речовини системи, яка містить стільки ж структурних елементів часток, скільки атомів міститься в 12 г вуглецю-12 (1 моль вуглецю має масу 2 г, 1 моль кисню - 32 г, а 1 моль води - 18 г).

Однією з причин того, що еталон одиниці кількості речовини не створений, є недостатня чіткість визначення цієї одиниці і відсутність методу її виміру відповідно до визначення. Тим більше, що цю одиницю важко назвати основною, так як її визначення пов’язане з одиницею маси. Цілком можливо, що цю одиницю буде переведено в розряд спеціальних одиниць маси.

**5. 3.7. Перспективи розвитку еталонів**

З удосконаленням технологій вимірювання стало зрозуміло, що усі еталони, які зберігаються в Парижі, не ідеальні. Поступово вчені доходили думки, що за стандарти основних одиниць варто брати не рукотворні предмети, а більш досконалі зразки, створені природою.

На відміну від старих, нові стандарти є атомними або квантовими, тобто в них «працюють» самі «базові» закони природи.

Поступово шість з семи основних одиниць СІ отримали способи відтворення, для яких не потрібен унікальний еталон, що зберігається десь в одному місці. Теоретично будь-який науковець, який захоче точно (дуже точно) довідатися, наприклад, скільки триває секунда, може взяти міліграм ізотопу цезію-133 та відрахувати, коли відбу­дуться 9 192 631 770 періодів випромінювання (до речі, свої атомні стандарти часу встановлені, наприклад, на всіх супутниках GPS).

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

З використанням квантових ефектів було створено сучасний еталон ампера і ома. Квантові еталони характеризуються високим ступенем стабільності значень похибки відтворення одиниць величин.

За допомогою нових методів та засобів вимірювань уточнюються фундаментальні фізичні константи, тому точність квантових еталонів буде зростати.

Вчені вважають, що квантові еталони можна буде вважати «вічними заходами», так як здатність відтворення одиниць ФВ у таких еталонів не схильна до впливу зовнішніх умов, географічного місцезнаходження і часу.

Якщо буде створений еталон маси на основі можливостей ядерної фізики, то багато існуючих еталонів перейдуть у розряд «вічних», оскільки розмірності їх величин так чи інакше пов’язані з масою. У таких умовах зміниться і система повірки та калібрування, яка прив’язана до державних еталонів, тобто відбудеться її децентра­лізація, що забезпечить значний економічний ефект.

Очікується поява можливості створення порівняно недорогих квантових еталонів і робочих ЗВ на основі практичного використання ефекту високотемпературної надпровідності, що послужить початком нового періоду в розвитку фундаментальної і практичної метрології.